



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
DOUTORADO EM FITOTECNIA

JÉSSICA PALOMA PINHEIRO DA SILVA

**EFICIÊNCIA AGROBIOECONÔMICA, QUALIDADE PÓS-COLHEITA E
MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS NO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS EM
SUCESSÃO, SOB QUANTIDADES DE ADUBOS VERDES E DENSIDADES
POPULACIONAIS**

MOSSORÓ

2026

JÉSSICA PALOMA PINHEIRO DA SILVA

**EFICIÊNCIA AGROBIOECONÔMICA, QUALIDADE PÓS-COLHEITA E
MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS NO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS EM
SUCESSÃO, SOB QUANTIDADES DE ADUBOS VERDES E DENSIDADES
POPULACIONAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para obtenção do título de Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Práticas culturais

Orientador: Francisco Bezerra Neto, Prof. Ph.D.

Coorientadoras: Jailma Suerda Silva de Lima, Prof.^a D.Sc.

Elizangela dos Santos Cabral, Prof.^a D.Sc.

MOSSORÓ

2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade

S586e Silva, Jéssica Paloma Pinheiro da.
Eficiência agrobioeconômica, qualidade pós-colheita e morfofisiologia de plantas no consórcio de hortaliças em sucessão, sob quantidades de adubos verdes e densidades populacionais / Jéssica Paloma Pinheiro da Silva. - 2026.
233 f. : il.

Orientador: Francisco Bezerra Neto.
Coorientadora: Jailma Suerda Silva de Lima.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2026.

1. Merremia aegyptia . 2. Calotropis procera .
3. Beta vulgaris . 4. Coriandrum sativus . 5.
Lactuca sativa. I. Bezerra Neto, Francisco,
orient. II. Lima, Jailma Suerda Silva de, co-
orient. III. Santos, Elizangela Cabral dos, co -
orient. IV. Título.

com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Biblioteca da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JÉSSICA PALOMA PINHEIRO DA SILVA

**EFICIÊNCIA AGROBIOECONÔMICA, QUALIDADE PÓS-COLHEITA E
MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS NO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS EM
SUCESSÃO, SOB QUANTIDADES DE ADUBOS VERDES E DENSIDADES
POPULACIONAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para obtenção do título de Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

Defendida em: 24/02/2026

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

FRANCISCO BEZERRA NETO

Data: 28/03/2026 16:43:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Francisco Bezerra Neto, Ph.D.
(UFERSA)
Orientador (Presidente da banca)



Documento assinado digitalmente

JAILMA SUERDA SILVA DE LIMA

Data: 30/03/2026 17:52:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jailma Suerda Silva de Lima, D.Sc.
(UFERSA)
Coorientadora



Documento assinado digitalmente

ELIZANGELA CABRAL DOS SANTOS

Data: 01/04/2026 10:24:19-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Elizangela Cabral dos Santos, D.Sc.
(UFERSA)
Coorientadora



Documento assinado digitalmente

MARCELO DE ALMEIDA GUIMARAES

Data: 02/04/2026 12:25:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcelo de Almeida Guimarães, D.Sc.
(UFC)
Membro examinador externo ao Programa



Documento assinado digitalmente

ELIANE QUEIROGA DE OLIVEIRA

Data: 06/04/2026 11:38:18-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eliane Queiroga de Oliveira, D.Sc.
(IFPB)
Membro examinador externo ao Programa



Documento assinado digitalmente

PAULO CASSIO ALVES LINHARES

Data: 06/04/2026 19:46:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Paulo Cássio Alves Linhares, D.Sc.
(UEPB)
Membro examinador externo ao Programa



Documento assinado digitalmente

GARDENIA SILVANA DE OLIVEIRA RODRIGUES

Data: 07/04/2026 21:07:18-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gardênia Silvana de Oliveira Rodrigues, D.Sc.
(SEEC – RN)
Membro examinador externo ao Programa

À minha família, amigos, professores e agricultores, cujo apoio, ensinamentos e inspiração tornaram possível a realização desta jornada acadêmica.

Dedico

À família Pinheiro e Silva.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder-me a vida, estar sempre comigo, oferecendo coragem e força nos obstáculos, clareza e sabedoria nas escolhas, iluminando cada passo do meu caminho;

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e a todos os docentes e funcionários pela excelência acadêmica, que proporcionou bases sólidas para minha formação e desenvolvimento profissional;

À Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Horta Didática e Centro de Pesquisas em Ciências Vegetais do Semiárido (CPVSA) da UFERSA e seus funcionários, pela valiosa cooperação e apoio logístico, essenciais para o êxito e conclusão desta pesquisa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil, pelo financiamento da bolsa de estudos, que possibilitou a execução desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Francisco Bezerra Neto, pela atenção dedicada a todas as minhas dúvidas e pelo apoio constante para esclarecê-las. Por acreditar na minha capacidade, pelas conversas profundas e ensinamentos que guiaram meu caminho e me prepararam para alcançar a excelência profissional, estando sempre pronta para o “*next step*”;

À minha coorientadora, Prof.^a Jailma Suerda Silva de Lima, pelas conversas sinceras e alegres e por sua disponibilidade constante, paciência incomparável e sabedoria inestimável. Por ter sido meu porto seguro, meu lar, um verdadeiro refúgio ao longo dessa trajetória;

À minha coorientadora, Prof.^a Elizangela Cabral dos Santos, pela paciência, confiança, atenção aos detalhes e apoio constante, sempre garantindo que tudo estivesse bem, ouvindo, compreendendo e aconselhando com sensibilidade;

Aos professores da banca examinadora da qualificação (D.Sc. Romualdo C. de Medeiros; D.Sc. João Everthon da S. Ribeiro e D.Sc. Natan de M. Guerra) e aos que compõe esta defesa (D.Sc. Marcelo A. Guimarães, D.Sc. Paulo Cássio Linhares, D.Sc. Eliane Q. de Oliveira, D.Sc. Gardênia Silvana O. Rodrigues), por aceitarem o convite e contribuir para o aperfeiçoamento deste trabalho;

Ao Grupo de Estudo e Pesquisa em Práticas Culturais e Pós-colheita para o Semiárido, aos que já seguiram outros caminhos – Iron Dhones, Marianne Azevedo, Gerlani Alves e Francisca Karla e aos que permanecem – Luzia Keli, Larissa Nicácio, Sidney Alves, Daniel Dantas, Joaquim Filho e Glenda Justino, por todo o suporte e dedicação antes, durante e após o desenvolvimento desta pesquisa e do Doutorado, formando uma verdadeira família que tornou esta jornada mais alegre e acolhedora. Sem vocês, não seria possível desenvolver esta pesquisa. Ao Gerson Bruno, Francisco Eder, Matheus Ribeiro, Ilmara Beatriz, Elinaldo, Maurício,

Rebeca e Witor, por estarem presentes nos momentos mais desafiadores e tornarem os esforços mais leves, e aos que contribuíram nas diferentes fases de instalação e condução dos experimentos. E a todos os colegas que fiz ao longo da Pós-Graduação, pelo companheirismo, respeito, troca de experiência, apoio e constante incentivo;

À minha base de vida, meus avós (*in memoriam*), minha mãe Sandra Maria Pinheiro e meu pai Josevi Pedro da Silva, por terem sido o alicerce de tudo que sou e conquistei. Pelo amor, incentivo e ensinamentos que me prepararam para enfrentar desafios e seguir firme, mesmo longe de casa. Vocês são a raízes das minhas conquistas, a força silenciosa que me sustentou nos momentos mais difíceis. Aos meus irmãos Kiara Luisa, João Victor, José Pedro e Lorena Krisley e seus cônjuges, por todo incentivo e apoio. Especialmente ao João Victor, por sempre resolver os “perrengues” do meu computador, a qualquer hora ou dia;

Ao meu companheiro e amigo, Douglas Pereira Ferreira, por desde 2010 construir comigo cada degrau da minha jornada, enfrentando os desafios de forma paciente, leve e inspiradora (sempre contando uma piada), por não se cansar e ser minha calma em meio ao caos e entender minhas ausências. Por ser minha verdadeira “casa de vegetação”, zelando pelo meu entorno, controlando cada detalhe, garantindo que eu pudesse avançar segura e confiante nos meus objetivos;

Às amigas que o Nordeste me deu e por quem sempre serei grata, Rayanna Campos e Michely Lima. Ao Isaac Alves, Maria Aparecida, Pablo Henrique (conterrâneo) pelo apoio incondicional, alegrias compartilhadas e parceria científica. Ao meu achado científico, Luzia Keli e Larissa Nicácio, por serem refúgio, luz, apoio e cumplicidade, tornando a caminhada mais significativa. E aos meus amigos paraenses, especialmente Jhonata Ribeiro, Maria Janaína, Janaína Stephanie, Ádrea Jaqueline e Izabele Pina, que, mesmo à distância, estavam sempre prontos para me aplaudir ou me amparar;

Ao “Capitão Cosmildo” (vulgo Cócó), pela sabedoria e experiência pacientemente compartilhadas, que foram fundamentais para o sucesso desta pesquisa. Pelos conselhos preciosos, incentivo constante e presença acolhedora;

Ao motorista Naldécio, pela humildade, respeito e constante compreensão, zelando pela nossa segurança e integridade, e por sempre encontrar soluções com prontidão para os desafios diários das idas e vindas rumo à Lagoinha. “Valeu Naldécio”;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso e integridade desta pesquisa.

Meu sincero reconhecimento e gratidão!

Eficiência nasce da complementaridade entre diferentes, e a cooperação entre eles transforma a diversidade em equilíbrio – como ocorre nas relações humanas.

Silva, J.P.P.

BIOGRAFIA

Jéssica Paloma Pinheiro da Silva, filha de Sandra Maria Pinheiro e Josevi Pedro da Silva, nascida em 16 de setembro de 1995, no município de Altamira, Pará. Aos cinco anos de idade, iniciou sua trajetória educacional na Escola Mirtes de Oliveira Santos – SESI, onde cursou da alfabetização até a 4ª série do Ensino Fundamental. Em 2005, ingressou na 5ª série no Instituto Educacional Batista Independente (IEBI), permanecendo até a 7ª série. E concluiu o Ensino Fundamental (8ª série), no Centro Educacional Gildete Dutra. No ano de 2010, iniciou o Ensino Médio na Escola Estadual Polivalente, onde cursou o 1º ano. De 2011 a 2012 estudou no Instituto Maria de Mattias, onde concluiu o Ensino Médio. Ainda jovem, aos 17 anos, ingressou na graduação em Engenharia Agrônoma da Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Altamira, concluindo sua graduação em 2017. Durante esse período, começou a direcionar seu interesse para áreas relacionadas ao desenvolvimento rural e à sustentabilidade. Buscando ampliar sua formação, ingressou ainda em 2017 no curso Técnico em Administração pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Campus Altamira, concluindo em 2019. Paralelamente, em 2018 iniciou a Especialização *Lato Sensu* em Agroextrativismo Sustentável e Desenvolvimento Rural no IFPA, Campus Breves, na região do Marajó, concluída em 2020. Consolidando sua formação voltada às práticas sustentáveis e à realidade socioeconômica da região da Amazônia. Em 2021, ingressou no Mestrado em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró – RN, onde aprofundou seus conhecimentos na área de produção vegetal, concluindo o curso em 2023. No mesmo ano, foi aprovada no Doutorado no mesmo Programa de Pós-Graduação e na instituição, dando continuidade à sua trajetória acadêmica e científica, obtendo seu título em fevereiro de 2026.

RESUMO

SILVA, J. P. P. **Eficiência agrobioeconômica, qualidade pós-colheita e morfofisiologia de plantas no consórcio de hortaliças em sucessão, sob quantidades de adubos verdes e densidades populacionais**. 2026. 233f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró – RN, 2026.

Em regiões semiáridas onde os recursos hídricos e a fertilidade do solo são limitados, os sistemas consorciados de hortaliças surgem como uma estratégia eficiente para aumentar a estabilidade produtiva e a resiliência agrícola. Esta pesquisa teve por objetivo avaliar a eficiência agrobiomonetária, a qualidade pós-colheita e a morfofisiologia de plantas do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão, considerando quantidades dos adubos verdes e densidades populacionais das culturas folhosas. Foram conduzidos dois experimentos de campo em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×4 , com quatro repetições. Os tratamentos testados foram compostos pela combinação das quantidades de biomassa de *Merremia aegyptia* e *Calotropis procera*: 25, 45, 65 e 85 t ha^{-1} e das densidades de plantio das culturas folhosas: 40, 60, 80 e 100% da densidade recomendada em monocultivo - DRM. Foram avaliadas características agrônômicas da beterraba (altura de plantas, número de folhas, massa seca aérea e de raízes, produtividade total e comercial classificada), do coentro (altura, número de hastes, massa seca e rendimento de massa verde) e da alface (altura, número de folhas, diâmetro transversal da planta, massa seca e produtividade de folhas). O desempenho do consórcio foi avaliado por escore de variável canônica (Z), índice de produtividade do sistema (IPS) e razão de equivalência monetária (REM), além de índices agrobioeconômicos: relação equivalente de terra, razão de área equivalente no tempo, vantagem monetária corrigida, índice de eficiência produtiva, índices de superação, ganho ou perda de rendimento, renda bruta e líquida, taxa de retorno e índice de lucratividade. Os atributos de qualidade físico-química e parâmetros de cor foram: pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais, betacianina (beterraba) e parâmetros de cor L^* , a^* e b^* . Os parâmetros morfofisiológicos analisados foram: conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), suculência foliar (SUC), massa foliar por unidade de área (MFA) e teor de clorofila *a*, *b* e total. Os resultados demonstraram que a maior quantidade dos adubos verdes (85 t ha^{-1}) combinada com as densidades de 63,28%, 100% e 100% da DRM mitigou a competição entre as culturas, promovendo produtividade máxima de $38,12 \text{ t ha}^{-1}$ de raízes comerciais de beterraba, $2,26 \text{ t ha}^{-1}$ de massa verde de coentro e $11,51 \text{ t ha}^{-1}$ de folhas de alface, respectivamente. A combinação de 85 t ha^{-1} e 100% da DRM, gerou os melhores índices agromonetários, com $Z = 12,72$, $IPS = 65,16$ e $REM = 1,74$, evidenciando a superioridade do sistema consorciado frente ao monocultivo. A beterraba se destacou como cultura dominante, mas o aumento das quantidades dos adubos verdes e das densidades populacionais favoreceu a competitividade do coentro e da alface. O sistema consorciado apresentou vantagem agrobiológica de 10,00, traduzida em elevado retorno econômico, alcançando R\$ 168.600,97 ha^{-1} de renda líquida e 80,18% de lucratividade. No que se refere à qualidade pós-colheita, os efeitos do manejo pré-colheita foram específicos para cada espécie: na beterraba, $44,79 \text{ t ha}^{-1}$ dos adubos verdes com 62,82% da DRM elevou a relação SS/AT, enquanto maiores quantidades com 100% da DRM intensificaram a coloração vermelho-rosa. No coentro e na alface, a aplicação de 63 – 69 t ha^{-1} dos adubos verdes com 40% da DRM otimizou a relação SS/AT e a manutenção da cor das folhas. A combinação de 85 t ha^{-1} dos adubos verdes com 100% da DRM das folhosas favoreceu a manutenção do status hídrico e da fotossíntese foliar das culturas consorciadas. A aplicação estratégica de *M. aegyptia* e *C. procera*, aliada ao manejo adequado da densidade populacional,

reduz a competição interespecífica, eleva a eficiência agrobioeconômica e preserva a qualidade pós-colheita e a estabilidade morfofisiológica do consórcio de beterraba, coentro e alface em sucessão, configurando como um modelo sustentável, diversificado e adaptado às condições do semiárido.

Palavras-chave: *Merremia aegyptia*; *Calotropis procera*; *Beta vulgaris*; *Coriandrum sativus*; *Lactuca sativa*.

ABSTRACT

SILVA, J. P. P. **Agro-bioeconomic efficiency, post-harvest quality and plant morphophysiology in intercropping of vegetables in succession, under different amounts of green manure and population densities.** 2026. 233 f. PhD (PhD of Science in Agronomy: Plant Science) – Federal Rural University of the Semi-arid Region (UFERSA), Mossoró – RN, 2026.

In semi-arid regions where water resources and soil fertility are limited, vegetable intercropping systems represent an efficient strategy to enhance productivity and agricultural resilience. This research aimed to evaluate the agro-biomonetary efficiency, post-harvest quality, and morphophysiology of beet and coriander intercropped with lettuce in succession, considering the amounts of green manure and the population densities of leafy crops. Two field experiments were conducted in a randomized block design, in a 4×4 factorial scheme, with four replications. The treatments tested consisted of the combination of biomass amounts of *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera*: 25, 45, 65, and 85 t ha⁻¹, and the planting densities of leafy vegetables: 40, 60, 80, and 100% of the recommended density in monoculture - RDM. Agronomic characteristics of beetroot (plant height, number of leaves, shoot and root dry mass, total and classified productivity), coriander (plant height, number of stems, dry mass and green mass yield) and lettuce (plant height, number of leaves, plant transverse diameter, dry mass and leaf productivity) were evaluated. The performance of the intercropping system was assessed by canonical variable score (Z), system productivity index (SPI) and monetary equivalence ratio (MER), in addition to agro-bioeconomic indices: land equivalent ratio, area time equivalent ratio, corrected monetary advantage, productive efficiency index, aggressivity indices, yield gain or loss, gross income, net income, rate of return and profit margin. The physicochemical quality attributes and color parameters were also evaluated: pH, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), SS/TA ratio, total soluble sugars, betacyanin (beetroot) and color parameters L*, a* and b*. The morphophysiological attributes analyzed were: relative water content (RWC), leaf moisture (LM), leaf succulence (SUC), leaf mass per unit area (LMA), and chlorophyll a, b, and total content. The results demonstrated that the highest amount of green manure (85 t ha⁻¹), combined with population densities of 63.28%, 100%, and 100% of the RDM, mitigated interspecific competition and promoted maximum yields of 38.12 t ha⁻¹ of marketable beet roots, 2.26 t ha⁻¹ of coriander fresh mass, and 11.51 t ha⁻¹ of lettuce leaves, respectively. The combination of 85 t ha⁻¹ and 100% RDM produced the best agro-economic indicators, with Z = 12.72, a system productivity index of 65.16, and a monetary equivalence ratio of 1.74, indicating the superiority of the intercropping system over monoculture. Beetroot was identified as the dominant crop; however, increased green manure amounts and crop densities enhanced the competitiveness of coriander and lettuce. The intercropping system showed an agro-biological advantage of 10.00, resulting in high economic returns, reaching a net income of 168,600.97 BRL ha⁻¹ and 80.18% profitability. Regarding postharvest quality, preharvest management effects were species-specific: in beetroot, 44.79 t ha⁻¹ of green manure with 62.82% RDM increased the SS/TA ratio, while a higher amount combined with 100% RDM intensified the red–purple coloration. In coriander and lettuce, the application of 63 – 69 t ha⁻¹ of green manures with 40% of the DRM optimized the SS/TA ratio and the maintenance of leaf color. The combination of 85 t ha⁻¹ of green manures with 100% of the DRM of leafy greens favored the maintenance of water status and foliar photosynthesis of the intercropped crops. This combination resulted in lower LMA values for all crops and higher chlorophyll concentration for coriander and lettuce. For beetroot, the amount between 61.00 and 68.00 t ha⁻¹ of green manures with 100% of the DRM increased the pigment levels. The strategic

application of *M. aegyptia* and *C. procera*, combined with proper population density management, reduces interspecific competition, increases agro-bioeconomic efficiency, and preserves post-harvest quality and morphophysiological stability of the beet, coriander, and lettuce intercropping system, confirming it to be a sustainable, diversified model adapted to semi-arid conditions.

Keywords: *Merremia aegyptia*; *Calotropis procera*; *Beta vulgaris*; *Coriandrum sativus*; *Lactuca sativa*.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - EFICIÊNCIA AGROMONETÁRIA DO CONSÓRCIO DE BETERRABA E COENTRO COM ALFACE EM SUCESSÃO SOB MANEJO DE ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADES POPULACIONAIS

- Figura 1** – Mapa de localização das áreas experimentais dos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.37
- Figura 2** – Médias diárias de temperatura mínima, máxima e de umidade relativa do ar, nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.38
- Figura 3** – Representação das parcelas de cultivo consorciado de beterraba com coentro nas densidades populacionais de 400 (A), 600 (B), 800 (C) e 1000 (D) mil plantas ha⁻¹ de coentro com 500 mil plantas ha⁻¹ de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.40
- Figura 4** – Representação das parcelas de cultivo consorciado de beterraba com alface nas densidades populacionais de 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 (D) mil plantas ha⁻¹ de alface com 500 mil plantas ha⁻¹ de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.40
- Figura 5** – Representação das parcelas de monocultivo de beterraba (A), coentro (B) e alface (C) nas densidades de 500, 1.000 e 250 mil plantas por hectare, respectivamente. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.41
- Figura 6** – Altura de plantas (A), número de folhas por planta (B), massa seca da parte aérea (C), massa seca de raízes (D) de beterraba consorciada com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.47
- Figura 7** – Produtividade de raízes graúdas (A), extra AA (B), extra A (C), extra (D), comercial (E) e total (F) de beterraba consorciada com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.50
- Figura 8** – Altura de plantas (A), número de hastes por planta (B), relação folha/haste (C), número de molhos por m² (D), massa seca da parte aérea (E) e rendimento de massa verde (F) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.53
- Figura 9** – Altura de plantas (A), número de folhas por planta (B), diâmetro transversal da planta (C), massa seca da parte aérea (D) e produtividade de folhas (E) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.57

Figura 10 – Escore da variável canônica Z (A), índice de produtividade do sistema (B) e razão de equivalência monetária (C) do consórcio de beterraba com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 61

CAPÍTULO II – MANEJO DA ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL NO DESEMPENHO AGROBIOECONÔMICO DE CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS NO SEMIÁRIDO

Figura 1 – Mapa de localização das áreas experimentais dos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 74

Figura 2 – Médias diárias de temperatura mínima, máxima e de umidade relativa do ar, nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 75

Figura 3 – Representação das parcelas de cultivo consorciado de beterraba com coentro nas densidades populacionais de 400 (A), 600 (B), 800 (C) e 1000 (D) mil plantas ha⁻¹ de coentro com 500 mil plantas ha⁻¹ de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 76

Figura 4 – Representação das parcelas de cultivo consorciado de beterraba com alface nas densidades populacionais de 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 (D) mil plantas ha⁻¹ de alface com 500 mil plantas ha⁻¹ de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 77

Figura 5 – Representação das parcelas de monocultivo de beterraba (A), coentro (B) e alface (C) nas densidades de 500, 1.000 e 250 mil plantas por hectare, respectivamente. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 77

Figura 6 – Razão equivalente de terra (A), razão de área equivalente no tempo (B), vantagem monetária corrigida (C) e índice de eficiência produtiva (D) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 86

Figura 7 – Índice de superação das folhosas (A), índice de superação da beterraba (B), perda ou ganho real de rendimento (C) e vantagem do consórcio (D) de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 89

Figura 8 – Renda bruta (A), renda líquida (B), taxa de retorno (C) e índice de lucratividade (D) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 92

CAPÍTULO III – QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS EM CONSÓRCIO SUCESSIVO NO SEMIÁRIDO SOB MANEJO DA ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL

Figura 1 – Mapa de localização das áreas experimentais dos períodos de cultivo de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.....	103
Figura 2 – Médias diárias de temperatura mínima, máxima e de umidade relativa do ar, nos períodos de cultivo de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.....	104
Figura 3 – Representação das parcelas de cultivo consorciado de beterraba com coentro nas densidades populacionais de 400 (A), 600 (B), 800 (C) e 1000 (D) mil plantas ha ⁻¹ de coentro com 500 mil plantas ha ⁻¹ de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	105
Figura 4 – Representação das parcelas de cultivo consorciado de beterraba com alface nas densidades populacionais de 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 (D) mil plantas ha ⁻¹ de alface com 500 mil plantas ha ⁻¹ de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	106
Figura 5 – Representação das parcelas de monocultivo de beterraba (A), coentro (B) e alface (C) nas densidades de 500, 1.000 e 250 mil plantas por hectare, respectivamente. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	106
Figura 6 – pH (A), sólidos solúveis (B), acidez titulável (C), relação SS/AT (D), açúcares solúveis totais (E) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	113
Figura 7 – Betacianina (A), luminosidade (B), eixo a* (C) e eixo b* (D) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	116
Figura 8 – Representação dos parâmetros de cor das raízes da beterraba (●) e das folhas de coentro (■) e alface (▲) em sistema consorciado, gerado a partir das médias da luminosidade (L*), croma (C*) e ângulo hue (h°). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.....	117
Figura 9 – Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais de folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	119
Figura 10 – pH (A), sólidos solúveis (B), acidez titulável (C), relação SS/AT (D) e açúcares solúveis totais (E) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	121

Figura 11 – Luminosidade (A), eixo a* (B) e eixo b* (C) dos parâmetros de cor das folhas de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

..... 124

Figura 12 – Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 125

Figura 13 – pH (A), sólidos solúveis (B), acidez titulável (C), relação SS/AT (D) e açúcares solúveis totais (E) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 127

Figura 14 – Luminosidade (A), eixo a* (B) e eixo b* (C) dos parâmetros de cor das folhas de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 130

Figura 15 – Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos da alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 131

CAPÍTULO IV – MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS NO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS EM SUCESSÃO SOB ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Figura 1 – Mapa de localização das áreas experimentais dos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 142

Figura 2 – Médias diárias de temperatura mínima, máxima e de umidade relativa do ar, nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 143

Figura 3 – Representação das parcelas de cultivo consorciado de beterraba com coentro nas densidades populacionais de 400 (A), 600 (B), 800 (C) e 1000 (D) mil plantas ha⁻¹ de coentro com 500 mil plantas ha⁻¹ de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 145

Figura 4 – Representação das parcelas de cultivo consorciado de beterraba com alface nas densidades populacionais de 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 (D) mil plantas ha⁻¹ de alface com 500 mil plantas ha⁻¹ de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 145

Figura 5 – Representação das parcelas de monocultivo de beterraba (A), coentro (B) e alface (C) nas densidades de 500, 1.000 e 250 mil plantas por hectare, respectivamente. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 146

Figura 6 – Conteúdo relativo de água (A), umidade foliar (B), massa foliar por unidade de área (C) e suculência foliar (D) de folhas de beterraba em sistema consorciado com coentro e alface em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.....	151
Figura 7 – Teor de clorofila <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> (B) e clorofila total (C) de folhas de beterraba em sistema consorciado com coentro e alface em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.....	155
Figura 8 – Conteúdo relativo de água (A), umidade foliar (B), massa foliar por unidade de área (C) e suculência foliar (D) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	157
Figura 9 – Teor de clorofila <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> (B) e clorofila total (C) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.....	160
Figura 10 – Conteúdo relativo de água (A), umidade foliar (B), massa foliar por unidade de área (C) e suculência foliar (D) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	163
Figura 11 – Teor de clorofila <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> (B) e clorofila total (C) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.....	166
Figura 12 – Análise de Componentes Principais (APC) dos parâmetros morfofisiológicos do sistema consorciado da beterraba, coentro e alface em sucessão em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	168

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - EFICIÊNCIA AGROMONETÁRIA DO CONSÓRCIO DE BETERRABA E COENTRO COM ALFACE EM SUCESSÃO SOB MANEJO DE ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADES POPULACIONAIS

- Tabela 1** – Descrição das densidades populacionais e espaçamentos da beterraba, coentro e alface utilizados no sistema consorciado e monocultivo, com seus respectivos espaçamentos. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.41
- Tabela 2** – Análise química de macro e micronutrientes na biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* incorporadas ao solo nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.42
- Tabela 3** – Valores de F e valores médios para altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NFP), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de beterraba consorciada com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.46
- Tabela 4** – Valores de F e valores médios para raízes graúdas, extra AA, extra A, extra, produtividade comercial (PC) e total (PT) de beterraba consorciada com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.49
- Tabela 5** – Valores de F e valores médios para altura de plantas (AP), número de hastes por planta (NHP), relação folha/haste (RFH), número de molhos por m² (NM), massa seca da parte aérea (MSPA) e rendimento de massa verde (RMV) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.52
- Tabela 6** – Valores de F e valores médios para altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NFP), diâmetro transversal da planta (DP), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de folhas (PF) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.56
- Tabela 7** – Análise de variância multivariada da produtividade de massa verde de coentro e das produtividades de raízes comerciais de beterraba e folhas de alface, valores F para a variável canônica (Z), índice de produtividade do sistema (IPS) e razão de equivalência monetária (REM) do consórcio de beterraba com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.59

CAPÍTULO II – MANEJO DA ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL NO DESEMPENHO AGROBIOECONÔMICO DE CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS NO SEMIÁRIDO

Tabela 1 – Descrição das densidades populacionais e espaçamentos da beterraba, coentro e alface utilizados no sistema consorciado e monocultivo, com seus respectivos espaçamentos. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 78

Tabela 2 – Análise química de macro e micronutrientes na biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* incorporadas ao solo nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 79

Tabela 3 – Valores de F para a relação equivalente de terra (RET), razão de área equivalente no tempo (RAET), vantagem monetária corrigida (VMc) e índice de eficiência produtiva (IEP) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 85

Tabela 4 – Valores de F para o índice de superação das folhosas (ISf), índice de superação da beterraba (ISb), perda real de rendimento (PRR) e vantagem do consórcio (VC) de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 88

Tabela 5 – Valores de F para a renda bruta (RB), renda líquida (RL), taxa de retorno (TR) e índice de lucratividade (IL) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 91

CAPÍTULO III – QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS EM CONSÓRCIO SUCESSIVO NO SEMIÁRIDO SOB MANEJO DA ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL

Tabela 1 – Descrição das densidades populacionais e espaçamentos da beterraba, coentro e alface utilizados no sistema consorciado e monocultivo, com seus respectivos espaçamentos. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 107

Tabela 2 – Análise química de macro e micronutrientes na biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* incorporadas ao solo nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 108

Tabela 3 – Valores de F e médias para pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT e açúcares solúveis totais (AST) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e

alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 112

Tabela 4 – Valores de F e médias para betacianina (Bc), luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 115

Tabela 5 – Valores de F e médias para pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais (AST) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 120

Tabela 6 – Valores de F e médias para luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 123

Tabela 7 – Valores de F e médias para pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais (AST) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 126

Tabela 8 – Valores de F e médias para luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 129

CAPÍTULO IV – MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS NO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS EM SUCESSÃO SOB ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Tabela 1 – Descrição das densidades populacionais e espaçamentos da beterraba, coentro e alface utilizados no sistema consorciado e monocultivo, com seus respectivos espaçamentos. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 146

Tabela 2 – Análise química de macro e micronutrientes na biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* incorporadas ao solo nos períodos de cultivo de 2023 (C1) e 2024 (C2). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 147

Tabela 3 – Valores de F e médias para conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA) e suculência foliar (SUC) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 150

Tabela 4 – Valores de F e médias para os teores de clorofila *a*, *b* e total das folhas de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 154

Tabela 5 – Valores de F e médias para conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA) e suculência foliar (SUC) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 156

Tabela 6 – Valores de F e médias para os teores de clorofila *a*, *b* e total de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 157

Tabela 7 – Valores de F e médias para conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA) e suculência foliar (SUC) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 162

Tabela 8 – Valores de F e médias para os teores de clorofila *a*, *b* e total de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 165

LISTA DE TABELAS DO APÊNDICE

Tabela 1 – Médias de altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NFP), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de beterraba consorciada com folhosas em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 181

Tabela 2 – Médias de produtividade de raízes graúdas, extra AA, extra A, extra e produtividade comercial (PC) e total de raízes (PT) de beterraba consorciada com folhosas em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 182

Tabela 3 – Médias de altura de plantas (AP), número de haste por planta (NHP), relação folha/haste (RFH), número de molhos m² (NM²), massa seca da parte aérea (MSPA) e rendimento de massa verde (RMV) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 183

Tabela 4 – Médias de altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NFP), diâmetro transversal da planta (DTP), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de folhas (PF) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 184

Tabela 5 – Médias da variável canônica Z (Z), índice de produtividade do sistema (IPS) e razão de equivalência monetária (REM) do consórcio de beterraba com folhosas em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 185

Tabela 6 – Médias da relação equivalente de terra (RET), razão de área equivalente no tempo (RAET), vantagem monetária corrigida (VMc) e índice de eficiência produtiva (IEP) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 186

Tabela 7 – Médias do índice de superação das folhosas sobre a tuberosa (ISf), índice de superação da beterraba sobre as folhosas (ISb), perda ou ganho real de rendimento (PRR) e vantagem do consórcio (VC) de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 187

Tabela 8 – Médias da renda bruta (RB), renda líquida (RL), taxa de retorno (TR) e índice de lucratividade (IL) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de

diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 188

Tabela 9 – Médias do pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT e açúcares solúveis totais (AST) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 189

Tabela 10 – Médias da betacianina (Bc), luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 190

Tabela 11 – Médias do pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais (AST) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 191

Tabela 12 – Médias da luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 192

Tabela 13 – Médias do pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais (AST) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026 193

Tabela 14 – Médias da luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 194

Tabela 15 – Médias do conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA), suculência (SUC), clorofilas *a*, *b* e total de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 195

Tabela 16 – Médias do conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA), suculência (SUC), clorofilas *a*, *b* e total de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026. 196

Tabela 17 – Médias do conteúdo relativo de água (CRA), unidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA), suculência (SUC), clorofilas <i>a</i> , <i>b</i> e total de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	197
Tabela 18 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 25 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 40% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	198
Tabela 19 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 25 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 60% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	200
Tabela 20 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 25 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 80% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	202
Tabela 21 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 25 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 100% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	204
Tabela 22 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 45 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 40% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	206
Tabela 23 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 45 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 60% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	208
Tabela 24 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 45 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 80% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	210
Tabela 25 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 45 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 100% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	212

Tabela 26 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 65 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 40% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	214
Tabela 27 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 65 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 60% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	216
Tabela 28 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 65 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 80% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	218
Tabela 29 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 65 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 100% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	220
Tabela 30 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 85 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 40% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	222
Tabela 31 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 85 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 60% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	224
Tabela 32 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 85 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 80% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	226
Tabela 33 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 85 t ha ⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> na população de 100% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C ₁) e 2024 (C ₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.	228

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	30
REFERÊNCIAS.....	32
CAPÍTULO I - EFICIÊNCIA AGROMONETÁRIA DO CONSÓRCIO DE BETERRABA E COENTRO COM ALFACE EM SUCESSÃO SOB MANEJO DE ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADES POPULACIONAIS	34
RESUMO.....	34
ABSTRACT	35
1 INTRODUÇÃO	36
2 MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1 Localização e caracterização da área experimental	37
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	39
2.3 Instalação e condução dos experimentos	41
2.4 Características avaliadas.....	43
2.4.1 Características agronômicas	43
2.4.2 Eficiência agromonetária do sistema.....	44
2.5 Análises estatísticas	45
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
3.1 Desempenho da cultura da beterraba	46
3.2 Desempenho da cultura do coentro	51
3.3 Desempenho da cultura da alface.....	55
3.4 Indicadores agromonetários do sistema.....	59
4 CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS.....	63
CAPÍTULO II - MANEJO DA ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL NO DESEMPENHO AGROBIOECONÔMICO DO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS NO SEMIÁRIDO	70
RESUMO.....	70
ABSTRACT	71
1 INTRODUÇÃO	72
2 MATERIAL E MÉTODOS	73
2.1 Localização e caracterização da área experimental	73
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	75

2.3 Instalação e condução dos experimentos	78
2.4 Características avaliadas.....	80
2.4.1 Índices agrônômicos.....	80
2.4.2 Índices biológicos.....	82
2.4.3 Indicadores econômicos	84
2.5 Análises estatísticas	84
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
3.1 Índices agrônômicos.....	85
3.2 Índices biológicos	88
3.3 Indicadores econômicos.....	91
4 CONCLUSÕES.....	93
REFERÊNCIAS.....	94
CAPÍTULO III - QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS EM CONSÓRCIO SUCESSIVO NO SEMIÁRIDO SOB MANEJO DA ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL.....	99
RESUMO.....	99
ABSTRACT	100
1 INTRODUÇÃO	101
2 MATERIAL E MÉTODOS	102
2.1 Localização e caracterização da área experimental	102
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	104
2.3 Instalação e condução dos experimentos	107
2.4 Características avaliadas.....	109
2.5 Análises estatísticas	111
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	111
3.1 Qualidade pós-colheita da beterraba	111
3.2 Qualidade pós-colheita do coentro	119
3.3 Qualidade pós-colheita da alface	126
4 CONCLUSÕES.....	132
REFERÊNCIAS.....	133
CAPÍTULO IV – MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS NO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS EM SUCESSÃO SOB ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL EM AMBIENTE SEMIÁRIDO	139
RESUMO.....	139

ABSTRACT	140
1 INTRODUÇÃO	141
2 MATERIAL E MÉTODOS	142
2.1 Localização e caracterização da área experimental	142
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	144
2.3 Instalação e condução dos experimentos	146
2.4 Características avaliadas.....	148
2.5 Análises estatísticas	149
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	150
3.1 Cultura da beterraba.....	150
3.2 Cultura do coentro.....	156
3.3 Cultura da alface.....	161
4 CONCLUSÕES.....	170
REFERÊNCIAS.....	171
CONCLUSÕES GERAIS	179
APÊNDICE	180

1 INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por hortaliças, impulsionada pela busca por alimentos mais saudáveis, maior diversificação alimentar e sistemas produtivos ambientalmente responsáveis, tem colocado novos desafios à horticultura, especialmente em regiões semiáridas (Silva; Siqueira; Santos, 2021; Brunelle et al., 2024). Nesses ambientes, onde a limitação hídrica, a baixa fertilidade dos solos e a variabilidade climática desafiam a estabilidade produtiva, torna-se fundamental a adoção de práticas agroecológicas (Mata et al., 2024). Entre essas práticas, o cultivo consorciado emerge como alternativa para otimizar o uso dos recursos dos agroecossistemas e do retorno agroeconômico (Guerra et al., 2022a; Bezerra Neto et al., 2024).

O sistema consorciado consiste no cultivo de duas ou mais espécies na mesma área e no mesmo período agrícola, o que promove certa interação durante parte de seus ciclos, possibilitando aumento da diversidade e da eficiência do sistema (Gitari et al., 2020; Yu et al., 2025). Todavia, a seleção adequada das culturas e o equilíbrio no tempo de convivência refletem no desempenho do sistema (Guerra et al., 2021; Azevedo et al., 2025). Entre as hortaliças que podem ser cultivadas em sistemas consorciados destacam-se a beterraba (*Beta vulgaris*), o coentro (*Coriandrum sativum*) e a alface (*Lactuca sativa*). Seus ciclos de desenvolvimento distintos permitem maior complementaridade morfofisiológica, reduzindo a competição direta, favorecendo a exploração do espaço e do tempo de forma mais eficaz (Guerra et al., 2022a; Lino F. et al., 2023; Silva et al., 2025).

Entretanto, a eficiência desse sistema pode ser limitada pela competição intra e interespecífica, especialmente quando a densidade populacional não está bem ajustada. O espaçamento entre plantas interfere na interceptação de luz, na dinâmica de absorção de nutrientes e nas condições microclimáticas no dossel (Glaze-Corcoran et al., 2020; Wang et al., 2021). Para minimizar esses efeitos competitivos, a adubação orgânica com espécies nativas da Caatinga, como a *Merremia aegyptia* (jitirana) e a *Calotropis procera* (flor-de-seda), tem sido utilizada como estratégia para melhorar as condições do sistema solo-planta-atmosfera e favorecer um desenvolvimento mais equilibrado entre as hortaliças (Bezerra Neto et al., 2024).

A eficácia desses adubos verdes tem sido evidenciada em sistemas de consorciação de hortaliças folhosas e tuberosas, com vantagens produtivas e econômicas (Lino et al., 2021; Guerra et al., 2021; Sá et al., 2022; Lino F. et al., 2023). Silva et al. (2025), observaram que no consórcio de rabanete com coentro, os coeficientes de equivalência de terra e monetária foram de 0,42 e 0,76, respectivamente, utilizando 20 e 39 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* com 100% da densidade populacional de coentro. O rendimento de massa verde do

coentro e a produtividade comercial da raiz tuberosa de rabanete foram otimizados, atingindo 1,25 e 14,90 t ha⁻¹ quando fertilizados com 65 t ha⁻¹ de biomassa dos adubos verdes. Em trabalho complementar, os autores alcançaram uma renda líquida de R\$ 107.278,10 ha⁻¹ ao incorporar ao solo 25,88 t ha⁻¹ dos adubos verdes combinados com 100% da densidade populacional de coentro (Silva et al., 2024). Além disso, a melhoria na qualidade pós-colheita das olerícolas cultivadas com esses adubos verdes associada ao manejo adequado da densidade de plantas foi constatada no consórcio de beterraba e alface (Guerra et al., 2022b) e no consórcio de beterraba e rúcula (Lino V. et al., 2023).

Essas descobertas sugerem que combinações estratégicas de culturas favorecem interações e aumentam a sustentabilidade e, a produtividade agrícola. No entanto, essas investigações concentram-se em consórcios envolvendo apenas duas espécies e, em geral, desconsideram os benefícios residuais da adubação verde em cultivos sucessivos, bem como os impactos do manejo pré-colheita sobre a qualidade pós-colheita. Além disso, ainda é pouco estudado como o manejo com adubação verde e a densidade populacional modulam a morfofisiologia das plantas, especialmente em sistemas com hortaliças de ciclos e exigências fisiológicas distintas.

Diante dessas lacunas, com este trabalho se buscou investigar como combinações de densidade populacional e quantidades dos adubos verdes influenciam o sistema consorciado de beterraba e coentro com alface em sucessão. A Tese foi estruturada em quatro capítulos: No primeiro é abordada a perspectiva agrônômica das culturas implementadas no sistema e como os fatores avaliados influenciam a produtividade e a rentabilidade. No segundo, são analisadas as interações competitivas e complementares entre as culturas por meio de índices agrobioeconômicos, evidenciando as vantagens biológicas e econômicas frente aos sistemas convencionais. No terceiro, a análise volta-se à qualidade pós-colheita, investigando os efeitos do manejo pré-colheita sobre os atributos físico-químicos das culturas. E no quarto, são avaliados os parâmetros morfofisiológicos associados ao status hídrico e aos pigmentos fotossintéticos das culturas.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, M. C. et al. Sustainability and agro-monetary return in beet-immature cowpea intercropping as a function of green manuring and population density. **SEMINA: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 2, p. 417-442, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n2p417>. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/50987>.
- BEZERRA NETO, F. et al. **Adubação verde em cultivos agroecológicos em ambiente semiárido**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2024.
- BRUNELLE, T. et al. Reduzir os insumos químicos na agricultura exige uma mudança de sistema. **Communications Earth & Environment**, v. 5, n. 1, p. 369, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01533-1>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43247-024-01533-1#citeas>.
- GITARI, H. I. et al. Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107957, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107957>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429020312417>.
- GLAZE-CORCORAN, S. et al. Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 162, p. 199–256, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211320300304>.
- GUERRA, N. M. et al. Agro-economic viability of lettuce-beet intercropping under green manuring in the semi-arid region. **Horticultura Brasileira**, v. 40, n. 1, p. 78-87, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20220111>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/qYcj4vBcPQZ5H7PzSypLKvt/?format=html&lang=en>.
- GUERRA, N. M. et al. Post-harvest indices and color parameters in beet roots intercropped with lettuce under organic fertilization and population densities. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 1-9, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.05822>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/VbSNbzvBpkYt4RYvr76p4bM/?format=html&lang=en>.
- GUERRA, N. M. et al. Productive and agro-economic benefits in beet-lettuce intercropping under organic manuring and population densities. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e10510413883, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13883>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13883>.
- LINO, F. K. K. S. et al. Maximizing agro-bioeconomic benefits in intercropped systems of radish and lettuce in the semi-arid environment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 121-131, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p121-131>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6bHdCfTPwxnMTKn3t3NCDTy/?format=html&lang=en>.
- LINO, V. A. S. et al. Beetroot and radish production under different quantities of green manures. **Research, Society and Development**, v. 10, n.16, p. e66101623205, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23205>. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23205>

LINO, V. A. S. et al. Post-harvest indexes and colour parameters from arugula-beet intercropping under green manuring and population density. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20258560, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230059>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/JkY5jw4B9jsTXPKS5gL5zhQ/?format=html&lang=en>.

MATA, D. A. et al. Fertilidade do solo no semiárido: características e desafios. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 9, p. e4278, 2024. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i9.4278>. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4278>.

SÁ, J. M. et al. Yield performance and agro-economic efficiency of radish-arugula intercropping under green manuring and planting density. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p. 44-56, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20220206>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/vdS3yCzmD4XnHrhfkdr9zR/?format=html&lang=en>.

SILVA, G. A. et al. Productive and monetary efficiency of radish and coriander intercropping under organic management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 56, p. 1-12, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20250036>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/XzjkbDjqjQ75X5676dYp6sJ/?format=html&lang=en>.

SILVA, G. A. et al. Agrobio-economic return in radish-coriander intercropping under green manuring and population densities. **SEMINA: Ciências Agrárias**, v. 45, p. 689-712, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2024v45n3p689>.

SILVA, D. B.; SIQUEIRA, C. E. A. F.; SANTOS, J. S. A importância da segurança e qualidade microbiológica e parasitológica em hortaliças. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e109101421589-e109101421589, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21589>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21589>.

WANG, Q. et al. Does reduced intraspecific competition of the dominant species in intercrops allow for a higher population density? **Food and Energy Security**, v. 10, n. 2, p. 285-298, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.270>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.270>.

YU, R. P. et al. Intercropping: ecosystem functioning and sustainable agriculture. **Plant and Soil**, v. 506, p. 1-6, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07111-w>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-024-07111-w>.

CAPÍTULO I - EFICIÊNCIA AGROMONETÁRIA DO CONSÓRCIO DE BETERRABA E COENTRO COM ALFACE EM SUCESSÃO SOB MANEJO DE ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADES POPULACIONAIS

RESUMO

No semiárido brasileiro, os sistemas consorciados de hortaliças representam uma estratégia eficaz para diversificar e aumentar a produtividade agrícola. Dessa forma, este estudo objetivou avaliar a eficiência agromonetária do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão, em função de quantidades equitativas dos adubos verdes em diferentes densidades populacionais de culturas folhosas (coentro e alface), em ambiente semiárido. Dois experimentos de campo foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quantidades de biomassa de *Merremia aegyptia* e *Calotropis procera* (25, 45, 65 e 85 t ha⁻¹) e de densidades populacionais de culturas folhosas (40, 60, 80 e 100% da densidade recomendada em monocultivo – DRM). Na cultura da beterraba foram avaliados: altura de plantas, número de folhas, massa seca da parte aérea e das raízes, produtividade de raízes por classes comerciais (graúdas, extra AA, extra A e extra), produtividade comercial e total; no coentro: altura de plantas, número de hastes e massa seca; e na alface: altura de plantas, número de folhas, diâmetro transversal da planta, massa seca e produtividade de folhas. O desempenho do sistema consorciado foi avaliado por meio do escore da variável canônica (Z), índice de produtividade do sistema (IPS) e razão de equivalência monetária (REM). A maior quantidade dos adubos verdes (85 t ha⁻¹) mitigou a competição do sistema, possibilitando alcançar produtividade máxima de 38,12 t ha⁻¹ de raízes comerciais de beterraba; 2,26 t ha⁻¹ de massa verde de coentro e 11,51 t ha⁻¹ de folhas de alface, quando associados às densidades de 63,28, 100 e 100% da DRM, respectivamente. As maiores vantagens agromonetárias foram obtidas com 85 t ha⁻¹ dos adubos verdes associadas a 100% da DRM, resultando em valores de 12,72 para a Z; 65,16 para o IPS e 1,74 para a REM. O consórcio estabelecido, com o uso de espécies espontâneas da Caatinga como adubos verdes, aliado ao manejo adequado da densidade populacional (100% da DRM), favoreceu os componentes produtivos e aumentou a eficiência econômica do sistema.

Palavras-chave: *Merremia aegyptia*; *Calotropis procera*; adubação orgânica; hortaliças; sistemas sustentáveis; bioma Caatinga.

CHAPTER I – AGRO-MONETARY EFFICIENCY OF INTERCROPPING BEETROOT AND CORIANDER WITH LETTUCE IN SUCCESSION UNDER GREEN MANURE MANAGEMENT AND POPULATION DENSITIES

ABSTRACT

In the Brazilian semiarid region, vegetable intercropping represents an effective strategy for diversifying and increasing agricultural productivity. This study aimed to evaluate the agro-monetary efficiency of the intercrop in strips of beetroot and coriander with lettuce in succession, as a function of equitable amounts of green manures in different population densities of leafy crops (coriander and lettuce) in a semiarid environment. Two field experiments were conducted in a randomized block design, in a 4×4 factorial scheme, with four replications. The treatments tested consisted of the combination of biomass amounts of *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera*: 25, 45, 65, and 85 t ha⁻¹, and the planting densities of leafy vegetables: 40, 60, 80, and 100% of the recommended density in monoculture - RDM. The following parameters were evaluated at the beetroot: plant height, number of leaves, shoot and root dry mass, root productivity by commercial classes (large, extra AA, extra A and extra), commercial and total productivity; in the coriander: plant height, number of stems and dry mass; and in lettuce, plant height, number of leaves, plant transverse diameter, dry mass and leaf productivity. The performance of the intercropping system was evaluated using the canonical variable score (Z), the system productivity index (SPI) and the monetary equivalence ratio (MER). The greater quantity of green manures (85 t ha⁻¹) mitigated competition within the system, enabling a maximum productivity of 38.12 t ha⁻¹ of commercial beet roots; 2.26 t ha⁻¹ of coriander green mass and 11.51 t ha⁻¹ of lettuce leaves, when associated with densities of 63.28, 100 and 100% of the RDM, respectively. The greatest agro-monetary advantages were obtained with 85 t ha⁻¹ of green manures associated with 100% of the RDM, resulting in values of 12.72 for the canonical variable Z; 65.16 for the SPI and 1.74 for the MER. The intercropping, with the use of spontaneous species from the Caatinga as green manures, combined with adequate management of population density (100% da RDM), favored the productive components and increased the economic efficiency of the system.

Keywords: *Merremia aegyptia*; *Calotropis procera*; organic fertilization; vegetables; sustainable systems; semi-arid.

1 INTRODUÇÃO

O uso de sistemas consorciados em ambientes semiáridos tem se intensificado devido à sua capacidade de melhorar a produtividade, a qualidade do solo, o uso eficiente da terra e dos insumos, aumentando a produtividade por unidade de área e a rentabilidade para o produtor que a exerce (Dehon et al., 2021; Santos et al., 2025). Consorciar culturas significa cultivar duas ou mais espécies de plantas simultaneamente na mesma área e no mesmo período, com grau de complementaridade entre plantas (Thierfelder et al., 2023). Entretanto, os principais desafios desse sistema envolvem a escolha adequada das culturas, o manejo da adubação e o arranjo espacial das espécies consorciadas, uma vez que esses fatores regem a eficiência do sistema (Chaves et al., 2022; Sá et al., 2022; Azevedo et al., 2025).

Em sistemas consorciados de hortaliças no semiárido brasileiro, a adubação verde desponta como estratégia para suprir a demanda nutricional (Bezerra Neto et al., 2024), otimizando o sistema solo-planta, reduzindo os custos produtivos e a degradação ambiental (Abranches et al., 2021). Mas a efetividade desses benefícios está condicionada à espécie vegetal utilizada como adubo verde (Lima Filho et al., 2023). Em consórcios de hortaliças adubadas com *Merremia aegyptia* (jitirana) e *Calotropis procera* (flor-de-seda) como adubo verde, combinado ao ajuste das densidades populacionais das culturas componentes, resultou em vantagens produtivas e monetárias, além de promover sustentabilidade aos agroecossistemas (Azevedo et al., 2021; Lino et al., 2022; Chaves et al., 2022). O destaque do uso dessas espécies espontâneas do bioma Caatinga, decorre do rápido crescimento, elevada produção de fitomassa verde e seca, composição nutricional favorável (P, K, Ca e Mg) e uma relação C:N em torno de 20:1 (Bezerra Neto et al., 2024).

O manejo da densidade populacional das culturas componentes também pode ocasionar uma série de alterações no crescimento e desenvolvimento das plantas, visto que as interações intra e interespecíficas determinam o grau de competição e/ou facilitação da captura e alocação de recursos (Zhang et al., 2020; Wang et al., 2021), afetando, assim, a eficiência agroeconômica e a qualidade dos produtos advindos do sistema (Ribeiro et al., 2018). O aumento da densidade populacional das culturas pode influenciar a produtividade de hortaliças cultivadas em sistema consorciado. A beterraba em sistema consorciado com folhosas, por exemplo, teve redução do tamanho médio das raízes devido à maior competição por água e nutrientes (Andrade Filho et al., 2020).

Apesar dos avanços nos sistemas consorciados de hortaliças com adubação verde e manejo das densidades populacionais, ainda são escassos estudos que definam a combinação da quantidade ideal de biomassa e o arranjo espacial mais eficiente para cultivos em sucessão,

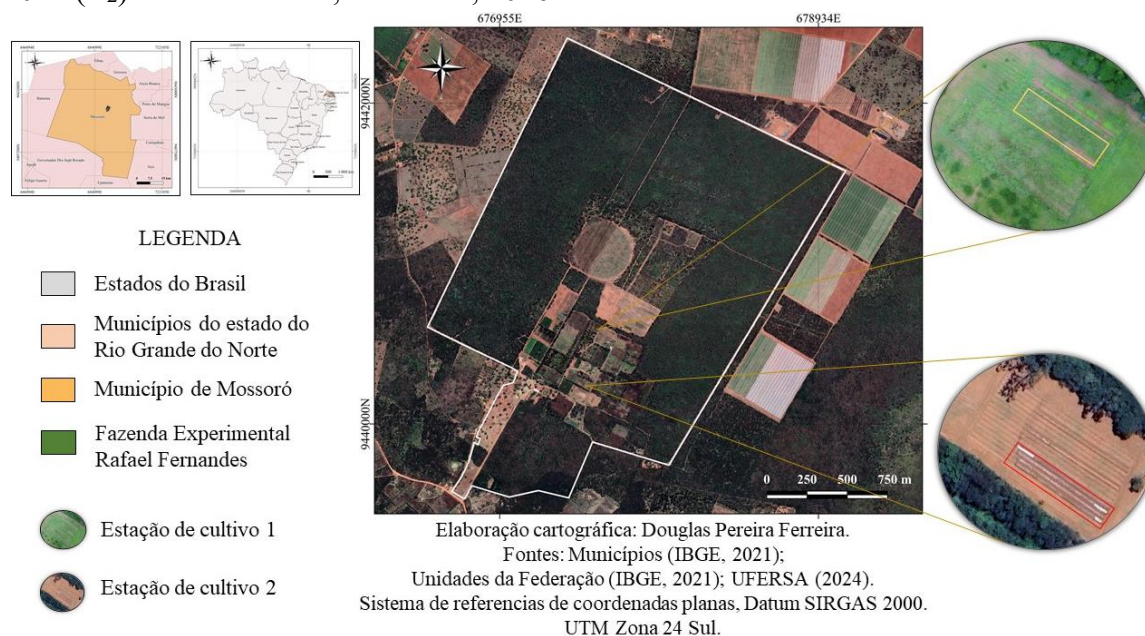
considerando culturas de ciclo curto como o coentro e a alface, de modo a maximizar a produtividade das culturas, sem comprometer a eficiência do sistema. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência agromonetária do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão, em função de quantidades equitativas de *M. aegyptia* e *C. procera* em diferentes densidades populacionais de culturas folhosas (coentro e alface), em ambiente semiárido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos em dois períodos: de agosto a dezembro de 2023 (C₁ – Período de cultivo 1) e de julho a novembro de 2024 (C₂ – Período de cultivo 2), na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, vinculada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no distrito de Lagoinha, a 20 km da sede do município de Mossoró, RN, Brasil (5° 03 '37 "S, 37 ° 23 '50 "W, altitude de 18 m) (Figura 1).

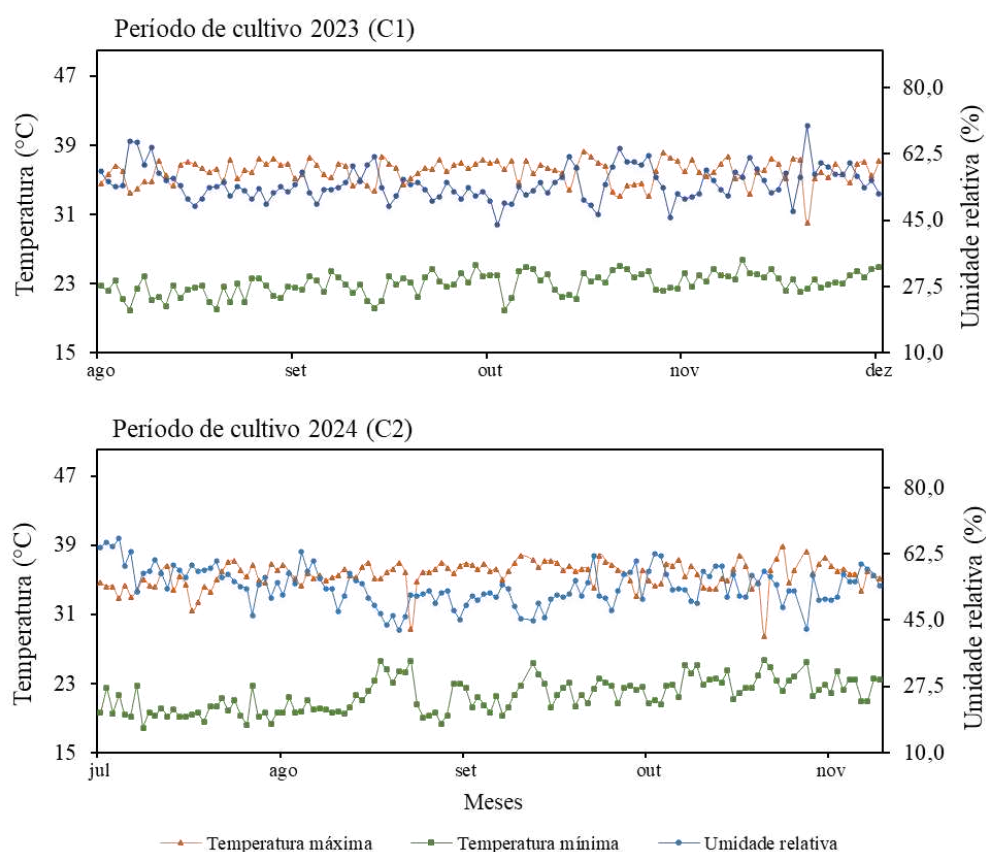
Figura 1 – Mapa de localização das áreas experimentais dos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Os períodos de condução experimental foram determinados com base nas condições climáticas locais, de modo a evitar períodos de elevada precipitação, que poderiam comprometer o desenvolvimento das hortaliças devido à exposição direta ao ambiente (não sendo cultivo protegido), além de favorecer a proliferação de fitopatógenos e pragas associadas

ao excesso hídrico, impactando negativamente o crescimento e a produtividade das culturas. O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger é do tipo BSh' caracterizado como seco e muito quente, com duas estações: uma seca que geralmente ocorre de junho a janeiro e outra chuvosa de fevereiro a maio (Beck et al., 2018). Durante os períodos experimentais a temperatura média, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento foram de 29,2 °C, 54,7 %, 19,8 MJ m⁻² e 5,9 m s⁻¹, respectivamente, para C₁ e de 28,6 °C, 54,1%, 18,7 MJ m⁻² e 5,4 m s⁻¹, respectivamente, para C₂. Não houve precipitação em nenhum dos períodos de cultivo (LABIMC, 2025). A temperatura mínima e máxima e a umidade relativa do ar diária, durante os períodos de cultivo C₁ e C₂, estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Médias diárias de temperatura mínima, máxima e de umidade relativa do ar, nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O solo das áreas experimentais é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO e de textura arenosa (Santos et al., 2018). Antes da instalação dos experimentos, foram realizadas análises dos atributos químicos do solo na camada a de 0-20 cm de profundidade, conforme metodologia da EMBRAPA (Teixeira et al., 2017), cujos resultados foram: potencial hidrogeniônico (H₂O) = 5,80 e 6,20; capacidade de troca catiônica (mmol_c

dm^{-3}) = 27,9 e 58,10; saturação por base ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 14,4 e 38,40; matéria orgânica (g dm^{-3}) = 13,25 e 14,70; fósforo (mg dm^{-3}) = 6,00 e 27,00; potássio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 1,77 e 3,28; cálcio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 8,40 e 19,30; magnésio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 2,70 e 13,70; sódio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 1,49 e 2,09; cobre (mg dm^{-3}) = 0,20 e 4,09; ferro (mg dm^{-3}) 4,90 = 18,70 e 4,90; manganês (mg dm^{-3}) = 4,90 e 11,31 mg dm^{-3} ; zinco (mg dm^{-3}) = 0,60 e 5,51 mg dm^{-3} , para o C_1 e C_2 , respectivamente.

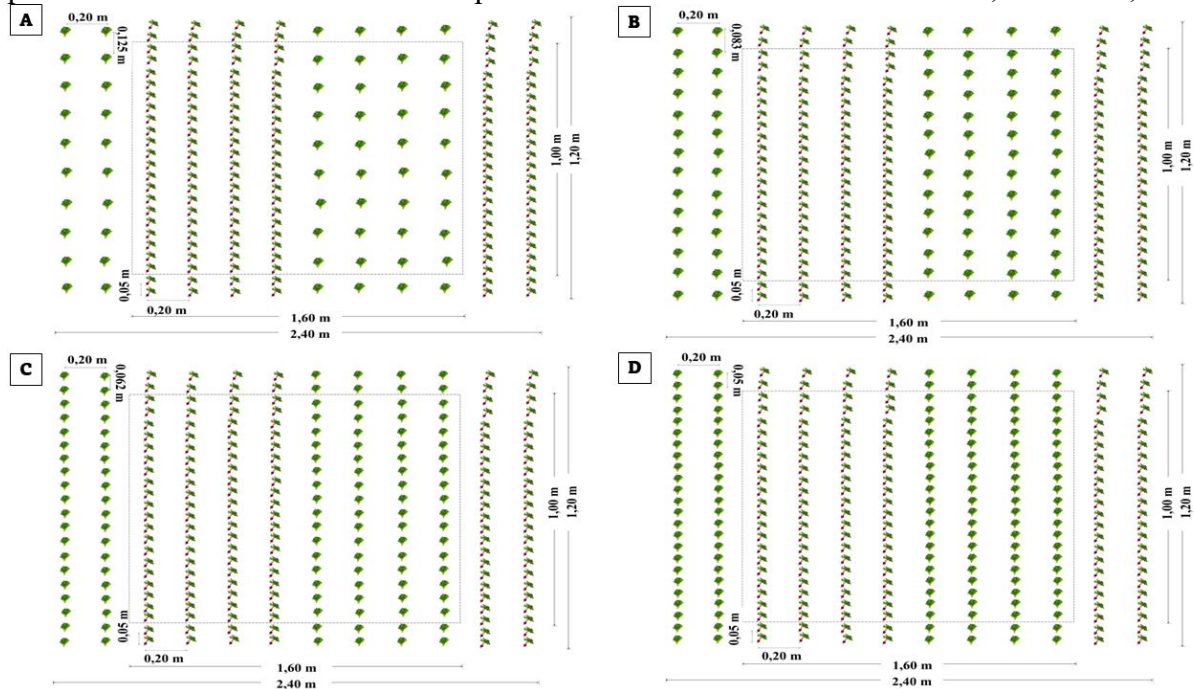
2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4, com quatro repetições. O primeiro fator constituiu-se de misturas equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* de 25, 45, 65 e 85 t ha^{-1} em base seca, e o segundo fator correspondeu às densidades populacionais das folhosas de 40, 60, 80 e 100% da densidade populacional recomendada para o monocultivo (DRM). A alface foi cultivada em sucessão ao coentro, nas mesmas densidades populacionais (40, 60, 80 e 100% da DRM).

A densidade populacional da cultura da beterraba foi de 100% da DRM, tanto no sistema consorciado quanto no monocultivo. As densidades populacionais recomendadas para o monocultivo da beterraba, coentro e alface na região são de 500, 1.000 e 250 mil plantas ha^{-1} , respectivamente (Paula et al., 2017; Lino et al., 2021b; Ferreira et al., 2022). O cultivo do coentro em sistema consorciado, foi feito com duas plantas por cova. Em cada bloco, foram plantadas parcelas em monocultivo de beterraba, coentro e alface (em sucessão), adubadas com quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* otimizadas pelas pesquisas de Lino et al. (2021b) e Ferreira et al. (2022), respectivamente.

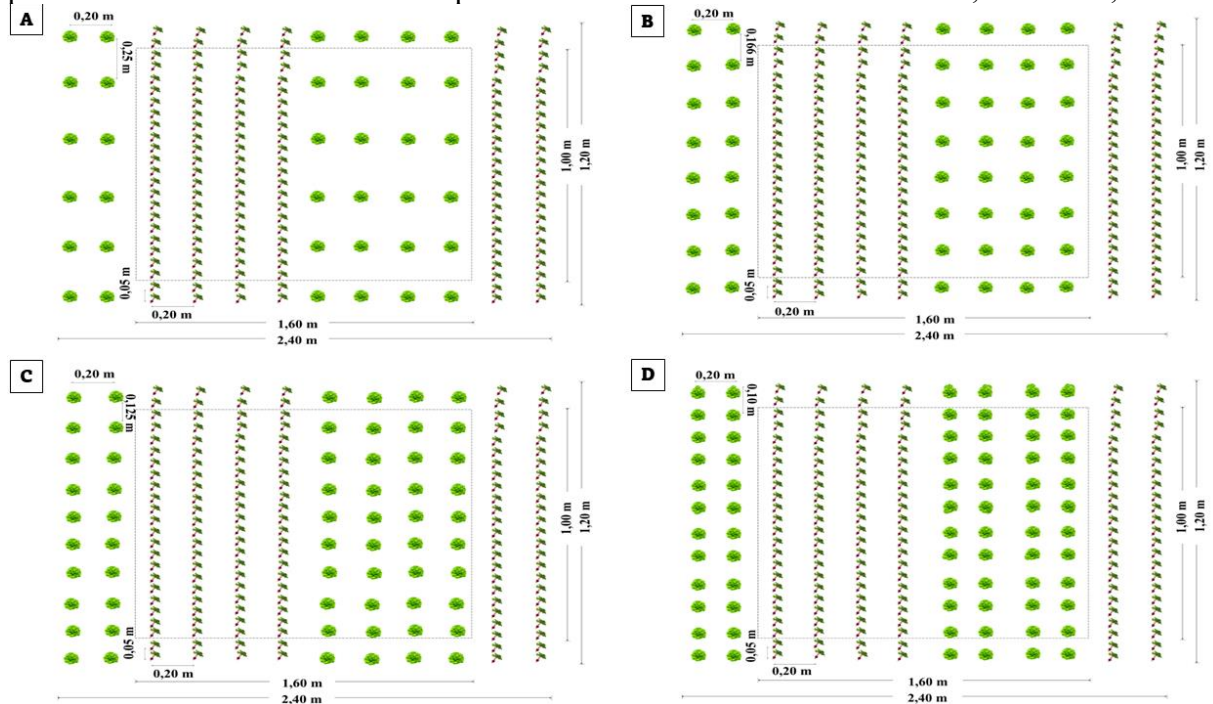
O cultivo consorciado foi estabelecido em faixas alternadas das culturas componentes na proporção de 50% da área ocupada com beterraba e 50% com as folhosas, onde em cada parcela as faixas alternadas foram constituídas de quatro fileiras, ladeadas por duas fileiras de coentro ou alface por um lado e duas fileiras de beterraba pelo outro lado, usadas como bordadura (Figuras 3A-D e 4A-D). A área total de cada parcela foi de 2,88 m^2 (2,40 x 1,20 m), com uma área útil de 1,60 m^2 (1,60 x 1,00 m). A área útil foi constituída pelas duas faixas centrais de plantas, excluindo-se as primeiras e as últimas plantas de cada fileira das faixas usadas como bordaduras. No monocultivo das hortaliças a área total foi de 1,44 m^2 (1,20 x 1,20 m) com área útil de 0,80 m^2 (0,80 x 1,00 m) para a beterraba e coentro cada e de 0,60 m^2 (0,80 x 0,80 m) para a alface (Figura 5A-D).

Figura 3 – Representação das parcelas em sistema consorciado de beterraba (500 mil plantas ha^{-1}) com coentro nas densidades populacionais de 400 (A), 600 (B), 800 (C) e 1000 (D) mil plantas ha^{-1} de coentro com 500 mil plantas ha^{-1} de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



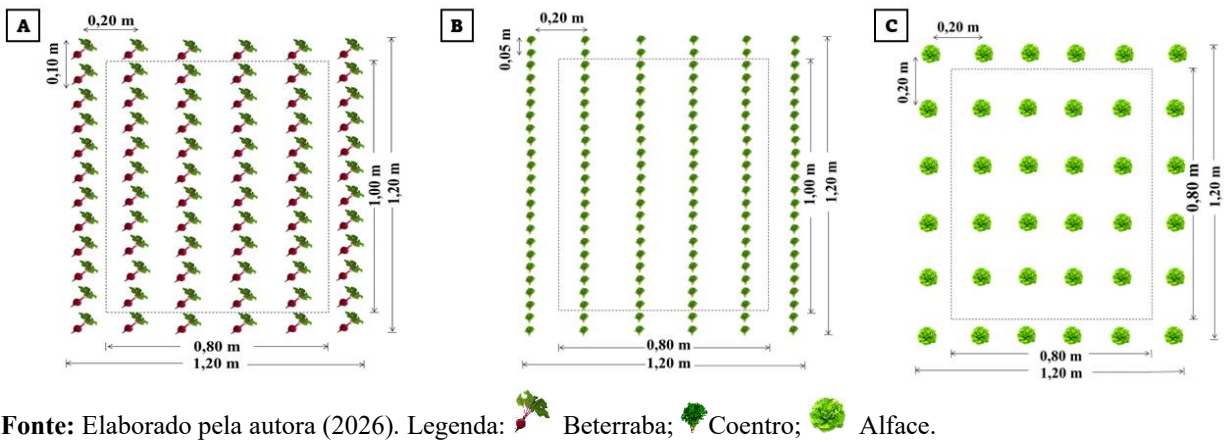
Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Coentro.

Figura 4 – Representação das parcelas em sistema consorciado de beterraba (500 mil plantas ha^{-1}) com alface nas densidades populacionais de 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 (D) mil plantas ha^{-1} de alface com 500 mil plantas ha^{-1} de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Alface.

Figura 5 – Representação das parcelas em monocultivo de beterraba (A), coentro (B) e alface (C) nas densidades de 500, 1.000 e 250 mil plantas por hectare, respectivamente. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Os espaçamentos empregados no sistema consorciado e em monocultivo das culturas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das densidades populacionais da beterraba, coentro e alface utilizados em sistema consorciado e em monocultivo, com seus respectivos percentuais das densidades populacionais e espaçamentos. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidades populacionais das culturas em cultivo consorciado					
População (mil plantas ha ⁻¹)			Espaçamento (m)		
Beterraba	Coentro	Alface	Beterraba	Coentro*	Alface
500	400 (40%)	100 (40%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,120	0,20 x 0,250
500	600 (60%)	150 (60%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,085	0,20 x 0,166
500	800 (80%)	200 (80%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,062	0,20 x 0,125
500	1.000 (100%)	250 (100%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,050	0,20 x 0,100
Densidades populacionais das culturas em monocultivo					
População (mil plantas ha ⁻¹)			Espaçamento (m)		
			Beterraba	Coentro	Alface
Beterraba	500		0,20 x 0,10		
Coentro	1.000			0,20 x 0,05	
Alface	250				0,20 x 0,20

Fonte: Elaborado pela autora (2026). * duas plantas de coentro por cova.

2.3 Instalação e condução dos experimentos

A preparação do solo para os experimentos incluiu a limpeza mecânica das áreas com auxílio de um arado, seguida de uma gradagem e levantamento dos canteiros com grade rotativa. Em seguida, os canteiros foram solarizados em pré-plantio por 30 dias com plástico

transparente (Vulca Brilho Bril Flex de 30 μm), para o controle de microrganismos fitopatogênicos do solo.

Após esse período, os adubos verdes (*M. aegyptia* e *C. procera*) foram incorporados ao solo na camada de 0-20 cm do solo, com auxílio de enxadas. Os adubos verdes foram coletados em áreas rurais e urbanas do município de Mossoró, RN, e transportados para o setor da Horta Didática da UFERSA. No local, o material foi triturado em máquina forrageira convencional, resultando em partículas com dimensões entre 2,0 e 3,0 cm. Em seguida, foi submetido à secagem ao sol por sete dias, com revolvimento duas vezes ao dia, até atingir teor de umidade em torno de 10%. O período para atingir o teor de umidade desejado varia conforme as condições climáticas diárias, incluindo intensidade de radiação solar e umidade relativa do ar. Além disso, a desidratação do material é influenciada pela espessura da camada do material distribuído. Foram realizadas análises químicas da biomassa dos adubos verdes e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise química de macro e micronutrientes na biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* incorporadas ao solo nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Aduos verdes	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B	C:N
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----					
Período de cultivo 2023 (C ₁)											
<i>M. aegyptia</i>	18,98	3,01	37,40	18,55	4,97	438	27,00	6,00	19,00	44,00	20:1
<i>C. procera</i>	15,91	1,22	32,70	10,64	6,41	87	24,00	10,00	77,00	37,00	16:1
Período de cultivo 2024 (C ₂)											
<i>M. aegyptia</i>	20,02	3,70	33,62	13,20	3,65	384	21,02	7,76	23,90	25,66	19:1
<i>C. procera</i>	23,10	2,80	37,62	9,71	7,99	195	21,78	7,58	38,98	34,88	15:1

*N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Fe: ferro; Zn: zinco; Cu: cobre; Mn: manganês; B: boro; relação Carbono: Nitrogênio.

Aos 15 dias após a incorporação dos adubos verdes, foi realizada a semeadura das hortaliças (beterraba e coentro). A cultivar de beterraba Early Wonder e de coentro Verdão foram semeadas no dia 29 de setembro de 2023 (C₁) e 05 de setembro de 2024 (C₂), em covas de aproximadamente 3 cm de profundidade, com três sementes por cova. O desbaste da beterraba e do coentro foi realizado aos 12 e 19 dias após a semeadura (DAS) no C₁ e aos 14 e 20 DAS no C₂, respectivamente, deixando-se uma planta por cova para a cultura da beterraba e duas plantas por cova para o coentro.

Três dias após a colheita do coentro, a área ocupada pela folhosa foi limpa, retirando todos os seus resíduos, e as mudas de alface cultivar Jade, produzidas pela empresa HortVida

Agrícola ME, foram transplantadas. O transplântio ocorreu no dia 09 de novembro de 2023 (C₁) e 10 de outubro de 2024 (C₂) aos 22 DAS, em covas de 5,0 cm de profundidade.

Os experimentos foram irrigados por sistema de microaspersão, com dois turnos de rega (manhã e tarde), conforme necessidade hídrica da cultura principal (beterraba - Kc médio: 0,83), fornecendo uma lâmina de água de aproximadamente 8 mm dia⁻¹ (Oliveira Neto et al., 2011). Como tratos culturais, na cultura da beterraba foi realizada a amontoa aos 35 DAS, sendo repetida sempre que necessário, a fim de proteger as raízes tuberosa, prevenindo rachaduras e queima do ombro. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capinas manuais, sempre que necessário. Nas plantas de beterraba o controle de doenças foi feito com Trichodermil Super SC[®], registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para uso em sistemas orgânicos, para combater fungos fitopatogênicos dos gêneros *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., identificados por ocasião do desbaste da tuberosa. Nas culturas folhosas, não foi necessário realizar nenhum tratamento fitossanitário.

A beterraba foi colhida aos 58 e 60 DAS, o coentro aos 35 DAS e 28 DAS e a alface aos 29 e 35 dias após o transplântio, no primeiro (C₁) e segundo (C₂) período de cultivo, respectivamente.

2.4 Características avaliadas

2.4.1 Características agronômicas

Na cultura da beterraba, em uma amostra de 16 plantas colhidas aleatoriamente na área útil da parcela, foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de plantas (AP, cm), utilizando uma régua graduada; número de folhas por planta (NFP), obtido pela contagem das folhas basais até a última folha aberta; massa seca da parte aérea (MSPA, t ha⁻¹) e de raízes (MSR, t ha⁻¹) obtida pela secagem das partes em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir peso constante. A partir de todas as plantas da área útil da parcela, as raízes tuberosa de beterraba foram previamente classificadas em classes comerciais e, com base nessa classificação, determinaram-se as produtividades total (PT) e comercial (PC), expressas em t ha⁻¹. As raízes foram classificadas em graúdas (diâmetro de raiz DR: ≥ 7 cm), extra AA (DR: 6 a < 7 cm), extra A (DR: 5 a < 6 cm), extra (DR: 4 a < 5 cm) e refugo (DR: < 4 cm ou raízes rachadas, bifurcadas, com danos mecânicos ou atacadas por fitopatogênicos), conforme metodologia adotada por Guerra et al. (2022). A produtividade total de raízes foi obtida considerando todas as plantas da área útil, enquanto a produtividade comercial correspondeu à produtividade total, excluindo-se as raízes classificadas como refugo.

Na cultura do coentro, avaliaram-se as seguintes características, em uma amostra de 20 plantas da área útil, selecionadas de forma aleatória: altura de plantas (AP, cm); número de hastes por planta (NFP); relação folha/haste (RFH) e massa seca da parte aérea (MSPA, t ha⁻¹). De todas as plantas da área útil, foram obtidos o rendimento de massa verde (RMV, t ha⁻¹) e o número de molhos por m² (NM).

Na cultura da alface, em uma amostra de cinco plantas colhidas aleatoriamente da área útil, as seguintes características foram avaliadas: altura de plantas (AP, cm), número de folhas por planta (NFP), diâmetro transversal da planta (DTP, cm), mensurado utilizando uma régua graduada; e massa seca da parte aérea (MSPA, t ha⁻¹). A produtividade de folhas (PF, t ha⁻¹) foi quantificada pela massa fresca da parte aérea de todas as plantas da área útil.

2.4.2 Eficiência agromonetária do sistema

a) O escore da variável canônica (Z) foi obtido através de uma equação proveniente da análise multivariada da produção de massa verde de coentro (Y_c), produtividade comercial de raízes tuberosa de beterraba (Y_b) e produtividade de folhas de alface (Y_a) (Andrade Filho et al., 2020).

b) O Índice de Produtividade do Sistema (IPS) foi determinado conforme a metodologia de Odo (1991), adaptada para o cultivo sucessivo, considerando-se a produtividade das folhosas como a soma das produtividades de coentro e de alface. Essa adaptação justifica-se pelo uso sequencial do mesmo espaço por ambas as culturas, complementando o ciclo da cultura principal (beterraba). Para a análise, aplicou-se a fórmula a seguir (Eq. 1):

$$IPS = \left[\left(\frac{Y_b}{Y_f} \right) \times Y_{fb} \right] + Y_{bf} \quad (1)$$

onde,

Y_b representa a produtividade comercial de raízes tuberosa de beterraba em monocultivo;

Y_f é a produtividade das folhosas (coentro e alface), em monocultivo;

Y_{fb} é a produtividade das folhosas consorciadas com beterraba;

Y_{bf} é a produtividade comercial de raízes tuberosa de beterraba em consórcio com as folhosas.

c) A Razão de Equivalência Monetária (REM) foi expressa pela seguinte equação (Adetiloye, Adekunle, 1989) (Eq. 2):

$$REM = \left(\frac{RB_{bf} + RB_{cb} + RB_{ab}}{RB_a} \right) \quad (2)$$

onde,

RB_{bf} é a renda bruta de beterraba no consórcio com as folhosas;

RB_{cb} é a renda bruta de coentro consorciado com a beterraba;

RB_{ab} é a renda bruta de alface consorciada com a beterraba;

RB_a é a maior renda bruta de alface em monocultivo, quando comparada à de beterraba e de coentro.

Para a obtenção da renda bruta da produção foi utilizado o valor médio do preço pago ao produtor na região, por ocasião da colheita das culturas, sendo de R\$ 2,65 kg⁻¹ para a beterraba, R\$ 11,00 kg⁻¹ para o coentro e R\$ 7,55 kg⁻¹ para a alface (CEASA – RN, 2023 e 2024).

2.5 Análises estatísticas

Uma análise de variância univariada, para o delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial, foi feita para avaliar as características de cada cultura em cada período de cultivo, bem como nos índices IPS e REM. Realizou-se análise conjunta entre os períodos de cultivo, devido à homogeneidade das variâncias (quociente do quadrado médio residual < 7), foi calculada uma média entre elas para cada tratamento (Pimentel-Gomes, 2023). Em seguida, uma análise multivariada de variância foi feita para as produtividades das hortaliças em função dos fatores-tratamento, utilizando-se o critério de Wilks para testar cada fator, para obtenção da função da variável canônica Z. Após a obtenção dos escores de Z, estes foram submetidos à análise univariada de variância. O teste F foi utilizado para comparar os valores médios entre os sistemas de cultivo na análise de cada cultura. Todos os dados foram analisados utilizando o *software* SAS versão 9.0 (SAS, 2015).

Um procedimento de ajustamento de curva de regressão por superfície resposta foi feito através do *software* Table Curve 3D versão 4.0 (Systat Software, 2021), para estimar o comportamento de cada variável em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Os modelos ajustados foram selecionados com base nos seguintes critérios: lógica biológica da variável, ou seja, quando se constata que após determinada quantidade máxima de fertilizante não há aumento da variável; na significância do quadrado médio do resíduo da regressão; no alto valor do coeficiente de determinação; e na significância dos parâmetros da equação de regressão (Ferreira et al., 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desempenho da cultura da beterraba

Interações significativas foram observadas entre as quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas (Q x D) nas variáveis: altura de plantas, número de folhas por planta e massa seca de raízes. Na massa seca da parte aérea, não houve interação significativa entre os fatores, apenas efeitos isolados da biomassa dos adubos verdes (Q) e da densidade populacional (D), demonstrando efeitos independentes destes fatores sobre esta variável (Tabela 3).

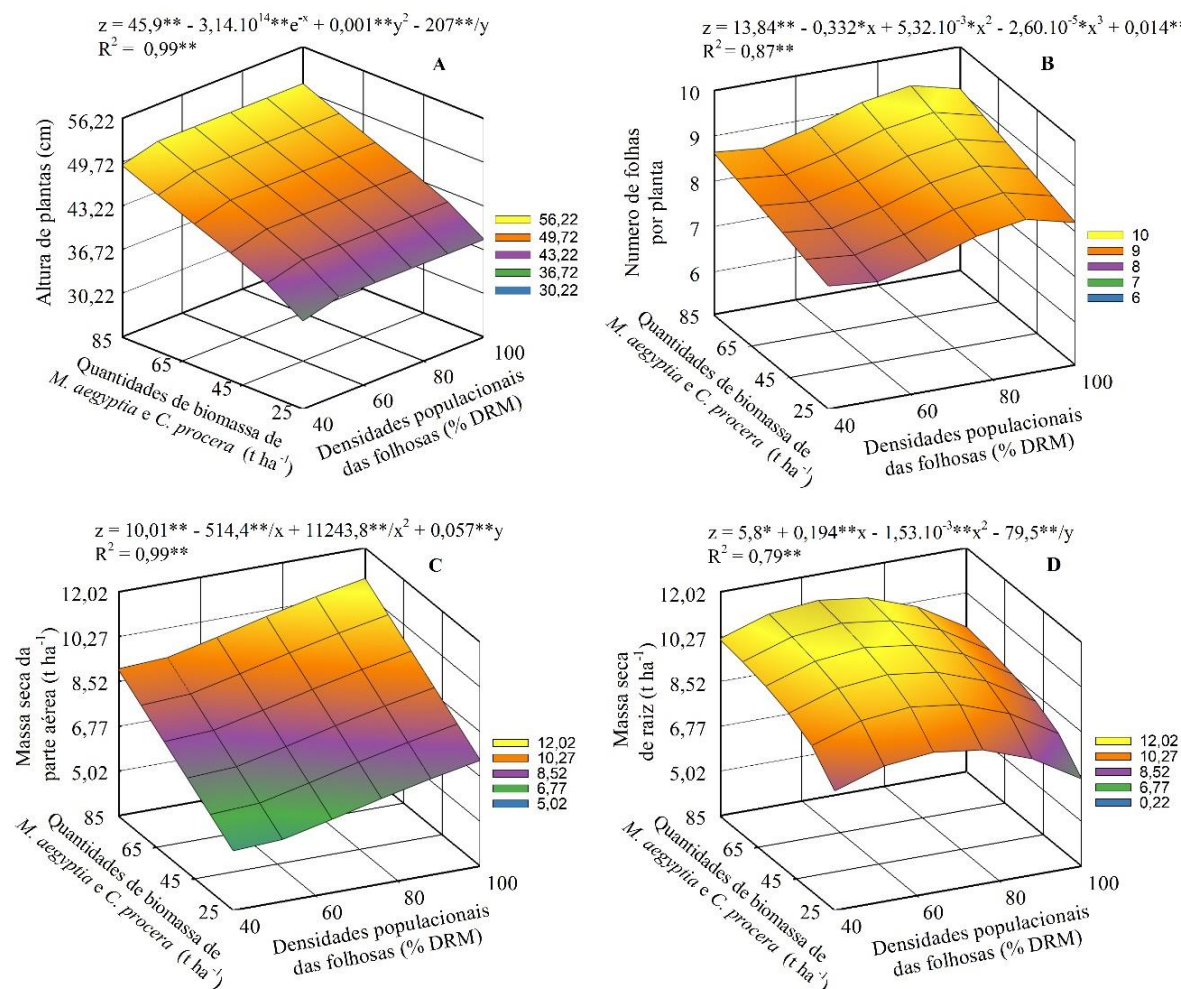
Tabela 3 – Valores de F e valores médios para altura da planta (AP), número de folhas por planta (NF), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR) de beterraba consorciada com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Fonte de variação	GL	AP	NF	MSPA	MSR
Blocos	3	0,57 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,50 ^{ns}	2,26 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	1784,98 ^{**}	126,40 ^{**}	88,86 ^{**}	21,31 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	32,72 ^{**}	70,99 ^{**}	26,89 ^{**}	15,56 ^{**}
Q x D	9	4,94 ^{**}	4,58 ^{**}	0,36 ^{ns}	2,50 [*]
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	56,05 ^{**}	20,41 ^{**}	2,66 ^{ns}	2,11 ^{ns}
Superfície resposta					
Regressão		294,01 ^{**}	18,91 ^{**}	326,935 ^{**}	14,66 ^{**}
Erro		0,3911	0,0358	0,03445	0,4878
Sistemas de cultivo					
Consorciado		44,48a [†]	8,48b	8,15a	9,33a
Monocultivo		42,52b	8,82a	8,67a	8,64a
CV (%)		1,14	1,73	7,62	9,92

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$; ns = $p > 0,05$. † Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Uma superfície de resposta foi ajustada para todas as variáveis avaliadas na beterraba em função dos fatores-tratamento testados ($p < 0,01$; $R^2 > 0,79$). Os valores de máxima eficiência física (MEF) para altura de planta (50,69 cm), número de folhas (9,29) e massa seca de raízes (11,01 t ha⁻¹) foram obtidos usando combinações de quantidades equitativas de biomassa dos adubos verdes de 85 t ha⁻¹ de 100%, 88,04% e 63,18% da densidade populacional recomendada para o monocultivo (DRM) das folhosas, respectivamente (Figura 6A-D).

Figura 6 – Altura de plantas (A), número de folhas por planta (B), massa seca da parte aérea (C), massa seca de raízes (D) de beterraba consorciada com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

O comportamento observado para altura de plantas da beterraba, números de folhas e massa seca da parte aérea, pode ser justificado pela competição existente entre as plantas componentes (Figura 6A-C). Em condições de altas densidades, a competição por recursos, especialmente por luz, induz o crescimento de plantas como respostas morfológicas adaptativas para maior interceptação de radiação solar (First et al., 2025), resultando em maior altura de plantas. Por outro lado, o número de folhas por planta reduziu na menor densidade populacional das folhosas com menor quantidade dos adubos verdes, possivelmente devido ao menor número de plantas na área e à limitação de nutrientes essenciais ao crescimento vegetativo, direcionando os recursos disponíveis para o crescimento em altura e restringindo a ramificação foliar (Huang et al., 2021).

O incremento no crescimento em função da maior densidade de plantas influenciou diretamente a massa seca da parte aérea, indicando que, nas condições experimentais, a luz não constituiu fator limitante à produção de fotoassimilados (Guo et al., 2025). Em densidades mais elevadas, a maior cobertura do solo pelas folhosas pode ter favorecido a manutenção da umidade nas camadas superficiais, reduzindo a evaporação da água e a incidência direta da radiação solar sobre o solo. Essa condição tende a promover melhor status hídrico das plantas, possibilitando maior tempo de abertura estomática e manutenção da taxa fotossintética (Whippo; Saliendra; Liebig, 2024; Yan; Arthur, 2025).

No entanto, a redução da massa seca da raiz tuberosa da beterraba sob maior densidade pode estar associada à intensificação da competição interespecífica por recursos edáficos, especialmente água e nutrientes, o que pode ter limitado o direcionamento de fotoassimilados para o órgão de reserva. Além disso, os efeitos das quantidades dos adubos verdes aplicadas podem estar relacionados não apenas ao fornecimento de nutrientes via mineralização, mas também a alterações nas propriedades físicas do solo, como maior retenção de água e melhoria da porosidade, fatores que influenciam diretamente o crescimento radicular e o balanço fonte-dreno (Shao et al., 2024; Liu et al., 2025).

Foi observada diferença significativa entre os sistemas de cultivo (M vs C) (Tabela 3). O monocultivo da beterraba resultou em maior número de folhas (8,82), possivelmente pela ausência de competição interespecífica. Em ambientes competitivos, a planta ajusta seu crescimento, reduzindo a emissão de novas folhas para preservar energia e alocar recursos, priorizando a manutenção das estruturas já formadas (Bo-Moon; Yamauchi, 2025). As beterrabas consorciadas tiveram maior altura (44,48 cm), provavelmente em razão da competição por luz ou variação do microclima proporcionado pelas folhosas (Tabela 3). Espécies consorciadas com padrões distintos de crescimento competem por luz devido à sobreposição de copas (Pelech et al., 2023).

As quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e as densidades populacionais das folhosas (Q x D) tiveram interação significativa na produtividade de raízes graúdas, extra AA, extra A, extra, comercial e total de raízes tuberosa (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de F e valores médios para raízes graúdas, extra AA, extra A, extra, produtividade comercial (PC) e total (PT) de beterraba consorciada com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

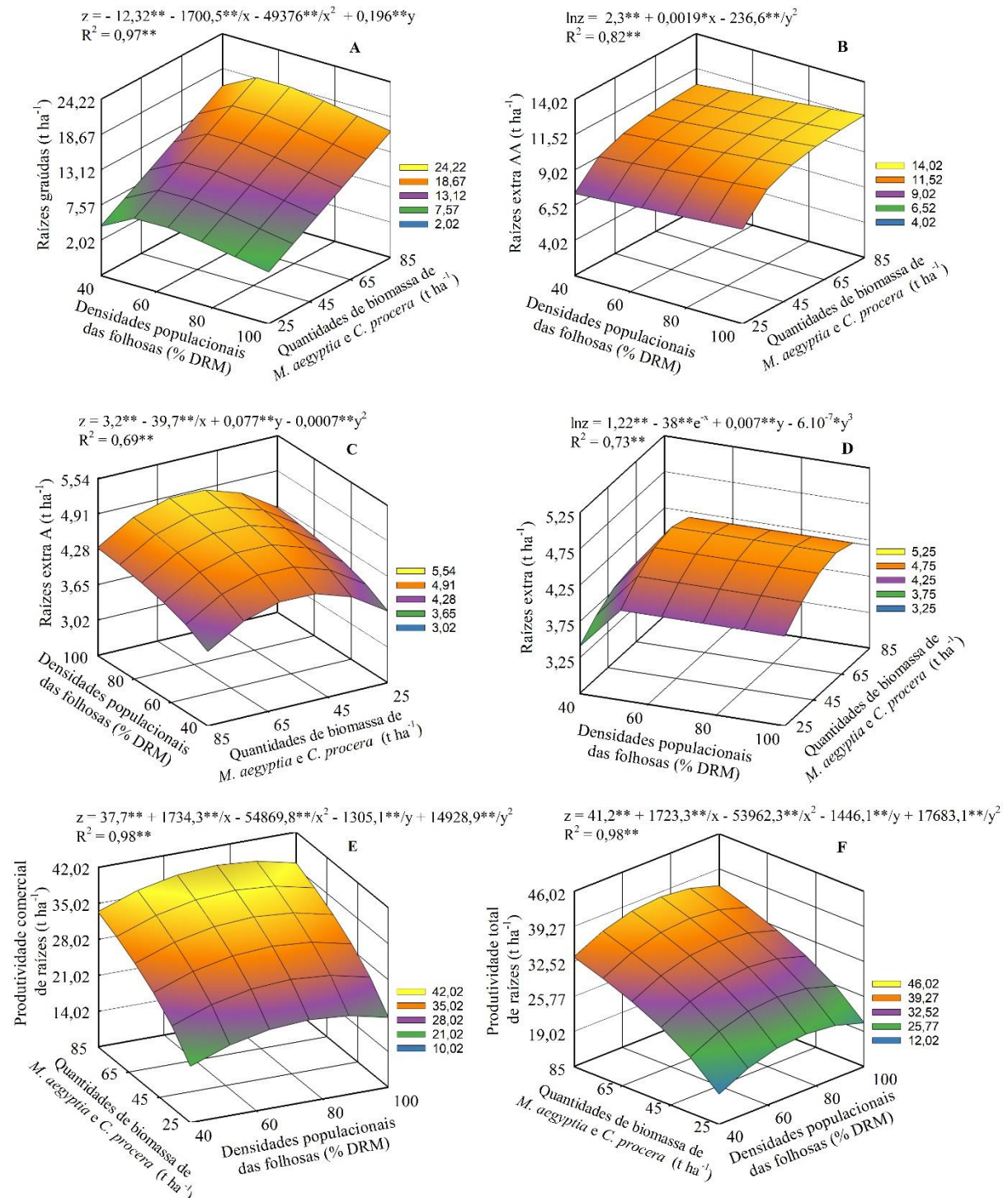
Fonte de variação	GL	Graúdas	Extra AA	Extra A	Extra	PC	PT
Blocos	3	0,87 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,93 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	2420,22 ^{**}	435,02 ^{**}	65,86 ^{**}	27,82 ^{**}	1963,45 ^{**}	717,54 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	179,45 ^{**}	64,43 ^{**}	46,78 ^{**}	57,87 ^{**}	192,13 ^{**}	63,34 ^{**}
Q x D	9	20,07 ^{**}	27,75 ^{**}	14,81 ^{**}	6,21 ^{**}	14,87 ^{**}	4,52 ^{**}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	269,64 ^{**}	288,71 ^{**}	235,58 ^{**}	0,32 ^{ns}	413,04 ^{**}	286,00 ^{**}
Superfície resposta							
Regressão		154,82 ^{**}	28,85 ^{**}	9,09 ^{**}	10,72 ^{**}	148,14 ^{**}	131,312 ^{**}
Erro		0,7074	0,5241	0,0747	0,05149	0,9420	10,772
Sistemas de cultivo							
Consorciado		11,41b [†]	9,85b	4,32b	4,09 ^a	29,68b	31,82b
Monocultivo		15,98a	12,68a	6,18a	4,19 ^a	39,02a	43,23a
CV (%)		4,62	3,22	5,31	7,96	2,95	4,03

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$; ns = $p > 0,05$. †Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

As características produtivas da beterraba, se ajustaram a um modelo de superfície de resposta em função dos fatores estudados ($p < 0,01$; $R^2 > 0,69$). Os valores de máxima eficiência física obtidos para a produtividade de raízes graúdas, extra AA, extra A e extra foram de 18,98; 11,67; 4,92 e 4,53 t ha⁻¹, respectivamente, alcançados nas combinações de 85 e 58,07; 85 e 100; 55,59 e 100; 60,94 t ha⁻¹ dos adubos verdes e 100 % da densidade populacional recomendada para o monocultivo das folhosas. As produtividades comercial e total de raízes tuberosa de beterraba tiveram MEFs de 38,12 e 40,39 t ha⁻¹ respectivamente, obtidas ao combinar 85 t ha⁻¹ dos adubos verdes e 63,28 e 62,63% da DRM das folhosas, respectivamente (Figura 7A-F).

A maior densidade populacional das folhosas testada afetou o acúmulo da biomassa radicular da beterraba, reduziu o tamanho individual das raízes, resultando em produção de raízes não comerciais, refletindo nas produtividades comercial e total de raízes (Figura 7A-F). Comportamento semelhante foi relatado por Azevedo et al. (2025), avaliando o consórcio de beterraba e feijão-caupi, sob adubação verde com *M. aegyptia* e *C. procera*. Esses efeitos podem ser atribuídos ao fato de que, sob condições de competição por luz, as plantas tendem a reduzir a alocação de fotoassimilados para as raízes, redirecionando para as estruturas aéreas (Wu et al., 2025), indicando que houve maior competição por luz do que por água ou nutrientes (Zhang et al., 2020; Golan et al., 2024).

Figura 7 – Produtividade de raízes graúdas (A), extra AA (B), extra A (C), extra (D), comercial (E) e total (F) de beterraba consorciada com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

A maior quantidade de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (85 t ha⁻¹), mesmo sob densidade elevada das folhosas, estimulou e assegurou o crescimento vegetativo da cultura da

beterraba, possivelmente em função do maior fornecimento de nutrientes disponibilizados pela decomposição da biomassa dos adubos verdes (Figura 7A-F), conforme observado por Favacho et al. (2017). Esses resultados indicam que a liberação gradativa dos nutrientes, principalmente N, P e K (Freitas et al., 2023), pode ter atenuado os efeitos competitivos da densidade populacional, tendo em vista que a disponibilização de nutrientes modula os processos de balanço hormonal e crescimento vegetativo (Jia; Giehl; von Wirén, 2022), assegurando o crescimento em condições ideais. Além disso, é plausível que melhorias nas condições físicas do solo também tenham contribuído para esse desempenho. A incorporação de elevada biomassa pode ter promovido maior retenção hídrica, melhor agregação e modulação da aeração do solo (Chen et al., 2026).

O tipo de sistema de cultivo (M vs C) teve influência significativa sobre todas as características produtivas das raízes tuberosa de beterraba, exceto a produtividade de raízes extras (Tabela 4). A redução na produtividade de raízes tuberosa no consórcio pode ser atribuída à competição entre as espécies, mesmo com escalonamento temporal (coentro seguido de alface). A resposta das culturas consorciadas à densidade pode divergir daquelas em monocultivo, em função das variações na arquitetura do dossel e da dinâmica entre a produção e a demanda por fotoassimilados e pelos diferentes espaçamentos utilizados entre plantas (Zhang et al., 2020). Apesar disso, observou-se que os valores das MEFs obtidos no consórcio são próximos aos valores obtidos no monocultivo (Figura 7A-F). Além disso, é importante considerar que a média geral do sistema consorciado reflete a variabilidade entre os tratamentos ideais e menos favoráveis, diferentemente do monocultivo.

3.2 Desempenho da cultura do coentro

Interações significativas entre os fatores-tratamento (Q x D) foram registradas para a altura de plantas, número de hastes por planta, número de molhos por m² e rendimento de massa verde. A relação folha/haste e massa seca da parte aérea não tiveram interações significativas (Tabela 5). As interações observadas sugerem que o efeito dessas variáveis não é isolado e depende da combinação dos fatores estabelecidos, reforçando a necessidade de ajustes específicos para cada sistema consorciado.

Tabela 5 – Valores de F e valores médios para altura de plantas (AP), número de hastes por planta (NHP), relação folha/haste (RFH), número de molhos por m² (NM), massa seca da parte aérea (MSPA) e rendimento de massa verde (RMV) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

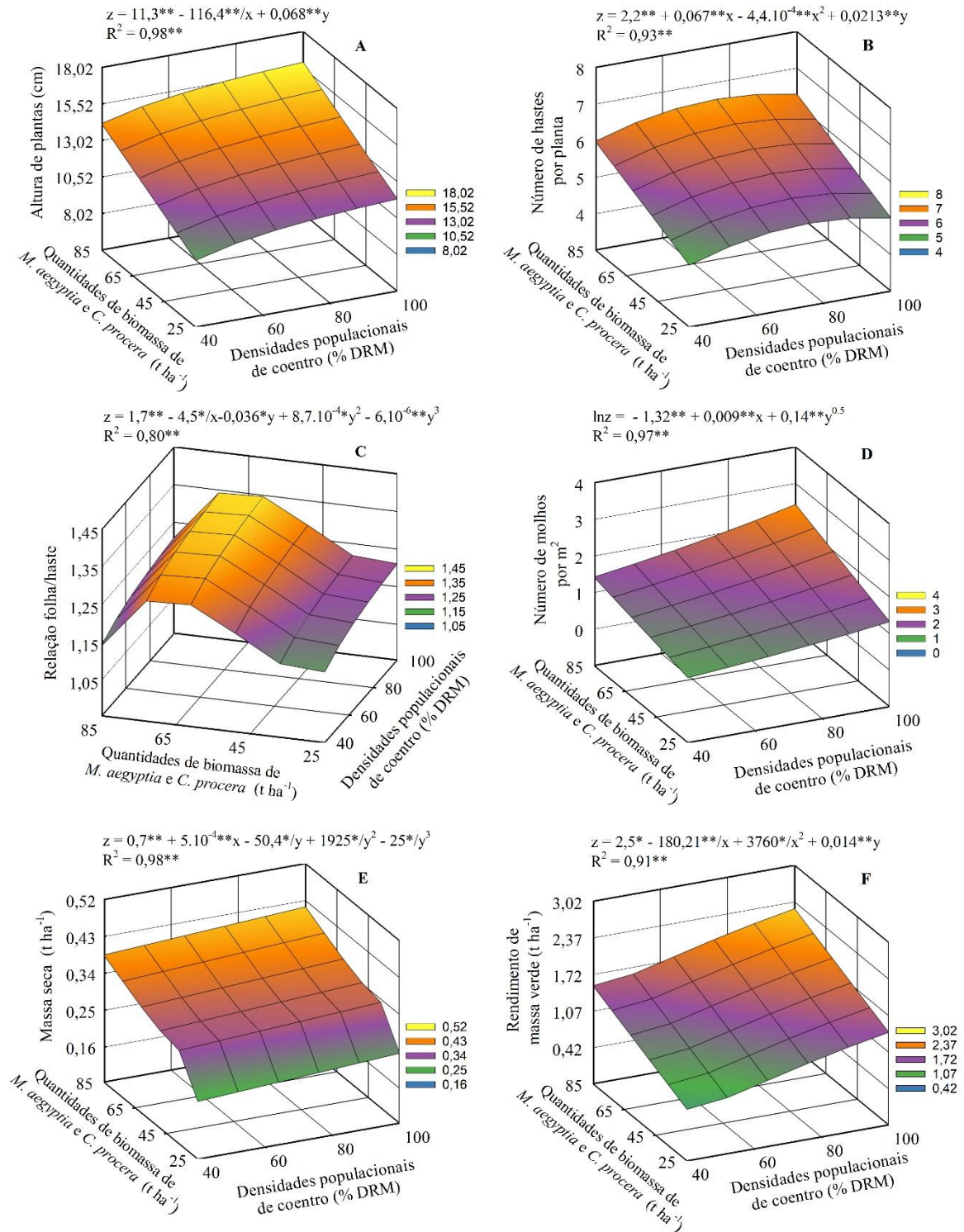
Fonte de variação	GL	AP	NHP	RFH	NM	MSPA	RMV
Blocos	3	0,88 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	3064,09**	157,49**	20,40**	183,16**	391,68**	183,16**
Densidades populacionais de coentro (D)	3	581,91**	29,60**	6,06**	148,17**	13,22**	148,17**
Q x D	9	15,57**	3,13**	1,28 ^{ns}	10,04**	1,94 ^{ns}	10,04**
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	76,90**	32,86**	1,74 ^{ns}	1055,39**	99,31**	1055,39**
Superfície resposta							
Regressão		256,53**	50,94**	11,02**	181,137**	164,58**	41,41**
Erro		0,0860	0,0283	0,0015	0,0081	0,00097	0,0221
Sistemas de cultivo							
Consortiado		13,18b [†]	5,67b	1,23a	1,46b	0,32b	1,46b
Monocultivo		13,75a	6,19a	1,27a	3,22a	0,40a	3,22a
CV (%)		0,96	3,06	4,78	6,71	4,47	6,71

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p < 0,05$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Uma superfície de resposta foi ajustada ($p < 0,01$; $R^2 > 0,80$) para todas as variáveis avaliadas no coentro em função de quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Os valores de MEF de 15,92 cm para altura de plantas, 6,6 hastes por planta, 1,34 para a relação folha/haste, foram obtidos ao associar 85 e 100; 85 e 75,82; 66,78 t ha⁻¹ dos adubos verdes e 100% da DRM de coentro. Por sua vez, os maiores valores de MEF para o número de molhos (2,4 molhos m²), massa seca da parte aérea (0,42 t ha⁻¹) e rendimento de massa verde (2,26 t ha⁻¹) foram alcançados na combinação de 85 t ha⁻¹ de biomassa dos adubos verdes com 100% da DRM (Figura 8A-F).

A maioria das respostas agrônômicas foram mais eficientes na combinação mais alta dos fatores testados, 85 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e 100% da DRM, com o coentro alcançando elevado potencial produtivo, sem ser prejudicado por competição excessiva ou limitações de nutrientes (Figura 8A-F). Esses resultados corroboram os encontrados por Silva et al. (2025), que observaram máxima produtividade de coentro consorciado com rabanete, incorporando ao solo 65 t ha⁻¹ de biomassa dos adubos verdes (maior quantidade testada na pesquisa) e 100% da DRM.

Figura 8 – Altura de plantas (A), número de hastes por planta (B), relação folha/haste (C), número de molhos por m² (D), massa seca da parte aérea (E) e rendimento de massa verde (F) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

O comportamento observado na altura de plantas de coentro, aumentando com as crescentes quantidades dos adubos verdes e densidades populacionais (Figura 8A), pode ser atribuído ao maior fornecimento de nutrientes pelos adubos verdes, especialmente o nitrogênio, favorecendo o crescimento em altura (Izgi, 2020; Silva et al., 2020). Além disso, densidades mais altas podem promover competição por luz, estimulando o alongamento caular, influenciando diretamente os processos de divisão, expansão foliar e morfologia da planta (Bueno et al., 2024) e, conseqüentemente, condicionando a maior altura e menor número de hastes por planta, conforme constatado nesta pesquisa (Figura 8A-B). Apesar do estímulo ao crescimento em altura, a resposta observada na relação folha/haste indica que o crescimento vertical não ocorreu às custas da redução da fração foliar, mas sim como parte de um ajuste plástico coordenado. Em condições de adequada disponibilidade hídrica e nutricional, plantas podem aumentar a altura para otimizar interceptação luminosa sem comprometer a expansão foliar, mantendo o balanço entre estruturas de suporte e tecidos fotossintetizantes (Wang et al., 2024) (Figura 8C).

O número de molhos por m², a massa seca da parte aérea e o rendimento de massa verde tiveram comportamento semelhante, com incremento progressivo à medida que houve aumento das quantidades dos adubos verdes e da densidade populacional, possivelmente por compensações fisiológicas no crescimento entre plantas (Figura 8D-F). Esses resultados indicam que mesmo em densidades elevadas houve facilitação abiótica no sistema, em que o microclima mais úmido e menos exposto à radiação solar dentro do dossel pode ter contribuído para maior acúmulo de biomassa (Wright; Francia, 2024).

De forma complementar, observou-se que maiores quantidades dos adubos podem ter suprido de maneira mais equilibrada as demandas nutricionais da folhosa, além dos benefícios nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, pelo aumento de matéria orgânica ao incorporar biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (Silva et al., 2020; Ferreira et al., 2022). Isso resultou em maior emissão de folhas e vigor das plantas, proporcionando maior rendimento de massa verde. O equilíbrio na disponibilização de nutrientes contribui para a permanência de um maior número de plantas por área, sem comprometer o desenvolvimento individual (Yan et al., 2023), reforçando o entendimento de que a produção de biomassa das folhosas em sistema consorciado depende não apenas da densidade de plantas, mas também da qualidade do ambiente edáfico, especialmente quanto ao fornecimento equilibrado de nutrientes essenciais para o crescimento vegetal.

Observaram-se diferenças significativas entre os sistemas de cultivo estudados (M vs C), sendo o monocultivo superior ao consórcio em todas as características agrônômicas

avaliadas no coentro, exceto para a relação folha/haste, na qual não houve diferença significativa entre os sistemas (Tabela 5). A redução da produtividade e do crescimento do coentro no sistema consorciado, em comparação ao monocultivo, pode ser explicada principalmente pela competição por recursos essenciais, especialmente por luz e nutrientes. Em sistemas consorciados, a maior sobreposição do sistema radicular das espécies pode reduzir a disponibilidade imediata de nutrientes para o coentro (Vandermeer, 1989), sobretudo daqueles de rápida absorção, como N e K, limitando o crescimento vegetativo e o acúmulo de biomassa. No sistema consorciado a cultura da beterraba, exigente em recursos principalmente nos estágios de desenvolvimento e enchimento da raiz tuberosa, tende a monopolizar esses recursos, resultando na redução da produtividade e do crescimento da folhosa. Competição ainda mais evidente em baixas densidades populacionais, onde o número de plantas é insuficiente para maximização do uso do espaço e dos recursos disponíveis (Chaves et al., 2022).

No entanto, embora possam ocorrer *trade-offs*, eles podem ser compensados pelos benefícios agroecológicos e econômicos do consórcio, como diversificação da produção, melhoria da fertilidade do solo, melhor aproveitamento de insumos e o controle de plantas daninhas (Jiang et al., 2024). Além disso, destaca-se que as MEFs obtidas no consórcio para altura de plantas, número de haste, relação folha/haste e massa seca, foram superiores ao monocultivo (Figuras 8A, B, C e E).

3.3 Desempenho da cultura da alface

Os resultados das análises de variância e regressão das características agronômicas da alface para altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NFP), diâmetro transversal da planta (DP), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de folhas (PF), estão apresentados na Tabela 6. Interações significativas foram observadas entre os fatores-tratamento, quantidades dos adubos verdes e densidades populacionais da alface (Q x D) para a altura de plantas, número de folhas por planta, diâmetro de planta, massa seca da parte aérea e produtividade de folhas.

Uma superfície de resposta foi ajustada ($p < 0,01$; $R^2 > 0,80$) para todas as características avaliadas na alface, em função dos fatores-tratamento. A máxima eficiência física alcançada foi de 16,54 cm para a altura de plantas, 22 folhas por planta, 21,87 cm para o diâmetro transversal da planta, 1,32 t ha⁻¹ para a massa seca da parte aérea e 11,51 t ha⁻¹ para a produtividade de folhas. Essas MEFs foram alcançadas com a aplicação de 85 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia*

e *C. procera* combinada com 100% da DRM de alface, exceto para a massa seca da parte aérea, cuja MEF foi obtida com 54,15% da DRM (Figura 9A-E).

Tabela 6 – Valores de F e valores médios para altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NFP), diâmetro transversal da planta (DP), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de folhas (PF) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Sources of variation	GL	AP	NFP	DP	MSPA	PF
Blocos	3	0,45 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,18 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	5147,75**	621,24**	4170,65**	114,53**	1470,38**
Densidades populacionais de alface (D)	3	1307,01**	128,66**	93,37**	35,32**	547,40**
Q x D	9	78,19**	4,69**	70,54**	6,33**	44,09**
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	5916,63**	1569,57**	1003,72**	84,87**	3896,07**
Superfície resposta						
Regressão		94,90**	216,95**	127,64**	18,68**	96,80**
Erro		0,4122	0,1844	0,4384	0,0124	0,5487
Sistemas de cultivo						
Consorciado		11,56b [†]	18,31b	18,19b	0,98b	6,67b
Monocultivo		17,72a	25,98a	21,49 ^a	1,36a	15,40a
CV (%)		1,30	2,00	1,10	7,91	3,77

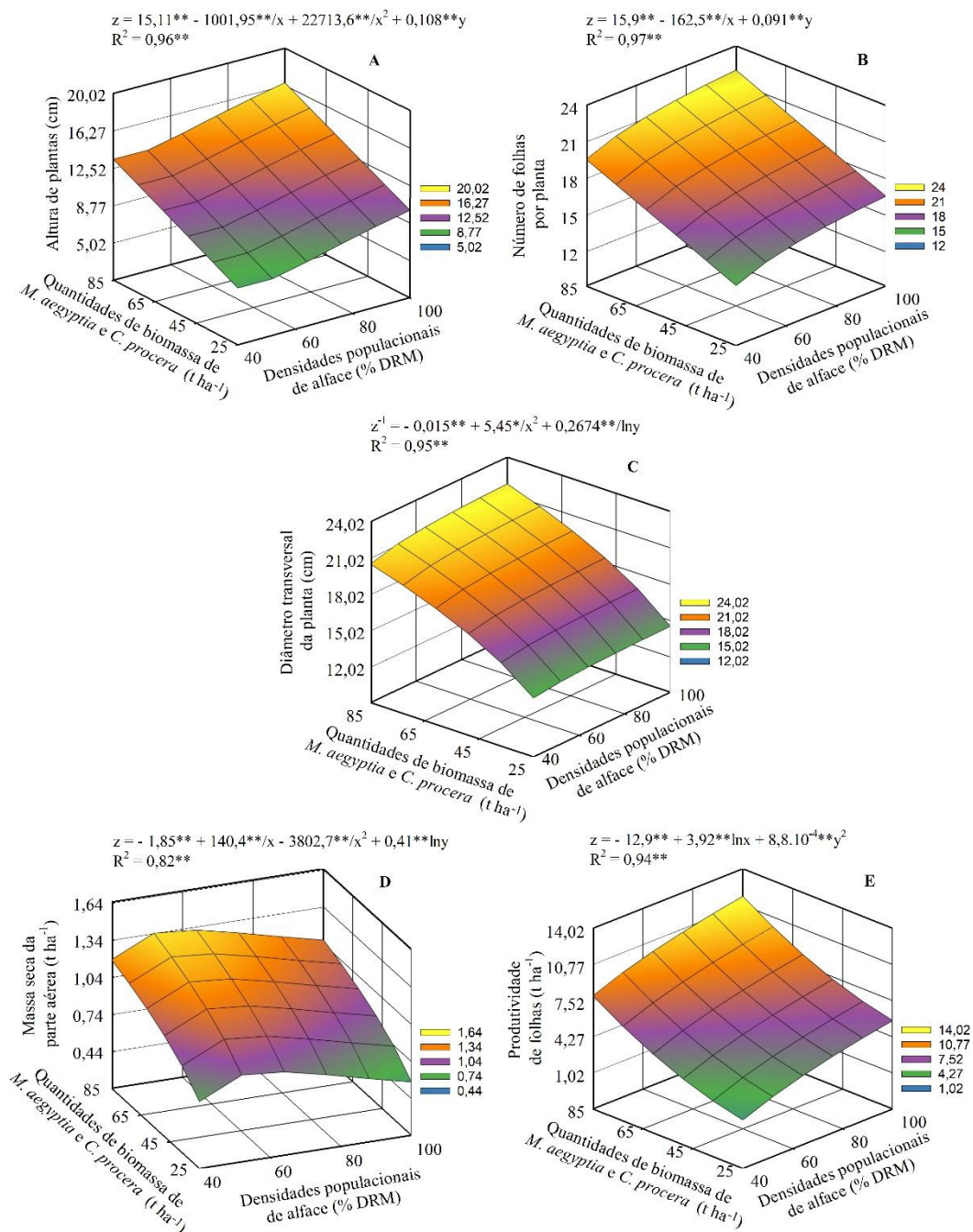
Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

O comportamento observado nas variáveis relacionadas ao crescimento vegetativo (altura, número de folhas e diâmetro de plantas, Figura 9A-C) pode estar associado à maior competição por luz em densidades mais elevadas e em resposta ao sombreamento pelas folhas da beterraba, estimulando o alongamento e a emissão foliar (Carotti et al., 2024). Adicionalmente, a resposta observada para o diâmetro de plantas sugere que, apesar da limitação de área disponível por planta pela alta densidade, a dinâmica adaptativa da alface permitiu melhor captação dos recursos (água, luz e nutrientes), não restringindo o seu crescimento. A expansão da área foliar amplia a superfície disponível para interceptação da luminosidade, fator essencial para a competitividade e melhor desempenho das plantas, especialmente em condições de sombreamento (Kusuma; Bugbee, 2023).

A resposta observada para a massa seca da parte aérea (Figura 9D) demonstra que, em densidades acima de 54% da DRM, a competição intraespecífica pode limitar a eficiência metabólica das plantas, prejudicando a alocação de matéria seca entre os órgãos (Wang et al., 2021). Em contraste, maior produtividade de folhas foi observada em altas densidades (Figura

9E), provavelmente em função do maior acúmulo de água nos tecidos, favorecido pelas características estruturais do dossel, que promovem um microclima mais úmido e sombreado (Beugnon et al., 2024), resultando em folhas tenras e, conseqüentemente, em maior rendimento comercial.

Figura 9 – Altura de plantas (A), número de folhas por planta (B), diâmetro transversal da planta (C), massa seca da parte aérea (D) e produtividade de folhas (E) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

A diferença entre essas variáveis em função das diferentes densidades pode ser atribuída aos mecanismos fisiológicos de acúmulo de fotoassimilados, visto que a massa seca resulta do acúmulo de compostos orgânicos, influenciados pela eficiência fotossintética e pela exploração de recursos, enquanto a produtividade de folhas, mensurada em peso fresco, também é regulada pelo teor de água presente nos tecidos vegetais (Levinsh, 2023; Taiz et al., 2024). Além disso, a decomposição dos adubos verdes pode ter contribuído para a formação de substâncias húmicas, favorecendo a absorção e o acúmulo de água nos tecidos, o que explica o aumento da massa fresca sem variações expressivas na matéria seca.

A maior quantidade dos adubos verdes (85 t ha⁻¹) permitiu que a alface, cultivada em sucessão, aproveitasse os nutrientes dos resíduos do material vegetal não decomposto e/ou não utilizados pela cultura do coentro, mitigando os efeitos da competição (Figura 9A-E). A fertilidade do solo regula o crescimento e acúmulo de nutrientes nas plantas, moldando comunidades vegetais, enquanto as espécies alteram a ciclagem de energia e nutrientes (Zhang et al., 2023). A incorporação de matéria orgânica através dos adubos verdes regula o armazenamento de água, intensifica a atividade microbiana, promovendo mineralização da biomassa, ciclagem e liberação de macronutrientes (N, P e K) essenciais para o desenvolvimento das plantas (Tamburini et al., 2020; Ferreira et al., 2025). Essa dinâmica, possivelmente melhorou as condições das propriedades físico-químicas do solo, favorecendo o desempenho vegetativo da alface, mesmo sob altas densidades. O incremento produtivo na cultura da alface, proporcionado pelas maiores quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, também foi observado por Guerra et al. (2021) no cultivo consorciado de beterraba e alface.

Diferenças significativas entre os sistemas de cultivo (M vs C) foram observadas em todas as características agrônômicas da alface, com o monocultivo se sobressaindo ao sistema consorciado (Tabela 6). Os resultados observados podem ser justificados pela competição existente entre as culturas consorciadas que, conseqüentemente, reduziu o desempenho individual da alface. Esse comportamento é consistente com o conceito de partição assimétrica de recursos em sistemas consorciados (Vandermeer, 1989), onde a cultura de maior porte ou vigor competitivo (beterraba) pode limitar o acesso da cultura secundária à luz, água ou nutrientes, especialmente em densidades mais elevadas. Ao contrário das monoculturas, a estratégia de um sistema de produção mais diversificado, depende da associação espacial e dos benefícios das interações biológicas entre as culturas, exigindo, portanto, gestão do equilíbrio entre o risco e o rendimento (Paut; Sabatier; Tchamitchian, 2020). Deve-se considerar que a alface foi cultivada em sucessão ao coentro, sem adição dos adubos entre os cultivos, o que

possivelmente aumentou a competição intra e interespecífica por recursos no sistema consorciado. Ainda assim, os valores das MEFs obtidos no consórcio foram próximos aos dos monocultivos (Figura 9A-E).

3.4 Indicadores agromonetários do sistema

Os resultados das análises multivariadas de variância dos vetores de produtividade do sistema consorciado tiveram interações significativas entre os fatores-tratamento, quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) e densidades populacionais das folhosas (D), pelo critério de Wilks (Tabela 7).

Tabela 7 – Análise de variância multivariada da produtividade de massa verde de coentro e das produtividades de raízes comerciais de beterraba e folhas de alface, valores F para a variável canônica (Z), índice de produtividade do sistema (IPS) e razão de equivalência monetária (REM) do consórcio de beterraba com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Fonte de variação	GL para F	λ (Wilks)	F	Prob > F
Blocos	(9;104,8)	0,8242	0,96	0,4751
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	(9;104,8)	0,0007	224,92	<,0001
Densidades populacionais das folhosas (D)	(9;104,8)	0,0020	136,76	<,0001
Q x D	(27;126,22)	0,0174	14,05	<,0001
Alto valor	% Variância	Variável canônica (Z)		
345,88	93,23	$Z = 0,4101 Y_c + 0,1928 Y_b + 0,4158 Y_a$		
	GL	Z	IPS	REM
Blocos	3	2,24 ^{ns}	2,26 ^{ns}	2,20 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	4329,75 ^{**}	4310,82 ^{**}	3838,16 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	801,58 ^{**}	790,19 ^{**}	839,32 ^{**}
Q x D	9	30,07 ^{**}	29,35 ^{**}	36,75 ^{**}
Superfície resposta				
Regressão		196,21 ^{**}	191,45 ^{**}	148,80 ^{**}
Erro		0,1440	4,2231	0,0038
CV (%)		1,63	1,63	1,79

Fonte Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$.

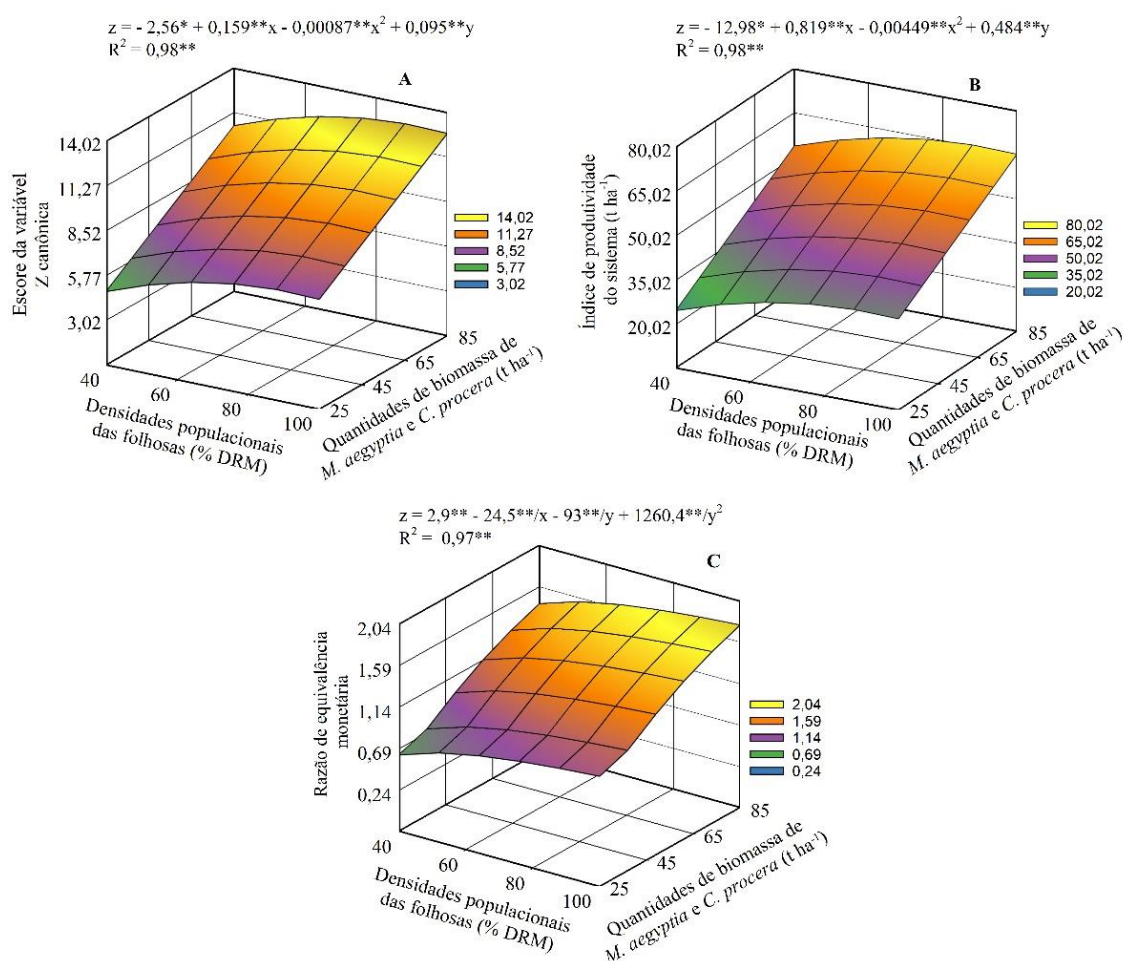
O valor baixo de Wilks' lambda (próximo de zero) para todos os fatores observados na análise multivariada indica que quase toda a variância total é explicada pelo modelo, reforçando a robustez da análise. A função discriminante ou variável canônica Z foi obtida a partir da análise multivariada dos vetores de rendimento de massa verde de coentro (Y_c), da produtividade de raízes comerciais de beterraba (Y_b) e da produtividade de folhas de alface (Y_a), cuja função foi $Z = 0,4101 Y_c + 0,1928 Y_b + 0,4158 Y_a$ (Tabela 7).

Os resultados da função da variável canônica (Z) explicam 93,23% da variância multivariada (autovalor = 345,88) entre os tratamentos avaliados (Tabela 7). Isso confirma a efetividade da análise em sintetizar a variabilidade entre os tratamentos, sinalizando a importância da escolha das espécies consorciadas e a quantidade dos adubos verdes e a densidade de plantas utilizadas. Os maiores coeficientes atribuídos às folhosas revelam maior contribuição dessas culturas para a variabilidade conjunta observada, principalmente da alface (Y_a). Esses resultados confirmam que os efeitos dos fatores-tratamento avaliados no sistema consorciado sobre o desempenho das culturas não foram homogêneos, possivelmente pela sensibilidade das culturas folhosas, seja pela dinâmica da disponibilização dos nutrientes, seja por alterações do microclima dentro do dossel.

Os resultados das análises de variância e regressão das características agromonetárias do sistema de cultivo consorciado tiveram interações significativas entre as quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e as densidades populacionais das folhosas ($Q \times D$) na variável canônica Z , no índice de produtividade do sistema (IPS) e na razão de equivalência monetária (REM) (Tabela 7). Uma superfície de resposta foi ajustada para cada indicador agromonetário ($p < 0,05$; $R^2 > 0,97$), obtendo-se máxima eficiência de 12,72 para o escore da variável Z canônica, 65,16 para o IPS e 1,74 para o REM, na combinação de quantidades equitativas de biomassa dos adubos verdes de 85 t ha⁻¹ e 100 % da DRM das folhosas, em todos os índices (Figura 10A-C).

O aumento expressivo de Z com o acréscimo das quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e das densidades populacionais das folhosas (Figura 10A) confirma que os fatores estudados são interdependentes e influenciam conjuntamente o desempenho do sistema consorciado, com maior eficiência com altos valores da combinação dos tratamentos (85 t ha⁻¹ e 100% da DRM). O incremento do IPS e do REM em função do aumento dos fatores estudados (Figura 10B-C) indica que o estabelecimento do consórcio potencializou o uso eficiente dos recursos, resultando em maior eficiência monetária. A adoção de sistemas consorciados depende da comprovação de vantagens agroecômicas consistentes em relação às monoculturas (Khanal et al., 2021).

Figura 10 – Escore da variável canônica Z (A), índice de produtividade do sistema (B) e razão de equivalência monetária (C) do consórcio de beterraba com hortaliças folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

O valor obtido para o IPS indica a superioridade e a viabilidade do sistema consorciado em relação ao monocultivo (Sá et al., 2022), com maior eficiência produtiva e multivariada. Adicionalmente, o valor alcançado no REM superior a 1,0 sinaliza maior rentabilidade dos sistemas consorciados em comparação ao monocultivo, refletindo a eficiência das culturas componentes na exploração da área e dos recursos disponíveis (Azevedo et al., 2021).

Em estudos conduzidos sob condições semelhantes, no cultivo consorciado de beterraba e alface, Guerra et al. (2022) reportaram valor da variável canônica Z de 2,32 utilizando 65 t ha⁻¹ de biomassa dos adubos verdes associada a uma densidade populacional de 300 mil plantas de alface por hectare. Em estudo complementar, os autores observaram um IPS de 32,97 t ha⁻¹ e uma REM de 1,55, utilizando a mesma combinação da quantidade dos adubos verdes e densidades (Guerra et al., 2021). As diferenças evidenciadas com este trabalho podem ser

atribuídas à prática da sucessão diversificada e complementaridade das culturas componentes que, aliadas às maiores quantidades dos adubos verdes, favoreceram as interações agronômicas, contribuindo para maior eficiência do sistema.

A eficiência agromonetária obtida nesta pesquisa, traduz a complementariedade entre as culturas componentes do sistema e a capacidade adaptativa na exploração dos recursos ambientais. Essas respostas podem ser atribuídas à diversidade das plantas e às diferenças de arquitetura e padrões de enraizamento das culturas estabelecidas no consórcio (Zhu et al., 2024) e estão associadas ao aporte nutricional conferido pela incorporação ao solo da biomassa das espécies espontâneas da Caatinga, que promove melhoria das propriedades físicas e nutricionais do solo (Abranches et al., 2021). O equilíbrio entre a decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e o período da demanda nutricional das culturas é um fator determinante para a eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas (Silva et al., 2023; Ferreira et al., 2025). Nesse contexto, os resultados observados no presente estudo sugerem que o sistema pode ter proporcionado condições favoráveis à sincronização entre oferta e demanda nutricional, o que possivelmente contribuiu para mitigar os efeitos da competição intraespecífica. As vantagens observadas nesta pesquisa oferecem oportunidade atraente ao produtor, por combinar diversificação, eficiência e sustentabilidade agrícola (Li et al., 2023).

4 CONCLUSÕES

1. As maiores vantagens agromonetárias do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão foram alcançadas com 85 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e 100% da DRM das folhosas, gerando os maiores valores da variável canônica ($Z = 12,72$), alta eficiência produtiva ($IPS = 65,16$) e melhor retorno econômico ($REM = 1,74$);
2. Os resultados evidenciam que o uso de *M. aegyptia* e *C. procera* como adubos verdes constitui estratégia de cultivo eficiente e viável, capaz de integrar sustentabilidade, segurança alimentar, diversidade de cultivo e eficiência produtiva em condições semiáridas;
3. Os resultados foram interpretados considerando as condições específicas deste experimento. Portanto, recomenda-se validar esses achados em cultivos futuros e sob diferentes condições edafoclimáticas.

REFERÊNCIAS

- ABRANCHES, M. O. et al. 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, p. e7410716351, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16351>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/16351>.
- ADETILOYE, P. O.; ADEKUNLE, A. A. Concept of monetary equivalent ratio and its usefulness in the evaluation of intercropping advantages. **Tropical Agriculture**, v. 66, p. 337-341. 1989. Disponível em: <https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/1893>
- ANDRADE FILHO, F. C. et al. Agro-economic viability from two croppings of broadleaf vegetables intercropped with beet fertilized with roostertree in different population densities. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 52, n. 1, p. 210-224, 2020. Disponível em: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/2985>.
- AZEVEDO, I. B. S. et al. Agro-economic efficiency of immature cowpea–radish intercropping systems in semiarid environment. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. e01666, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01666>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/RfJHXh4qBPnhJywXwhpmhLk/?format=html&lang=en>.
- AZEVEDO, M. C. et al. Sustainability and agro-monetary return in beet-immature cowpea intercropping as a function of green manuring and population density. **SEMINA: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 2, p. 417-442, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n2p417>. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/50987>.
- BECK, H. E. et al. Data descriptor: present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1 km resolution. **Scientific Data**, v. 5, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>.
- BEUGNON, R. et al. Microclimate modulation: an overlooked mechanism influencing the impact of plant diversity on ecosystem functioning. **Global Change Biology**, v. 30, p. e17214, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.17214>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.17214>.
- BEZERRA NETO, F. et al. **Adubação verde em cultivos agroecológicos em ambiente semiárido**. Curitiba: Appris. 2024.
- BO-MOON, K.; YAMAUCHI, A. Adaptive dynamic resource allocation can cause tragedy of the commons in plants with nutrient competition. **Journal of Theoretical Biology**, p. 112279, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022519325002450>
- BUENO, P. M. C.; VENDRAME, W. A. Wavelength and light intensity affect macro and micronutrient uptake, stomata number, and plant morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plants**, v. 13, p. 441, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13030441>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/3/441>.

CAROTTI, L. et al. Far-red radiation management for lettuce growth: Physiological and morphological features leading to energy optimization in vertical farming. **Scientia Horticulturae**, v. 334, p. 113264, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423824004230>

CEASA. Centrais Estaduais de Abastecimento do Rio Grande do Norte. **Cotações de preços, 2023 e 2024**. Disponível em: <https://transparencia.ceasa.rn.gov.br/cotacoes>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHAVES, A. P. et al. Bio-agroeconomic returns in beet-cowpea intercropping by optimization of population densities and spatial arrangements. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 44, p. e55146, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.55146>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/F4jZCLmxZ7CJJ9zwTRpmMdQ/?format=html&lang=en>.

CHEN, Y. et al. Long-term green manure incorporation increases soil carbon sequestration and improves aggregate stability by changing organic carbon components. **Soil and Tillage Research**, v. 258, p. 107024, 2026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198725005781>

DEON, D. S. et al. **Sistemas integrados para o Semiárido**: contribuições da Embrapa para a disponibilização de sistemas com alto potencial de inovação. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos. 2021.

FAVACHO, F. S. et al. Productive and economic efficiency of carrot intercropped with cowpea vegetable resulting from green manure and different spatial arrangements. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 337-346, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170039>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/MBCWRLGNSDnYJTsgbhkkBWb/?lang=en>.

FERREIRA, R. C. et al. Biomass use of *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera* in coriander cultivation in semiarid environment. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 595-605, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252025v35n310rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/7MTMTPHgbhchnrVws9qbxvf/?format=html&lang=en>.

FERREIRA, R. C. et al. Optimizing *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera* biomass application rates in kale cultivation under semiarid conditions. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 47, p. 1-11, 2025. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v47i1.69665>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/jym3jNpnJbT6XYxxLQKk6cQ/?format=html&lang=en>.

FIRST, I. et al. Plant responses to light competition: Does evolutionary history matter?. **Functional Ecology**, v. 39, n. 7, p. 1826-1839, 2025. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2435.70066>

FREITAS, I. A. S. et al. Agronomic characteristics and optimized sweet potato root production in monoculture under green manuring. **Bioscience Journal**, v. 39, p. e39081, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v39n0a2023-66960>.

GOLAN, G. et al. Agroecological genetics of biomass allocation in wheat uncovers genotype interactions with canopy shade and plant size. **New Phytologist**, v. 242, p. 107-120, 2024.

DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.19576>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.19576>.

GUERRA, N. M. et al. Agro-economic viability of lettuce–beet intercropping under green manuring in the semiarid region. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p. 78-87, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20250111>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/qYcj4vBcPQZ5H7PzSypLKvt/>.

GUERRA, N. M. et al. Productive and agro-economic benefits in beet–lettuce intercropping under organic manuring and population densities. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e10510413883, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13883>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13883>.

GUO, X. et al. Effects of continuous cropping and application of bioorganic fertilizer on photosynthetic performance, dry matter accumulation and distribution of sugar beet. **Scientific Reports**, v. 15, p. 1512, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84372-6>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-84372-6>.

HUANG, Z. et al. Effects of planting density on morphological and photosynthetic characteristics of leaves in different positions on *Cunninghamia lanceolata* saplings. **Forests**, v. 12, n. 7, p. 853, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12070853>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/12/7/853>

IZGI, M. N. Effects of nitrogen fertilization on coriander (*Coriandrum sativum* L.): yield and quality characteristics. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 18, p. 4293-4305, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aer/1805_73237336. Disponível em: https://www.aloki.hu/pdf/1805_73237336.pdf.

JIA, Z.; GIEHL, R. F. H.; von WIRÉN, N. Nutrient–hormone relations: driving root plasticity in plants. **Molecular Plant**, v. 15, n. 1, p. 86-103, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molp.2021.12.004>. Disponível em: [https://www.cell.com/molecular-plant/fulltext/S1674-2052\(21\)00474-3](https://www.cell.com/molecular-plant/fulltext/S1674-2052(21)00474-3).

JIANG, P. et al. Intercropping enhances maize growth and nutrient uptake by driving the link between rhizosphere metabolites and microbiomes. **New Phytologist**, v. 243, p. 1506-1521, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.19906>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.19906>.

KHANAL, U. et al. Intercropping – Evaluating the advantages to broadacre systems. **Agriculture**, v. 11, p. 453, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11050453>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/5/453>.

KUSUMA, P.; BUGBEE, B. On the contrasting morphological response to far red at high and low photon fluxes. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1185622, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1185622>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1185622/full>.

LABIMC. Laboratório de Instrumentação Meteorologia e Climatologia. **Estações Meteorológica Automática (EMA)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), 2025. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/dados-emas>. Acesso em: 02 fev. 2025.

LEVINSH, G. Water content of plant tissues: so simple that almost forgotten? **Plants**, v. 12, p. 1238, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12061238>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/6/1238>.

LI, C. et al. The productive performance of intercropping. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 120, p. e2201886120, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2201886120>. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2201886120>.

LIU, H. et al. Intercropping increases plant water availability and water use efficiency: A synthesis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 379, p. 109360, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016788092400478X>

LIMA FILHO, O.F. et al. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153221>.

LINO, F.K.K. et al. Agro-economic benefits in radish lettuce intercropping under optimized green manuring and planting density. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p. 302-310, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20250309>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/NwpTLLfKqNdkRJKF8QkGJRd/?format=html&lang=en>.

LINO, V. A. S. et al. Beetroot and radish production under different quantities of green manures. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e66101623205, 2021b. DOI: 10.33448/rsd-v10i16.23205. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23205>

LINO, V. A. S. et al. Beet-arugula intercropping under green manuring and planting density induce agro-economic advantages. **Horticultura Brasileira**, v. 39, p. 432-443, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210413>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/4GwLrHfbQ77qN7DL6nxmZQp/abstract/?lang=pt>.

ODO, P. Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the Sudan savanna of Nigeria: land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. **Experimental Agriculture**, v. 27, n. 4, p. 435-441, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479700019426>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/abs/evaluation-of-short-and-tall-sorghum-varieties-in-mixtures-with-cowpea-in-the-sudan-savanna-of-nigeria-land-equivalent-ratio-grain-yield-and-system-productivity-index/CBD41381F941F9B4376F42A7759617EC>.

OLIVEIRA NETO, D. H. et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p.330-334, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/cXm7BGfJ4WnWHLnRJtNmhgs/?lang=pt>.

PAULA, F. S. et al. Production of fertilized lettuce with roostertree in different amounts and incorporation times. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 23, n. 5, p. 804-810, 2017. Disponível em: <https://agrojournal.org/23/05-17.pdf>.

PAUT, R.; SABATIER, R.; TCHAMITCHIAN, M. Modelling crop diversification and association effects in agricultural systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 288, p. 106711, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106711>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880919303275?casa_token=U-02wVv59QsAAAAA:BSD4fwibG1zb2rEnOT7H3w2sBeBj2K6y9pADvsu0oNdlPPEVliqXUnN2bakboWNnT8BwIx0unRA.

PELECH, E. A. et al. Leaf, plant, to canopy: A mechanistic study on aboveground plasticity and plant density within a maize-soybean intercrop system for the Midwest, USA. **Plant, Cell & Environment**, v. 46, p. 405-421, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.14487>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.14487>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2023.

RIBEIRO, G. M. et al. Productive performance of carrot and cowpea intercropping system under different spatial arrangements and population densities. **Revista Caatinga**, v. 31, p.19-27, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n103rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/LJsvPX4Tx9b7BSs5G45d3Ts/>.

SÁ, J. M. et al. Yield performance and agro-economic efficiency of radish-arugula intercropping under green manuring and planting density. **Horticultura Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 44–56, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20250206>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/vdS3yCzmD4XnHrhfkdr9zR/?format=html&lang=en>.

SÁ, J. M. et al. Agro-economic efficiency in radish arugula intercropping as a function of green manuring and population density. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e5310514867, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14867>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14867>.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, L. O. et al. Desafios e potencialidades dos sistemas orgânicos e consorciados na produção de hortaliças: uma perspectiva socioeconômica e ambiental. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 7, n. 1, p. 1-14, 2025. DOI: <https://doi.org/10.61164/rnm.v7i1.3789>. Disponível em: <https://www.revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/3789>.

SAS INSTITUTE Inc. **SAS/IML® 14.1 User's Guide**. Version 9.0. Cary: SAS Institute Inc. 2015.

SHAO, H. et al. How does increasing planting density regulate biomass production, allocation, and remobilization of maize temporally and spatially: A global meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 315, p. 109430, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429024001837>

SILVA, G. A. et al. Productive and monetary efficiency of radish and coriander intercropping under organic management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 56, p. e202391762, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20250036>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rca/a/XzjkbDjqjQ75X5676dYp6sJ/?format=html&lang=en>.

SILVA, J. N. D. et al. Production and benefits in carrot and vegetable cowpea associations under green manuring and spatial arrangements. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 4, p. e20197067, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200064>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rca/a/398GgQmj9V9DMhs6tzwrhD/abstract/?lang=pt&format=html>.

SILVA, J. P. P. et al. Agro-economic optimization of radish cultivation fertilized with quantidades of roostertree in a semi-arid environment. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 4, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n408rc>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/vgFY66RQJJvcNnyhFX4JgD/abstract/?lang=pt>.

SYSTAT SOFTWARE Inc. **Table Curve 3D** Academic Edition. San Jose, CA, 2021.

TAIZ, L. et al. **Plant physiology and development**. 7. ed. New York: Oxford University Press. 2024.

TAMBURINI, G. et al. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. **Science Advances**, v. 6, p. eaba1715, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>. Disponível em:
<https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.aba1715>.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.

THIERFELDER, C. et al. Two crops are better than one for nutritional and economic outcomes of Zambian smallholder farms, but require more labour. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 361, p. 108819, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108819>. Disponível em:
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880923004784?casa_token=UcH5XOAFcNQAAAAA:eU4sy2PacxENC4A8HqIBJhnUtMgP5Z7WrEdA9h_7gFwYlrOCpxF_i4Z4X_LII2yQf48RWWia4LU.

VANDERMEER, J. H. **The ecology of intercropping**. Cambridge: University Press. 1989.

WANG, F. et al. Effects of light intensity and photoperiod on morphological development and photosynthetic characteristics of coriander. **Horticulturae**, v. 10, n. 3, p. 215, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/3/215>

WANG, Q. et al. Does reduced intraspecific competition of the dominant species in intercrops allow for a higher population density? **Food and Energy Security**, v. 10, p. 285-298, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.270>. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.270>.

WHIPPO, C. W.; SALIENDRA, N. Z.; LIEBIG, M. A. Cover crop inclusion and residue retention improves soybean production and physiology in drought conditions. **Heliyon**, v. 10, n. 8, 2024. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024058699>

WRIGHT, A. J.; FRANCIA, R. M. Plant traits, microclimate temperature and humidity: A research agenda for advancing nature-based solutions to a warming and drying climate. **Journal of Ecology**, v. 112, n. 11, p. 2462-2470, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14313>. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2745.14313>.

WU, W. et al. The role of light in regulating plant growth, development and sugar metabolism: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1507628, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1507628>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1507628/full>.

YAN, F.; ARTHUR, E. Cover crops alter soil physicochemical properties: a global meta-analysis. **Geoderma**, v. 460, p. 117436, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706125002770>

YAN, Z. B. et al. Interactive effects of plant density and nitrogen availability on biomass production and leaf stoichiometry of *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Plant Ecology**, v. 16, n. 3, p. rtac101, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtac101>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jpe/article/16/3/rtac101/6887948>.

ZHANG, D. et al. Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. **Field Crops Research**, v. 257, p. 107926, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107926>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429020312107?casa_token=ddrjKa_V0m0AAAAA:Xtvv5l50q7xwghutcR6wEBw6UyMcLoXOwWWKB4sWYORjoLgpcMYPVfV_BilZW5rjhS8lZ3NDcYI.

ZHANG, J. et al. Response of leaf functional traits to soil nutrients in the wet and dry seasons in a subtropical forest on an island. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1236607, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1236607>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1236607/full>.

ZHU, Q. et al. Intercropping regulates plant and microbe-derived carbon accumulation by influencing soil physicochemical and microbial physiological properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 364, p. 108880, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108880>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016788092300539X?casa_token=Wsp0pxEeBaIAAAAA:C_0C0YLsErBZAInkKQvp4Iw65jlicah-rxJnnovRndhAK4kkvF3lODVH9TVP-EiaIey37CdT6A.

CAPÍTULO II - MANEJO DA ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL NO DESEMPENHO AGROBIOECONÔMICO DO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS NO SEMIÁRIDO

RESUMO

O cultivo consorciado de hortaliças é uma estratégia sustentável especialmente relevante para condições semiáridas. Todavia, a adoção desse sistema exige compreender suas interações, evidenciando as vantagens frente ao monocultivo. Nesse sentido, este estudo avaliou a eficiência agrobioeconômica do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão, em função de quantidades equitativas de *Merremia aegyptia* e *Calotropis procera*, sob diferentes densidades populacionais das culturas folhosas (coentro e alface), em ambiente semiárido. Para isso, foram conduzidos dois experimentos de campo em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (25, 45, 65 e 85 t ha⁻¹) e de densidades populacionais de culturas folhosas (40, 60, 80 e 100% da densidade recomendada em monocultivo – DRM). As variáveis avaliadas foram: razão equivalente de terra, razão de área equivalente no tempo, vantagem monetária corrigida, índice de eficiência produtiva, índices de superação, ganho ou perda real de rendimento, vantagem do consórcio, renda bruta, renda líquida, taxa de retorno e índice de lucratividade. O consórcio teve desempenho superior ao monocultivo quando aplicado ao solo 85 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* combinada com 100% da DRM, alcançando uma relação equivalente de terra de 2,36 e um índice de eficiência produtiva de 0,98. A beterraba foi a cultura dominante, com índice de superação de 0,23, entretanto, o aumento das quantidades dos adubos verdes e das densidades populacionais favoreceu a competitividade do coentro e da alface. A vantagem do consórcio foi de 10,00, o que representa ganhos econômicos expressivos, com uma renda líquida de 168.600,97 R\$ ha⁻¹ e um índice de lucratividade de 80,18%. Esses resultados demonstram que o manejo adequado dos fatores otimiza a eficiência agrobioeconômica do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão, destacando seu potencial como modelo sustentável e diversificado.

Palavras-chave: *Beta vulgaris*; *Coriandrum sativum*; *Lactuca sativa*; *Merremia aegyptia*; *Calotropis procera*; Caatinga.

CHAPTER II - GREEN MANURE MANAGEMENT AND POPULATION DENSITY IN THE AGRO-BIOECONOMIC PERFORMANCE OF VEGETABLE CROP INTERCROPPING IN THE SEMI-ARID REGION

ABSTRACT

Intercropping vegetables is a sustainable strategy that is especially relevant for semi-arid conditions. However, adopting this system requires understanding its interactions, highlighting their advantages over monocropping. In this sense, this study evaluated the agro-bioeconomic efficiency of intercropping beetroot and coriander with lettuce in succession, a function of equitable amounts of *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera*, under different population densities of leafy crops (coriander and lettuce), in a semi-arid environment. Two field experiments were conducted in a randomized block design, in a 4×4 factorial scheme, with four replications. The treatments tested consisted of the combination of biomass amounts of *M. aegyptia* and *C. procera*: 25, 45, 65, and 85 t ha⁻¹, and the planting densities of leafy vegetables: 40, 60, 80, and 100% of the recommended density in monoculture - RDM. The variables evaluated were: equivalent land ratio, area time equivalent ratio, corrected monetary advantage, productive efficiency index, aggressivity indices, actual yield loss, intercropping advantage, gross income, net income, rate of return, and profit margin. The intercropping system outperformed monocropping when 85 t ha⁻¹ of *M. aegyptia* and *C. procera* biomass was applied, combined with 100% of the RDM, achieving a land equivalent ratio of 2.36 and a productive efficiency index of 0.98. Beet was the dominant crop with an aggressivity index of 0.23; however, increasing the amounts of green manures and population densities favored the competitiveness of coriander and lettuce. The intercropping advantage was 10.00, representing significant economic gains, with a net income of 168,600.97 BRL ha⁻¹ and a profit margin of 80.18%. These results demonstrate that proper management of treatment-factors optimizes the agro-bioeconomic efficiency of beet and coriander intercropping with lettuce in succession, highlighting its potential as a sustainable and diversified model.

Keywords: *Beta vulgaris*; *Coriandrum sativum*; *Lactuca sativa*; *Merremia aegyptia*; *Calotropis procera*; Caatinga.

1 INTRODUÇÃO

No semiárido brasileiro, onde as limitações hídricas e edáficas restringem o potencial produtivo (Mata et al., 2024), o cultivo consorciado de hortaliças constitui uma alternativa sustentável capaz de diversificar e otimizar o uso da terra e a eficiência produtiva (Glaze-Corcoran et al., 2020; Bastiaans; van der Werf, 2025). Esse sistema de cultivo baseia-se na complementariedade entre espécies que exploram o tempo, o espaço e os recursos de maneira integrada, reduzindo a competição e potencializando o sistema (Maitra et al., 2021; Anchal; Sharma, 2025). Todavia, sua eficiência depende do equilíbrio entre os fatores que regulam a competição e a facilitação entre as culturas (Guerra et al., 2022a).

Um dos principais desafios do consórcio de hortaliças é otimizar as misturas de culturas, especialmente quanto ao ajuste do arranjo espacial, para maximizar as interações intra e interespecíficas benéficas (Bezerra Neto et al., 2023; Martinez; Gathorne-Hardy; Smith, 2024). A densidade populacional é um dos principais determinantes dessas interações, pois define o grau de aproveitamento dos recursos e a extensão da sobreposição de raízes e copas das culturas componentes (Glaze-Corcoran et al., 2020; Zhang et al., 2020), refletindo os efeitos competitivos combinados dos componentes individuais (Wang et al., 2021).

A capacidade do sistema de mitigar a competição entre culturas e otimizar o uso de recursos é influenciada pela fertilidade do solo. Nesse contexto, o uso de espécies espontâneas da Caatinga, como a *Merremia aegyptia* e a *Calotropis procera* como adubos verdes, que melhoram a fertilidade e a dinâmica biológica do solo, favorecendo o desempenho fisiológico e rendimento das culturas (Bezerra Neto et al., 2024), é uma estratégia sustentável para suprir as necessidades nutricionais das culturas.

O uso desses adubos verdes associados ao manejo da densidade populacional tem viabilizado a consorciação de hortaliças tuberosa com folhosas ou leguminosas em ambiente semiárido. Em estudos com rabanete e coentro (Silva et al., 2024), rabanete e alface (Lino et al., 2023), beterraba e alface (Guerra et al., 2022b), beterraba e rúcula (Lino et al., 2021a), rabanete e feijão-caupi (Azevedo et al., 2021) e beterraba e feijão-caupi (Azevedo et al., 2025), foi observada maior eficiência produtiva e monetária desses sistemas em comparação ao monocultivo.

Apesar do progresso contínuo nos consórcios de hortaliças no semiárido, a maior parte das pesquisas tem se concentrado em combinações envolvendo apenas duas culturas ou variedades. Além disso, poucos estudos avaliam o potencial dos resíduos dos adubos verdes para cultivos sucessivos. A inclusão estratégica de outras formas de diversificação, pode

fortalecer os processos ecológicos e tornar os sistemas mais sustentáveis (Mbanyele et al., 2024). Sob essa perspectiva, o consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão exemplifica uma abordagem eficiente de diversificação temporal e espacial, em que a utilização escalonada dos recursos por cada cultura, pode otimizar a sustentabilidade e a rentabilidade por unidade de área. No entanto, a adoção desse sistema requer compreender as interações competitivas e complementares entre as culturas consorciadas, evidenciando as vantagens biológicas e econômicas que ele oferece frente aos sistemas convencionais (Cecílio Filho et al., 2022; Li et al., 2023).

Índices agrobioeconômicos têm sido utilizados para quantificar essas vantagens e a viabilidade dos consórcios, com destaque a razão equivalente de terra (Willey; Osiru, 1972), razão de área equivalente no tempo (Pinto et al., 2011), índice de eficiência produtiva do sistema (Charnes; Cooper; Rhodes, 1978), índice de superação das culturas (Cecílio Filho et al., 2015), vantagem do consórcio (Gebbru, 2015) e vantagem monetária (Guerra et al., 2022). Economicamente, esses sistemas consorciados têm sido avaliados utilizando indicadores como renda bruta, renda líquida, taxa de retorno e índice de lucratividade (Guerra et al., 2022).

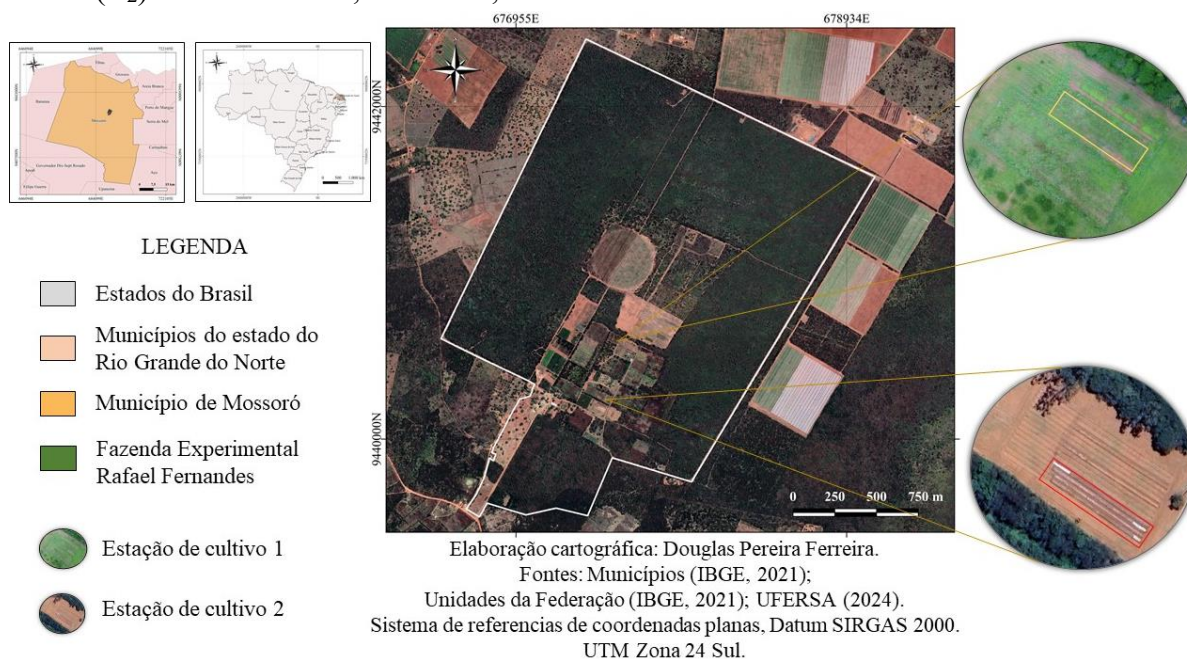
Quando aplicados adequadamente, esses indicadores fornecem subsídios para estratégias de manejo mais eficientes. Contudo, índices agrobioeconômicos clássicos não captam a complexidade de consórcios com cultivo sucessivo, exigindo adaptações para representar adequadamente as interações produtivas, temporais e econômicas desse tipo de sistema. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência agrobioeconômica do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão, em função de quantidades equitativas de *M. aegyptia* e *C. procera*, sob diferentes densidades populacionais das culturas folhosas, em ambiente semiárido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Os ensaios foram conduzidos em dois períodos de cultivo, de agosto a dezembro de 2023 (C₁) e de julho a novembro de 2024 (C₂), na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, vinculada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no distrito de Lagoinha, a 20 km da sede do município de Mossoró, RN, Brasil, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização das áreas experimentais dos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



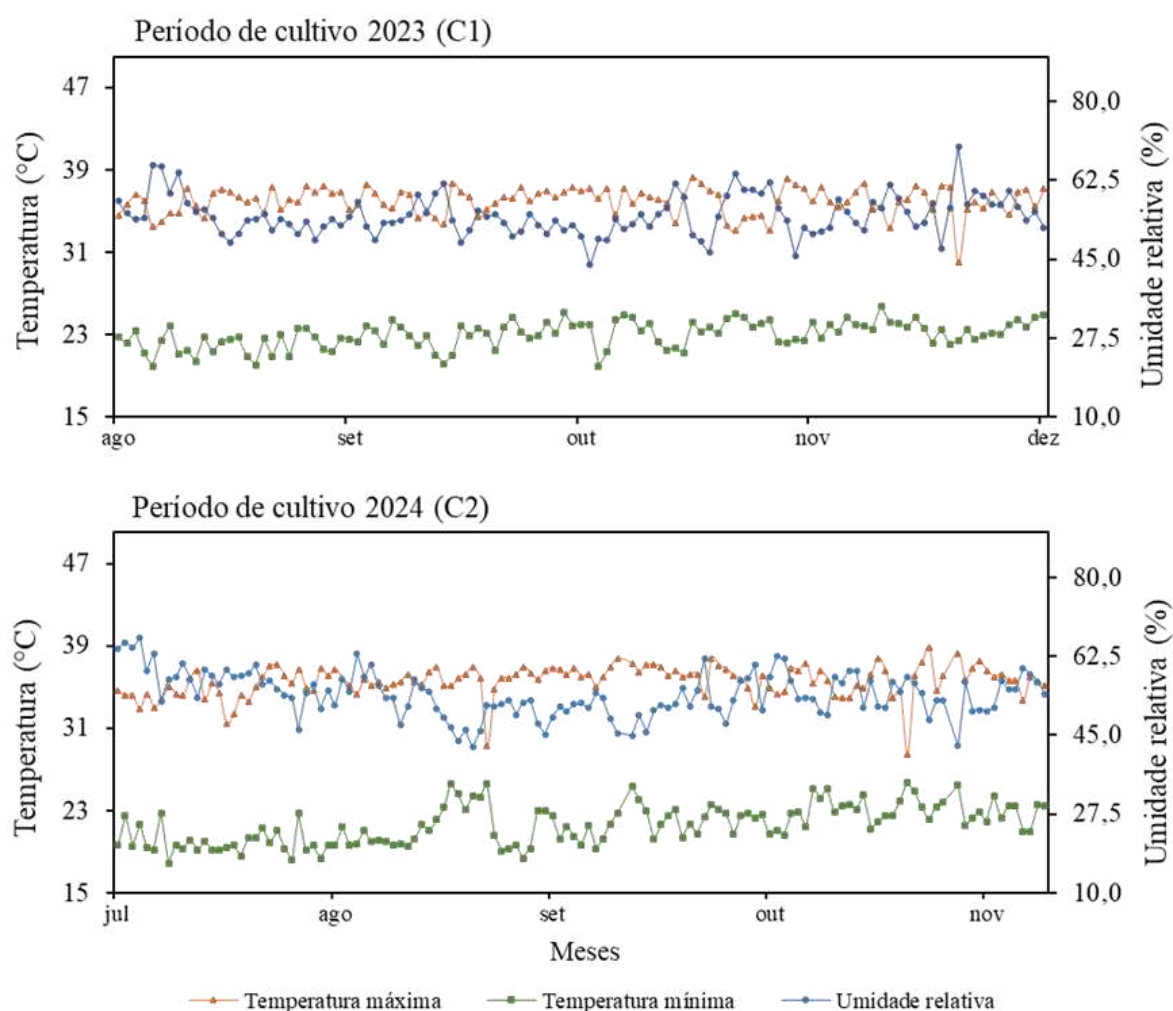
Os períodos de cultivo foram selecionados de acordo com as condições climáticas locais, sendo este o intervalo mais adequado para o crescimento das hortaliças, considerando a precipitação, bem como a menor incidência de pragas e doenças. Segundo Köppen-Geiger, o clima local é classificado como BSh', caracterizado por altas temperaturas e baixa pluviosidade, com estação seca predominante de junho a janeiro e estação chuvosa de fevereiro a maio (Beck et al., 2018).

Durante os períodos experimentais, as condições climáticas registradas foram: para C₁, temperatura média de 29,2 °C, umidade relativa do ar de 54,7 %, radiação solar de 19,8 MJ m⁻² e velocidade do vento de 5,9 m s⁻¹; e para C₂, temperatura média de 28,6 °C, umidade relativa do ar de 54,1 %, radiação solar de 18,7 MJ m⁻² e velocidade do vento de 5,4 m s⁻¹. Não houve precipitação em nenhum dos períodos de cultivo (LABIMC, 2025). As variações diárias de temperatura mínima e máxima e da umidade relativa do ar, observadas nos períodos de cultivo C₁ e C₂, estão apresentadas na Figura 2.

O solo das áreas experimentais é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO e de textura arenosa (Santos et al., 2018). Antes da instalação dos experimentos, foram avaliados os atributos químicos do solo na camada de 0–20 cm, seguindo a metodologia recomendada pela EMBRAPA (Teixeira et al., 2017), cujos resultados para os períodos C₁ e C₂ foram, respectivamente: potencial hidrogeniônico (H₂O) = 5,80 e 6,20; capacidade de troca catiônica (mmol_c dm⁻³) = 27,9 e 58,10; saturação por base (mmol_c dm⁻³) = 14,4 e 38,40; matéria

orgânica (g dm^{-3}) = 13,25 e 14,70; P (mg dm^{-3}) = 6,00 e 27,00; K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 1,77 e 3,28; Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 8,40 e 19,30; Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 2,70 e 13,70; Na ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 1,49 e 2,09; Cu (mg dm^{-3}) = 0,20 e 4,09; Fe (mg dm^{-3}) 4,90 = 18,70 e 4,90; Mn (mg dm^{-3}) = 4,90 e 11,31 mg dm^{-3} ; Zn (mg dm^{-3}) = 0,60 e 5,51 mg dm^{-3} .

Figura 2 – Médias diárias de temperatura mínima, máxima e de umidade relativa do ar, nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

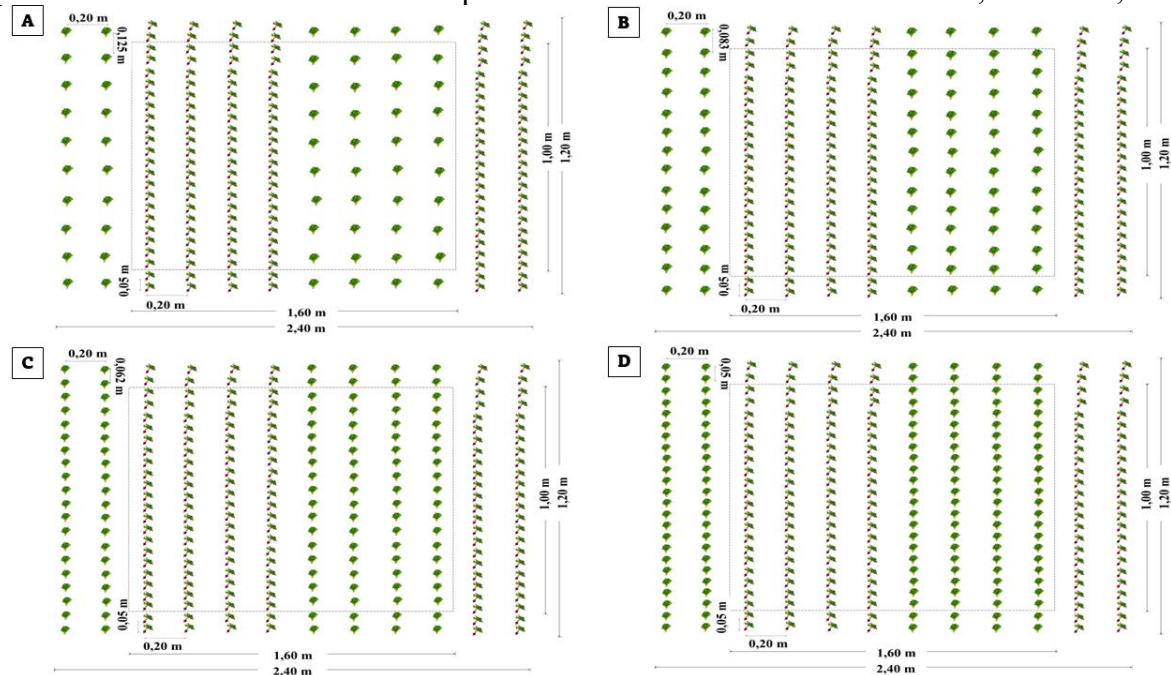
2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4, com quatro repetições. O primeiro fator constituiu-se de misturas equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* de 25, 45, 65 e 85 t ha^{-1} em base seca, e o segundo fator correspondeu às densidades populacionais das folhosas de 40, 60, 80 e 100% da densidade populacional recomendada para o monocultivo (DRM). A alface foi cultivada em sucessão ao

coentro, nas mesmas densidades populacionais (40, 60, 80 e 100% da DRM). A cultura da beterraba foi estabelecida com 100% da DRM, tanto no sistema consorciado quanto no monocultivo. As densidades populacionais recomendadas para o monocultivo são de 500 mil plantas ha^{-1} para a beterraba, de 1.000 mil plantas ha^{-1} para o coentro e de 250 mil plantas ha^{-1} para a alface (Paula et al., 2017; Lino et al., 2021b; Ferreira et al., 2022). Para o cultivo do coentro em sistema consorciado, utilizaram-se duas plantas por cova. Em cada bloco experimental, foram estabelecidas parcelas em monocultivo de beterraba, coentro e alface (em sucessão), sendo estas adubadas com quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, conforme as pesquisas de Lino et al. (2021b) e Ferreira et al. (2022), respectivamente.

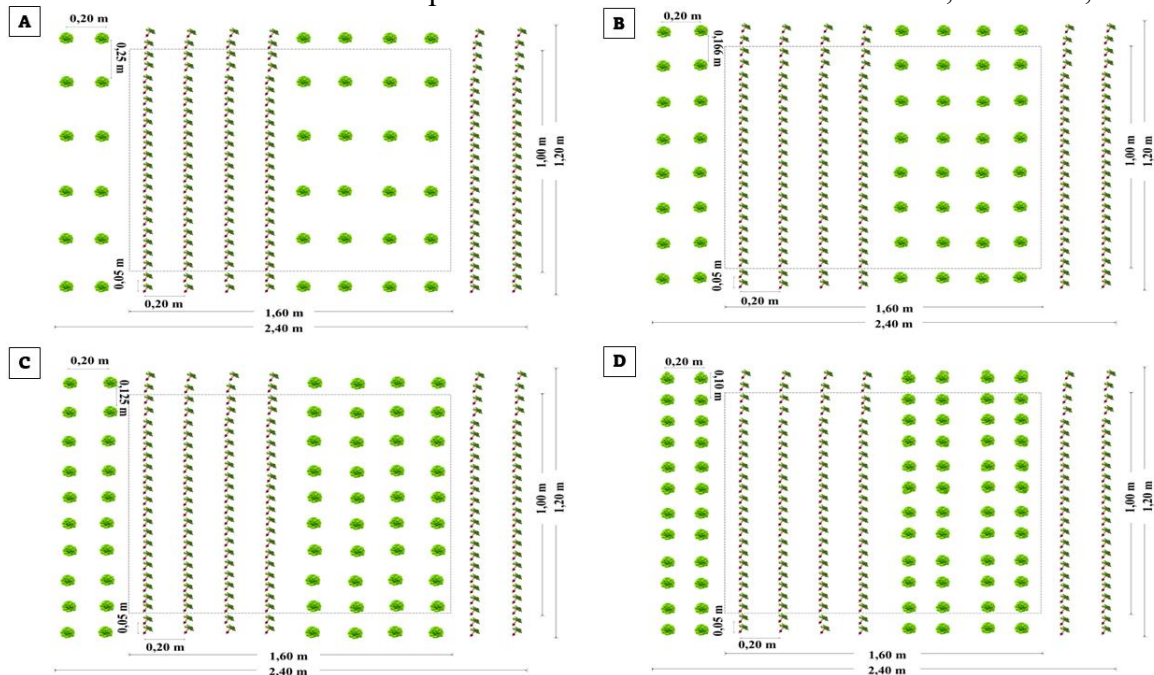
As parcelas do sistema consorciado foram estabelecidas em faixas alternadas das culturas componentes, com 50% da área ocupada pela cultura da beterraba e 50% com as culturas folhosas; essas faixas alternadas foram constituídas de quatro fileiras, ladeadas por duas fileiras de coentro ou alface por um lado e duas fileiras de beterraba pelo outro lado, utilizadas como bordadura (Figuras 3A-D e 4A-D).

Figura 3 – Representação das parcelas em sistema consorciado de beterraba (500 mil plantas ha^{-1}) com coentro nas densidades populacionais de 400 (A), 600 (B), 800 (C) e 1000 (D) mil plantas ha^{-1} de coentro com 500 mil plantas ha^{-1} de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda:  Beterraba;  Coentro.

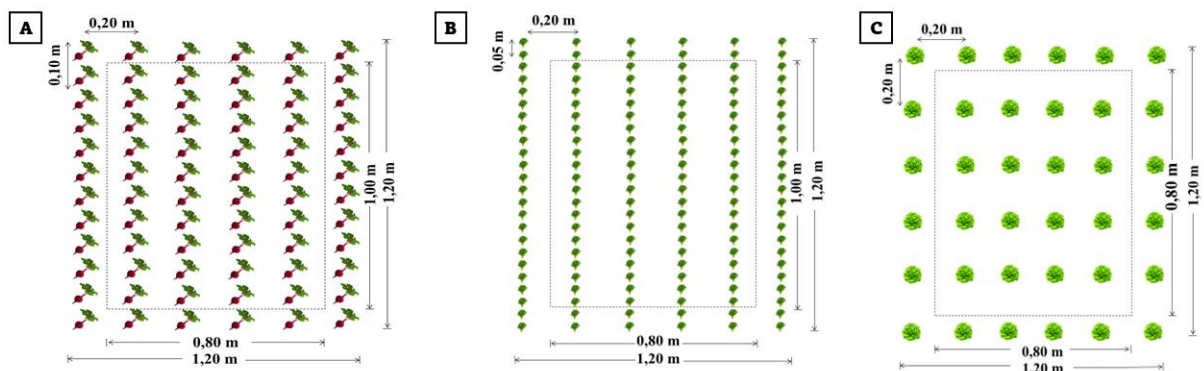
Figura 4 – Representação das parcelas em sistema consorciado de beterraba (500 mil plantas ha^{-1}) com alface nas densidades populacionais de 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 (D) mil plantas ha^{-1} de alface com 500 mil plantas ha^{-1} de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Alface.

Cada parcela possuía área total de $2,88 \text{ m}^2$ ($2,40 \times 1,20 \text{ m}$), sendo a área útil de $1,60 \text{ m}^2$ ($1,60 \times 1,00 \text{ m}$), formada pelas duas faixas centrais de plantas, excluindo-se as primeiras e as últimas plantas de cada fileira, usadas como bordaduras. Nos monocultivos, a área total foi de $1,44 \text{ m}^2$ ($1,20 \times 1,20 \text{ m}$), com área útil de $0,80 \text{ m}^2$ ($0,80 \times 1,00 \text{ m}$) para a beterraba e coentro cada e, de $0,60 \text{ m}^2$ ($0,80 \times 0,80 \text{ m}$) para a alface, conforme apresentado na Figura 5A-D.

Figura 5 – Representação das parcelas em monocultivo de beterraba (A), coentro (B) e alface (C) nas densidades de 500, 1.000 e 250 mil plantas por hectare, respectivamente. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Coentro; Alface.

Os arranjos espaciais das culturas, tanto em sistema consorciado quanto em monocultivo, estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das densidades populacionais da beterraba, coentro e alface utilizados em sistema consorciado e em monocultivo, com seus respectivos percentuais das densidades populacionais e espaçamentos. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidades populacionais das culturas em cultivo consorciado					
População (mil plantas ha ⁻¹)			Espaçamento (m)		
Beterraba	Coentro	Alface	Beterraba	Coentro*	Alface
500	400 (40%)	100 (40%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,120	0,20 x 0,250
500	600 (60%)	150 (60%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,085	0,20 x 0,166
500	800 (80%)	200 (80%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,062	0,20 x 0,125
500	1.000 (100%)	250 (100%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,050	0,20 x 0,100
Densidades populacionais das culturas em monocultivo					
População (mil plantas ha ⁻¹)		Espaçamento (m)			
		Beterraba	Coentro	Alface	
Beterraba	500	0,20 x 0,10			
Coentro	1.000		0,20 x 0,05		
Alface	250			0,20 x 0,20	

Fonte: Elaborado pela autora (2026). * duas plantas de coentro por cova.

2.3 Instalação e condução dos experimentos

Para o estabelecimento dos experimentos, o solo foi inicialmente limpo mecanicamente com aração seguida de gradagem e os canteiros levantados com enxada rotativa encanteiradora. Posteriormente, realizou-se a solarização dos canteiros por 30 dias, utilizando cobertura de plástico transparente do tipo Vulca Brilho Bril Flex de 30 µm, com o intuito de reduzir os fitopatógenos dos solos e as plantas daninhas. Após a solarização, realizou-se a incorporação dos adubos verdes manualmente com enxadas, na camada de 0 a 20 cm do solo.

Os adubos verdes (*M. aegyptia* e *C. procera*) coletados em áreas rurais e urbanas de Mossoró – RN, levados para a Horta Didática da UFERSA, onde foram triturados em máquina forrageira convencional, fragmentados em partículas de 2,0 a 3,0 cm e desidratados ao sol por sete dias, sendo revirados duas vezes ao dia até a obtenção de um teor de umidade de 10 %. O tempo necessário para a obtenção desse teor de umidade depende das condições climáticas diárias, como radiação solar e umidade relativa do ar. Além disso, a eficiência da secagem está diretamente relacionada à espessura da camada do material exposto ao sol. A biomassa seca dos adubos verdes foi submetida à análise química, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise química de macro e micronutrientes na biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* incorporadas ao solo nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Adubos verdes	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B	C:N
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
Período de cultivo 2023 (C ₁)											
<i>M. aegyptia</i>	18,98	3,01	37,40	18,55	4,97	438	27,00	6,00	19,00	44,00	20:1
<i>C. procera</i>	15,91	1,22	32,70	10,64	6,41	87	24,00	10,00	77,00	37,00	16:1
Período de cultivo 2024 (C ₂)											
<i>M. aegyptia</i>	20,02	3,70	33,62	13,20	3,65	384	21,02	7,76	23,90	25,66	19:1
<i>C. procera</i>	23,10	2,80	37,62	9,71	7,99	195	21,78	7,58	38,98	34,88	15:1

*N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Fe: ferro; Zn: zinco; Cu: cobre; Mn: manganês; B: boro; relação Carbono: Nitrogênio.

Após 15 dias da incorporação dos adubos verdes, procedeu-se à semeadura da beterraba ('Early Wonder') e do coentro ('Verdão') em covas de 3 cm de profundidade, com três sementes por cova, nas datas de 29 de setembro de 2023 (C₁) e 05 de setembro de 2024 (C₂). O desbaste da beterraba foi realizado aos 12 e 14 dias após a semeadura (DAS) e do coentro aos 19 e 20 DAS nos C₁ e C₂, respectivamente, mantendo uma planta por cova para a beterraba e duas plantas por cova para o coentro. Após três dias da colheita do coentro, todos os resíduos da cultura foram retirados da área e as mudas de alface cultivar Jade (produzidas pela empresa HortVida Agrícola ME) foram transplantadas em 09 de novembro de 2023 (C₁) e em 10 de outubro de 2024 (C₂), aos 22 DAS, em covas de 5 cm de profundidade.

A irrigação dos experimentos foi realizada por microaspersão, em dois turnos diários, conforme a demanda hídrica da beterraba (Kc médio = 0,83), com fornecimento de uma lâmina de água de aproximadamente 8 mm dia⁻¹ (Oliveira Neto et al., 2011). Como tratamentos culturais, na cultura da beterraba foi realizada a amontoa aos 35 DAS, sendo realizada conforme necessário, para proteção das raízes e prevenção de rachaduras. O manejo fitossanitário incluiu a aplicação de Trichodermil Super SC[®], registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para uso em sistemas orgânicos, para combater fungos fitopatogênicos dos gêneros *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., identificados no momento do desbaste. Nas culturas folhosas, não foram realizados tratamentos fitossanitários. O controle de plantas daninhas ocorreu por capinas manuais, efetuadas sempre que necessário.

A colheita da beterraba ocorreu aos 58 e 60 DAS, a do coentro aos 35 DAS e 28 DAS e a da alface aos 29 e 35 dias após o transplante, no primeiro (C₁) e no segundo (C₂) período de cultivo, respectivamente.

2.4 Características avaliadas

As variáveis analisadas no sistema consorciado compreenderam a produtividade comercial de raízes tuberosa de beterraba, determinada a partir da massa fresca das raízes tuberosa classificadas (graúdas raízes > 7 cm, raízes extra AA ≥ 6 a < 7 cm; extra A ≥ 5 a < 6 cm; extra > 4 a < 5 cm), obtidas na área útil e expressas em $t\ ha^{-1}$. No coentro e na alface, avaliou-se o rendimento de massa verde e produtividade de folhas, com base na massa fresca das plantas coletadas na área útil, expressa em $t\ ha^{-1}$. A partir dessas produtividades, a eficiência do sistema foi estimada por meio dos seguintes índices e indicadores específicos:

2.4.1 Índices agronômicos

a) A Razão Equivalente de Terra (RET) foi calculada conforme a equação proposta por Willey e Osiru (1972) (Eq. 1):

$$RET = \frac{Y_{bf}}{Y_b} + \frac{Y_{cb}}{Y_c} + \frac{Y_{ab}}{Y_a} \quad (1)$$

em que,

Y_{bf} é a produtividade de raízes comerciais de beterraba consorciada com as folhosas;

Y_b é a produtividade de raízes comerciais de beterraba em monocultivo;

Y_{cb} e Y_{ab} são o rendimento de massa verde de coentro e a produtividade de folhas de alface consorciada com beterraba, respectivamente;

Y_c e Y_a são o rendimento de massa verde de coentro e produtividade de folhas de alface em monocultivo, respectivamente.

Esse índice agronômico indica a fração de área em monocultivo que seria necessária para alcançar as produtividades observadas no sistema consorciado. Valor de RET superior a 1 indica vantagem do consórcio, refletindo maior eficiência no uso da terra e melhor desempenho produtivo das culturas. Em contraste, valor inferior a 1 sinaliza que a associação das culturas compromete o crescimento e reduz a produtividade.

b) A Razão de Área Equivalente no Tempo (RAET) foi calculada conforme a equação (2) (Pinto et al., 2011):

$$RAET = \left[\frac{(RET_{bf} \times T_b) + (RET_{cb} \times T_c) + (RET_{ab} \times T_a)}{T} \right] \quad (2)$$

onde,

RET_b é a relação de terra da beterraba em consórcio com as folhosas;

RET_{cb} e RET_{ab} são as relações de terra do coentro e da alface em consórcio com a beterraba, respectivamente;

T_b , T_c e T_a são o tempo, em dias, do plantio à colheita da beterraba, coentro e alface, respectivamente;

T é o tempo total do sistema consorciado de beterraba com as folhosas.

Valores de $RAET > 1$ indicam vantagem produtiva do consórcio; $RAET = 1$ indica ausência de vantagem, equivalente ao monocultivo; e $RAET < 1$ demonstra desvantagem produtiva do sistema consorciado.

c) Vantagem Monetária corrigida (VMc) foi determinada conforme Guerra et al. (2022), pela equação (3):

$$VMc = RL \times \left(\frac{RET - 1}{RET} \right) \quad (3)$$

em que,

RL é a renda líquida expressa em R\$ ha⁻¹;

RET é a razão equivalente de terra.

A renda líquida (RL) foi obtida subtraindo-se os custos de produção (CP) de cada tratamento da respectiva renda bruta (RB). A RB, por sua vez, foi calculada multiplicando-se a produtividade por hectare de cada cultura componente pelo preço médio pago ao produtor na região, considerado no momento da colheita, sendo R\$ 2,65 kg⁻¹ para a beterraba, R\$ 11,00 kg⁻¹ para o coentro e R\$ 7,55 kg⁻¹ para a alface (CEASA – RN, 2024). Os custos de produção de cada tratamento foram estimados com base nos coeficientes de insumos e serviços aplicados por hectare para a implementação do sistema consorciado, incluindo despesas com capital fixo e circulante (depreciação, manutenção e reparos de máquinas, implementos e benfeitorias), mão de obra, operações mecânicas e insumos, ajustados conforme a densidade populacional e a quantidade dos adubos verdes utilizados em cada tratamento (Silva et al., 2023) (Apêndice – Tabelas 18 a 36).

d) O Índice de Eficiência Produtiva (IEP) de cada tratamento foi determinado utilizando o modelo DEA (*Data Envelopment Analysis*) com retornos constantes de escala, conforme Charnes, Cooper e Rhodes (1978), uma vez que não foram constatadas evidências de

variação significativa de escala entre os tratamentos. A formulação matemática geral do modelo é descrita a seguir (Eq. 4):

$$Max \sum_{j=1}^r \mu_j y_{jo} \quad (4)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^s v_j x_{ik} = 1 \sum_{i=1}^r v_j x_{jk} - \sum_{i=1}^s v_j x_{ik} \leq 0, k = 1 \dots n \quad v_i, \mu_j \geq 0, i = 1 \dots s, j = 1 \dots r$$

em que,

x_{ik} representa o valor do input i ($i = 1 \dots s$) para o tratamento k ($k = 1 \dots n$);

x_{jk} corresponde ao valor do output j ($j = 1 \dots r$) para o tratamento k ;

v_i e μ_j são os pesos atribuídos aos inputs e outputs, respectivamente, sendo 0 o tratamento em avaliação.

Os 16 tratamentos (4 densidades x 4 quantidades dos adubos verdes), foram considerados como unidades de avaliação. A produtividade comercial da beterraba e os rendimentos de massa verde das culturas folhosas (coentro e alface) foram utilizados como *outputs*, enquanto o índice de lucratividade foi adotado como *input*. Admitiu-se que todas as unidades operam com um recurso unitário, uma vez que as variações de uso já estão refletidas nos *outputs*. O modelo adotado equivale a uma abordagem multicritério aditiva, na qual os pesos de cada variável são determinados pelas próprias unidades, sem influência externa (Lima et al., 2014).

2.4.2 Índices biológicos

a) A Perda Real de Rendimento (PRR) foi determinada seguindo o método de Banik (1996), utilizando a seguinte expressão (Eq. 5):

$$PRR = PRR_b + PRR_c + PRR_a \quad (5)$$

em que:

$$PRR_b = \left[\left\{ \left(\frac{Y_{bf}}{Z_{bf}} \right) \div \left(\frac{Y_b}{Z_b} \right) \right\} - 1 \right]$$

$$PRR_c = \left[\left\{ \left(\frac{Y_{cb}}{Z_{cb}} \right) \div \left(\frac{Y_c}{Z_c} \right) \right\} - 1 \right]$$

$$PRR_a = \left[\left\{ \left(\frac{Y_{ab}}{Z_{ab}} \right) \div \left(\frac{Y_a}{Z_a} \right) \right\} - 1 \right]$$

onde,

PRR_b , PRR_c e PRR_a são a perda de rendimento real da beterraba, coentro e alface, respectivamente;

Y_{bf} é a produtividade de raízes comerciais de beterraba em consórcio com as folhosas;

Z_{bf} é a proporção de plantio de beterraba no consórcio com as folhosas;

Y_b é a produtividade de raízes comerciais de beterraba em monocultivo;

Z_b é a proporção de plantio de beterraba em monocultivo;

Y_{cb} e Y_{ab} são o rendimento de massa verde de coentro e a produtividade de folhas de alface consorciada com beterraba, respectivamente;

Z_{cb} e Z_{ab} se referem à proporção de plantio de coentro e à produtividade de folhas de alface consorciada com a beterraba, respectivamente;

Y_c e Y_a são o rendimento de massa verde de coentro e de alface em monocultivo, respectivamente.

Z_c e Z_a são a proporção de plantio de coentro e de alface em monocultivo, respectivamente.

Valores de $PRR > 0$ sinalizam que o consórcio tem vantagem produtiva em relação ao monocultivo, enquanto valores de $PRR < 0$ indicam que o sistema consorciado tem desvantagem.

b) O Índice de Superação (IS) da cultura quantifica o aumento relativo da produção de uma cultura componente em relação à outra em um consórcio, indicando a dominância de uma sobre a outra. O cálculo desse índice foi baseado nas expressões propostas por McGilchrist e Trenbath (1971), com adaptações, considerando que ao longo do ciclo da beterraba, foram cultivadas duas culturas: coentro e alface. Como essas folhosas ocuparam o mesmo espaço de forma sucessiva, o IS foi determinado a partir da soma de suas produtividades (Eqs. 6 e 7):

$$IS_{fb} = \left[\left(\frac{Y_{fb}}{Y_f} \times Z_f \right) - \left(\frac{Y_{bf}}{Y_b} \times Z_b \right) \right] \quad (6)$$

$$IS_{bf} = \left[\left(\frac{Y_{bf}}{Y_b} \times Z_b \right) - \left(\frac{Y_{fb}}{Y_f} \times Z_f \right) \right] \quad (7)$$

onde,

Y_{fb} e Y_{bf} são as produtividades das folhosas em consórcio com a beterraba e de beterraba em consórcio com as folhosas;

Y_f e Y_b são as produtividades das folhosas e de beterraba em monocultivo, respectivamente; Z_b é a proporção de plantio de beterraba em consórcio com as folhosas;

Z_f é a proporção de plantio das folhosas em consórcio com a beterraba.

Se o IS for igual a zero, as culturas componentes do consórcio têm competitividade equivalente. Quando o IS tem sinal positivo para uma cultura, esta é considerada dominante, enquanto a cultura com sinal negativo é dominada.

c) A Vantagem do Consórcio (VC) foi calculada conforme Gebru (2015), por meio da expressão (Eq. 8):

$$VC = VC_b + VC_c + VC_a \quad (8)$$

$$VC_b = PRR_b \times PR_b$$

$$VC_c = PRR_c \times PR_c$$

$$VC_a = PRR_a \times PR_a$$

onde,

VC_b é a vantagem do consórcio de beterraba com as folhosas;

VC_c e VC_a são as vantagens do consórcio de coentro com a beterraba e de alface com beterraba, respectivamente;

PRR_b , PRR_c e PRR_a correspondem à perda de rendimento real da beterraba, coentro e alface, respectivamente;

PR_b , PR_c e PR_a indicam os preços da beterraba, coentro e alface, respectivamente, considerando os valores de mercado mencionados anteriormente ($R\$ \text{ kg}^{-1}$) (vide item 2.4.1 c).

2.4.3 Indicadores econômicos

Os indicadores econômicos quantificados foram: renda bruta (RB) e renda líquida (RL) expressas em $R\$ \text{ ha}^{-1}$ (descritos anteriormente, vide item 2.4.1 c); taxa de retorno (TR), calculada pela razão entre a RB e custo de produção de cada tratamento (Apêndice - Tabelas 18 a 36), indicando quantos reais são obtidos para cada real investido; e índice de lucratividade (IL), determinado pela relação entre RL e RB, sendo expresso em percentual (Guerra et al., 2022).

2.5 Análises estatísticas

A análise de variância univariada, em delineamento de blocos casualizados com arranjo fatorial, foi empregada para avaliar os índices agronômicos e biológicos e os indicadores econômicos, utilizando o *software* SAS versão 9.0 (SAS, 2015). Realizou-se uma análise conjunta entre os períodos de cultivo, devido à homogeneidade das variâncias (quociente do quadrado médio residual < 7), foi calculada uma média entre elas para cada tratamento

(Pimentel-Gomes, 2023). Em seguida, realizou-se análise de regressão polinomial para cada índice e indicador, ajustando superfícies de resposta em função de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, utilizando o *software* Table Curve 3D versão 4.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2021). Os modelos de regressão foram selecionados considerando: a lógica biológica da variável; a significância do quadrado médio residual; elevados valores do coeficiente de determinação; e a significância dos parâmetros da equação de regressão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Índices agronômicos

A análise de variância demonstra interação significativa entre as quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) e as diferentes densidades populacionais das folhosas (D) para os indicadores da relação equivalente de terra (RET), razão de área equivalente no tempo (RAET), vantagem monetária corrigida (VMc) e índice de eficiência produtiva (IEP) (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de F para a relação equivalente de terra (RET), razão de área equivalente no tempo (RAET), vantagem monetária corrigida (VMc) e índice de eficiência produtiva (IEP) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

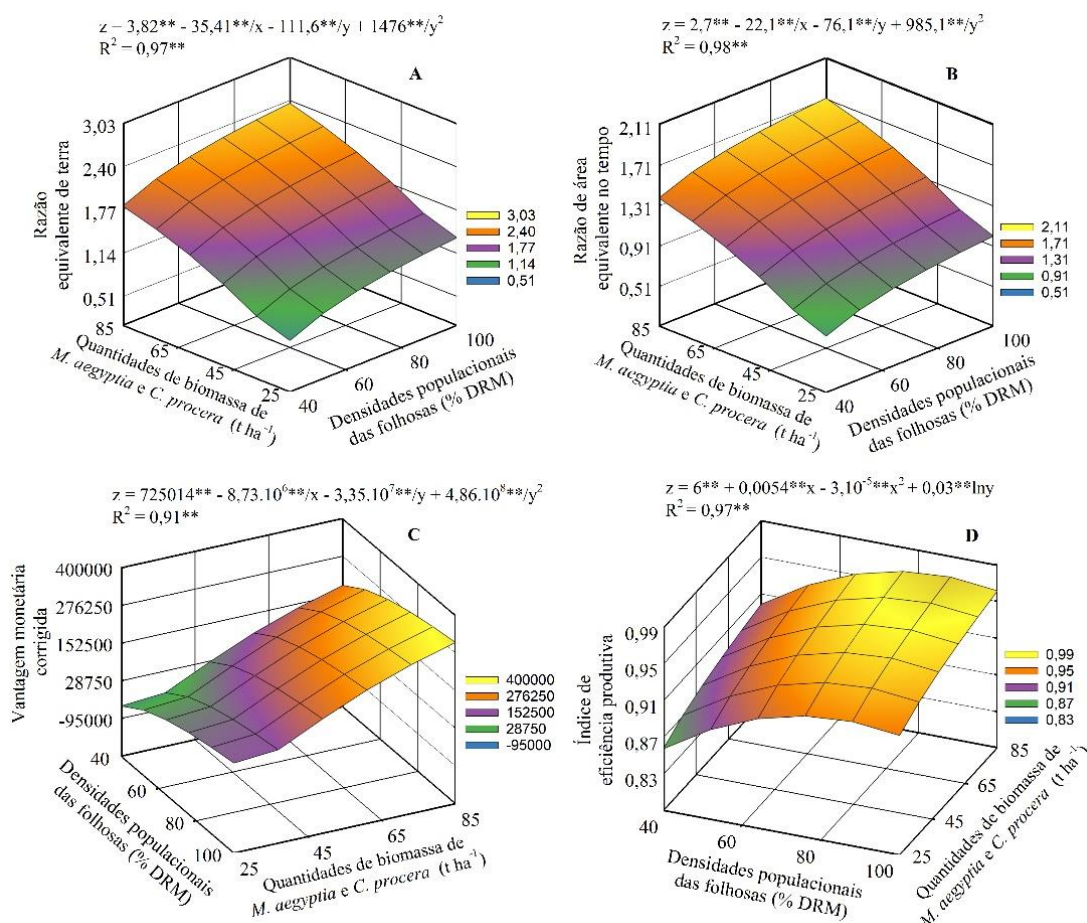
Fonte de variação	GL	RET	RAET	VMc	IEP
Blocos	3	1,28 ^{ns}	1,75 ^{ns}	1,64 ^{ns}	1,68 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	2216,55**	3383,68**	2104,06**	91,32**
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	637,71**	738,78**	628,05**	253,63**
Q x D	9	26,15**	24,74**	80,86**	4,06**
Superfície resposta					
Regressão		129,76**	187,96**	40,16**	110,14**
Erro		0,0075	0,0025	1,42,10 ⁴	4,56,10 ⁻⁵
CV (%)		2,21	1,71	6,70	0,81

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$.

Modelos de superfície de resposta foram ajustados ($p < 0,01$; $R^2 > 0,91$) para esses índices, em função de quantidades dos adubos verdes e densidades populacionais, obtendo-se máxima eficiência de 2,36; 1,72; R\$ 311.178,45 ha⁻¹ e 0,98 para a RET, RAET, VM e IEP, respectivamente, com a aplicação de 85 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*

associada à densidade populacional de 100% da recomendada para o monocultivo das folhosas, exceto para o IEP, cuja máxima eficiência foi alcançada com 86,80% da DRM (Figuras 6A-D).

Figura 6 – Razão equivalente de terra (A), razão de área equivalente no tempo (B), vantagem monetária corrigida (C) e índice de eficiência produtiva (D) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Esses resultados indicam que o maior aporte de nutrientes, resultante da maior quantidade dos adubos verdes, favoreceu o aumento da produtividade e mitigou os efeitos da competição, garantindo um crescimento mais equilibrado das culturas consorciadas. Além de fornecer nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, B e Fe; Tabela 2) importantes para a fotossíntese e metabolismo das plantas, os adubos utilizados também atuaram nos atributos físicos e biológicos do solo, melhorando sua estrutura, capacidade de retenção de água e atividade microbiana.

A adição de matéria orgânica favorece a formação e estabilização de agregados, por meio da ação de substâncias húmicas e exsudatos microbianos, resultando em melhor

estruturação do solo e maior porosidade. Esse processo contribui para o aumento da capacidade de retenção de água e melhoria da aeração. Além disso, o aporte de compostos orgânicos atua como fonte de carbono e energia para a microbiota edáfica, estimulando a atividade microbiana e potencializando os processos de ciclagem de nutrientes (Haruna et al., 2025; Xing; Wang; Mustafa, 2025). Essa condição assegurou a permanência de um maior número de plantas na área (100% da DRM das folhosas), favorecendo a exploração mais eficiente do espaço e dos recursos pelas folhosas, sem intensificar a competição entre as culturas estabelecidas no sistema.

Adicionalmente, os desempenhos obtidos evidenciam a complementaridade entre as culturas componentes. A complementaridade ocorre quando as culturas do sistema consorciado exploram os recursos em diferentes momentos ou espaços, reduzindo a competição direta (Githui et al., 2023). Essa dinâmica é determinada pelas características morfológicas e fisiológicas das culturas, condicionando a distribuição dos recursos e o rendimento agrícola (Guerra et al., 2022).

A beterraba tem porte ereto, ciclo mais longo e raiz pivotante profunda, explorando camadas inferiores do solo. Já o coentro e a alface são culturas de ciclo curto que possuem arquitetura foliar que ocupa o dossel médio do sistema, sistemas radiculares superficiais e ramificados, ocupando principalmente os primeiros 0,25 m do solo (Filgueira, 2012). Essas diferenças entre a tuberosa e as culturas folhosas reduzem a sobreposição no uso de luz e nutrientes, favorecendo a complementaridade entre as culturas. Além disso, por serem cultivadas em sucessão, as folhosas utilizaram nichos diferentes no tempo e no espaço, permitindo o desenvolvimento de duas culturas ao longo do ciclo da beterraba. Ao maximizar o uso de recursos e aumentar a diversidade funcional, o consórcio se apresenta como uma estratégia eficaz para a intensificação sustentável da produção agrícola (Li et al., 2023).

O equilíbrio funcional multifacetado explica os valores de RET e RAET observados, os quais se refletiram no aumento da vantagem monetária corrigida (VMc) e da eficiência produtiva do sistema (IEP). Valores de RET e RAET superiores a 1 indicam maior eficiência na utilização da terra e do tempo de cultivo, quando comparados com o monocultivo (Anchal; Sharma, 2025). Enquanto a VM e o IEP mais elevados, confirmam a viabilidade produtiva e econômica do consórcio e evidenciam sua capacidade de converter o uso integrado da área e dos insumos em maior retorno econômico (Silva et al., 2024). Assim, pode-se afirmar que o consórcio estabelecido combinando 85 t ha⁻¹ dos adubos verdes e 100% da DRM das folhosas, se caracteriza como um sistema eficiente e vantajoso em relação ao monocultivo, quanto à exploração da área e recursos e à sua viabilidade agromonetária.

A eficiência produtiva e econômica em sistemas consorciados de hortaliças, resultantes da eficácia das espécies espontâneas em liberar gradualmente nutrientes, associada ao manejo adequado das densidades populacionais, foi relatada por Lino et al. (2021b). Em condições experimentais semelhantes, no consórcio de beterraba e rúcula, os autores obtiveram uma RET de 1,87 e um IEP de 0,98 utilizando 65 t ha⁻¹ de *M. aegyptia* e *C. procera* combinados com 100% da densidade populacional da rúcula. No consórcio de beterraba com alface em bicultivo, a combinação de 65 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidade de 300 mil plantas de alface ha⁻¹ resultou em uma RET de 2,59; RAET de 1,39; IEP de 0,97 e VM de R\$ 94.742,89 ha⁻¹ (Guerra et al., 2022).

3.2 Índices biológicos

Observaram-se interações significativas ($p < 0,01$) entre os fatores quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas (Q x D) para o índice de superação das folhosas (ISf), índice de superação da beterraba (ISb), perda real de rendimento (PRR) e vantagem do consórcio (VC) (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de F para o índice de superação das folhosas (ISf), índice de superação da beterraba (ISb), perda real de rendimento (PRR) e vantagem do consórcio (VC) de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

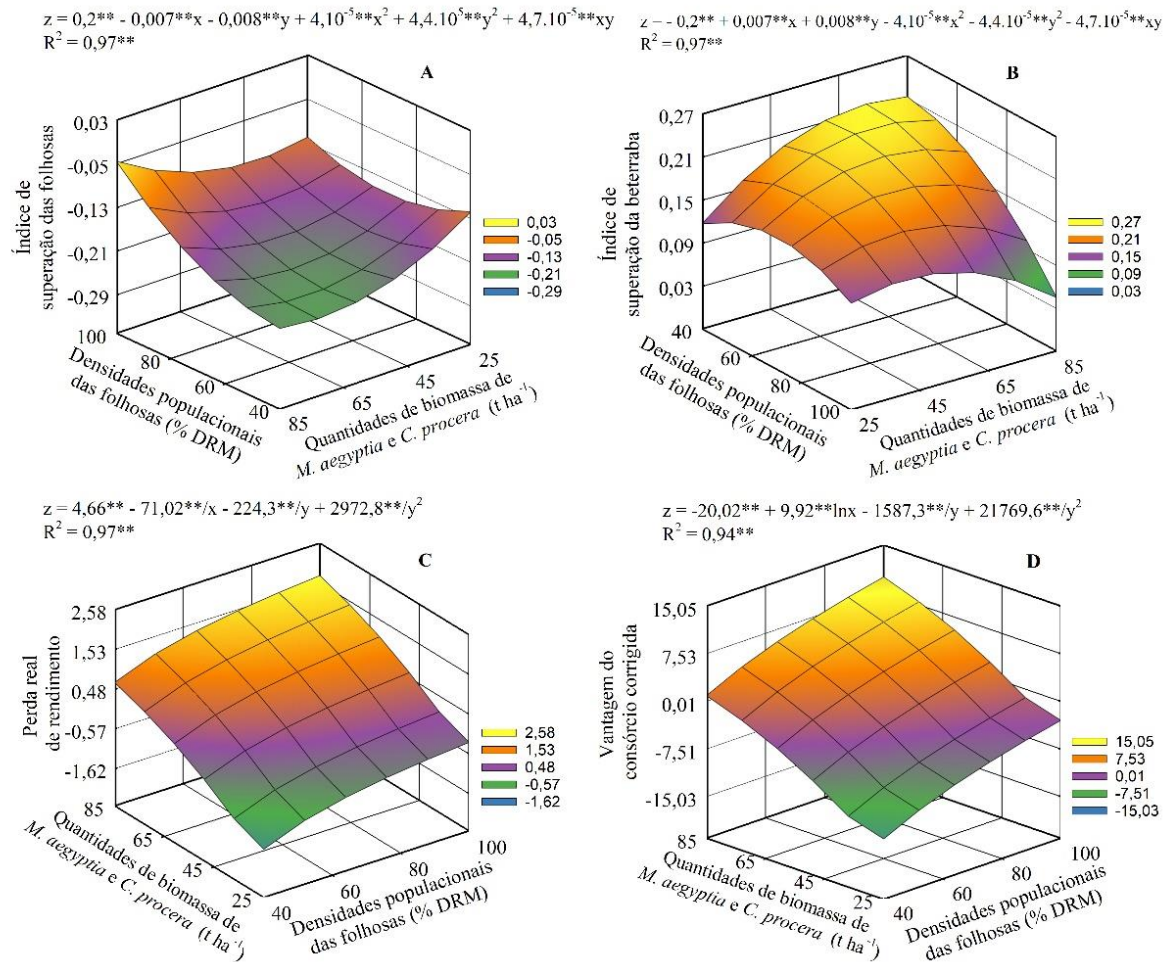
Fonte de variação	GL	ISf	ISb	PRR	VC
Blocos	3	0,39 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,89 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	48,55**	48,55**	2273,79**	1140,30**
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	192,05**	192,05**	653,78**	531,96**
Q x D	9	31,04**	31,04**	27,17**	31,21**
Superfície resposta					
Regressão		57,02**	57,02**	130,99**	62,75**
Erro		0,0001	0,0001	0,0299	3,070
CV (%)		-7,50	7,50	21,14	-153,24

Fonte: Elaborado pela autora (2026). * = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$.

O ajuste dos modelos de superfície de resposta ($p < 0,01$; $R^2 > 0,94$) foi feito para descrever o comportamento das variáveis em função dos fatores estudados (Figura 7). Os valores máximos de -0,06 para o ISfb, de 0,23 para o ISbf, de 1,72 para a PRR e de 10,00 para a VC, nas combinações de quantidades equitativas de biomassa dos adubos verdes e densidades

populacionais das folhas de 85 e 100; 71,09 e 43,77; 85 e 100; 85 t ha⁻¹ e 100 % da DRM, respectivamente (Figura 7A-D).

Figura 7 – Índice de superação das folhosas (A), índice de superação da beterraba (B), perda ou ganho real de rendimento (C) e vantagem do consórcio (D) de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Com base nos valores observados do IS, a beterraba exerceu dominância sobre as folhosas (coentro e alface), refletindo maior capacidade de aproveitamento dos recursos ambientais em relação às folhosas. Esse resultado está alinhado ao princípio da partição assimétrica de recursos em cultivos consorciados (Vandermeer, 1989), segundo o qual a espécie com maior vigor ou porte (beterraba) tende a utilizar de forma mais intensa os recursos disponíveis, reduzindo a oferta para a cultura associada. Além disso, a interação entre espécies altera a própria dinâmica de competição dentro de cada cultura (Zhang et al., 2020), aumentando os efeitos competitivos.

Contudo, o aumento das quantidades dos adubos verdes e das densidades populacionais das folhosas favoreceu a elevação do ISf e redução do ISb (Figuras 7A-B), indicando um equilíbrio competitivo entre as culturas consorciadas, comportamento semelhante ao observado por Guerra et al. (2022) no consórcio de beterraba e alface. A redução da competição mútua favorece a facilitação, permitindo que as culturas explorem o ambiente de maneira complementar e cooperativa (Vandermeer, 1989; Gitari et al., 2020). Silva et al. (2024) relatam que independentemente da densidade de plantas, o coentro demonstra competitividade interespecífica inferior à do rabanete. Os autores observaram que a vantagem competitiva do rabanete sob o coentro aumentou à medida que se elevaram os fatores avaliados, alcançando um IS de 1,03 na combinação de 100% da DRM de coentro com 65 t ha⁻¹ dos adubos verdes (*M. aegyptia* e *C. procera*).

A eficiência agrobiológica do sistema estabelecido foi evidenciada pelos resultados da PRR (1,72) e da VC (10,00), indicando compatibilidade entre as espécies consorciadas e evidenciando que a interação entre elas proporciona desempenho produtivo superior ao que seria alcançado por cada cultura em monocultivo (Silva et al., 2020). Essa superioridade do consórcio pode ser atribuída à complementaridade entre a beterraba e as folhosas, favorecendo as interações intra e interespecíficas benéficas, aumentando a eficiência do sistema (Bezerra Neto et al., 2023). O arranjo adequado das culturas e do espaçamento tende a intensificar essas interações facilitadoras, contribuindo para o aumento da produtividade e da estabilidade do agroecossistema (Yu et al., 2025). Além disso, o aumento da diversificação produtiva proporcionada pelo cultivo sucessivo da alface favoreceu o aproveitamento dos resíduos dos adubos verdes, ampliando a eficiência global do sistema.

Ao investigar as interações no consórcio de rabanete e alface, Lino et al. (2023) observaram que o aumento das quantidades de *M. aegyptia* e *C. procera* e das densidades populacionais elevou a PRR e a VC, alcançando valores máximos de 2,40 e 8,03, respectivamente, com 65 t ha⁻¹ dos adubos verdes e 300 mil plantas de alface ha⁻¹. Resultados semelhantes foram descritos por Sá et al. (2021), que obtiveram uma PRR de 1,31 e vantagem do consórcio de 5,16 no cultivo de rabanete com rúcula, combinando 65 t ha⁻¹ de *M. aegyptia* e *C. procera* com 100% da DRM da rúcula, reforçando que o aumento da biomassa dos adubos verdes e da densidade populacional tende a maximizar o desempenho produtivo das culturas consorciadas.

A máxima eficiência observada no(a) IS, PRR, VC reflete o maior grau de competitividade e complementaridade entre as espécies. O efeito complementar das distintas capacidades competitivas das culturas consorciadas manifestou-se no uso conjunto e não

concorrente dos recursos disponíveis, tanto acima quanto abaixo do solo, aumentando a eficiência contínua do sistema (Wang et al., 2020; Anchal; Sharma, 2025). Essa eficiência pode ainda ser atribuída à intensificação da absorção de nutrientes com o aumento das quantidades de *M. aegyptia* e *C. procera*. O aumento da oferta de nutrientes, a sincronia entre a decomposição, dada pela relação C:N, e a demanda nutricional das culturas (Bezerra Neto et al., 2024), possivelmente reduziram a competição e favoreceram o desenvolvimento das culturas, o que pode indicar efeito compensatório dos adubos verdes na dinâmica fisiológica das culturas consorciadas, mesmo sob condições de alta densidade populacional.

3.3 Indicadores econômicos

Houve interação significativa entre as quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) e as diferentes densidades populacionais das folhosas (D) para todos os indicadores avaliados. Esses resultados evidenciam que o ajuste simultâneo desses fatores é determinante para maximizar a rentabilidade do sistema (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores de F para a renda bruta (RB), renda líquida (RL), taxa de retorno (TR) e índice de lucratividade (IL) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

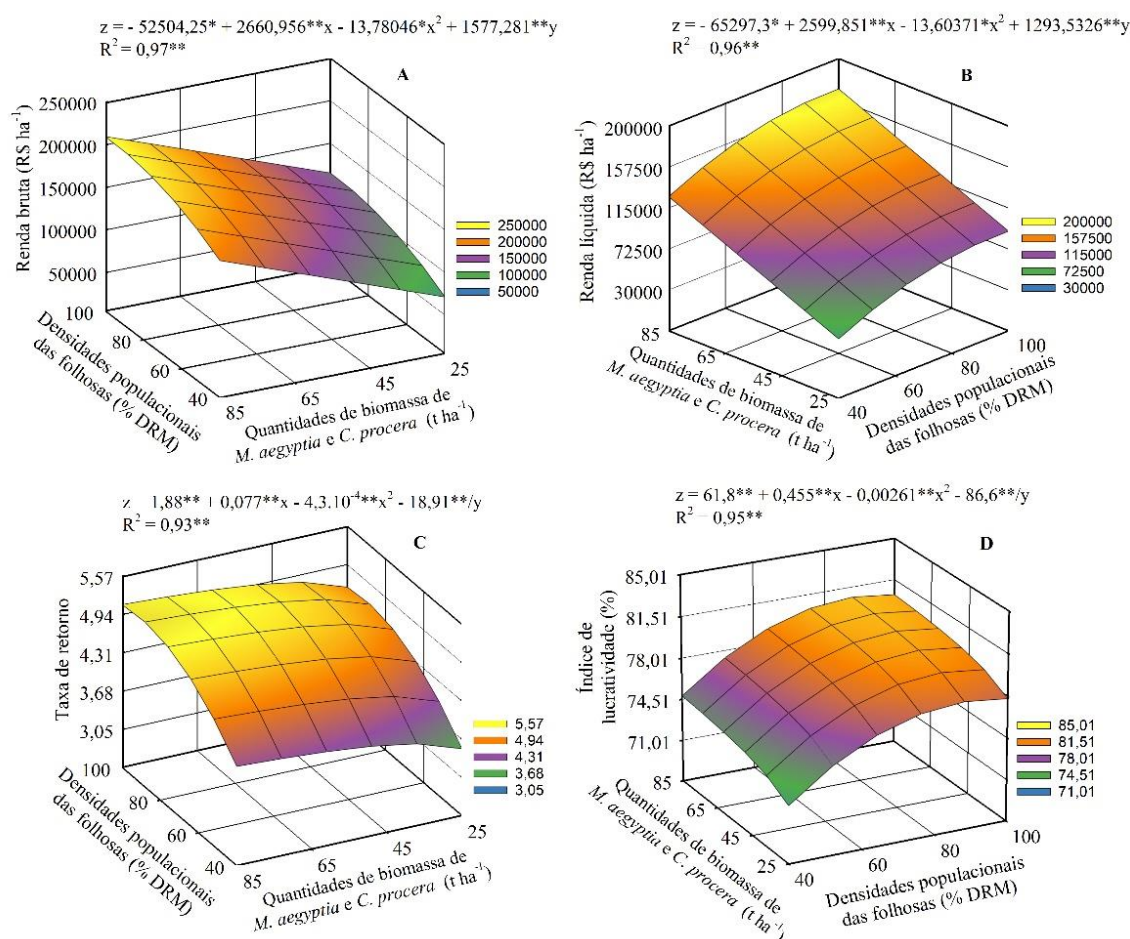
Fonte de variação	GL	RB	RL	TR	IL
Blocos	3	2,55 ^{ns}	2,55 ^{ns}	2,90 ^{ns}	3,11 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	3966,89 ^{**}	2668,10 ^{**}	157,26 ^{**}	151,50 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	953,70 ^{**}	868,22 ^{**}	658,51 ^{**}	882,75 ^{**}
Q x D	9	46,02 ^{**}	46,02 ^{**}	18,75 ^{**}	13,95 ^{**}
Superfície resposta					
Regressão		139,13 ^{**}	100,14 ^{**}	49,70 ^{**}	68,97 ^{**}
Erro		5911	5901	0,0239	0,4688
CV (%)		1,77	2,26	1,68	0,46

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$.

Uma superfície de resposta foi ajustada ($p < 0,05$; $R^2 > 0,93$) para todos os indicadores em função dos fatores-tratamento. A máxima eficiência alcançada foi de 209.855,64 e 168.600,97 R\$ ha⁻¹ para RB e RL, de R\$ 5,06 para cada real investido e 80,18% para a TR e IL, respectivamente, alcançadas com a aplicação de 85 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* combinada com 100% da densidade populacional recomendada para o monocultivo (Figura 8A-D).

Os resultados indicam que a eficiência biológica e produtiva observada no consórcio traduziu-se em ganhos econômicos expressivos, consequência do equilíbrio entre os fatores estudados, notadamente evidenciado pelo valor obtido na renda líquida. Este indicador é uma métrica representativa da eficiência global do sistema, pois expressa o ganho real obtido após a dedução dos custos de produção (Bezerra Neto et al., 2019), confirmando que a adoção do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão, além de ser biologicamente eficiente, mostra-se também economicamente viável e sustentável. Adicionalmente, a taxa de retorno e o índice de lucratividade reforçam a vantagem do consórcio, sendo estes indicadores dependentes dos custos produtivos e da sazonalidade dos preços de comercialização das hortaliças.

Figura 8 – Renda bruta (A), renda líquida (B), taxa de retorno (C) e índice de lucratividade (D) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Em pesquisa semelhante, Guerra et al. (2022) obtiveram altos retornos econômicos no consórcio de beterraba e alface em bicultivo, em que a aplicação de 65 t ha⁻¹ de biomassa dos

adubos verdes e 300 mil plantas de alface ha^{-1} resultou em uma RB e RL de 94.742,89 e 59.121,45 R\$ ha^{-1} , respectivamente, e TR de R\$ 2,75 para cada real investido. No consórcio de beterraba e rúcula, Lino et al. (2021b) observaram RB e RL de 85.827,79 e 65.425,01 R\$ ha^{-1} , respectivamente, TR de R\$ 4,24 para cada real investido e IL de 77,02%, combinando 65 t ha^{-1} de *M. aegyptia* e *C. procera* com 100% da DRM da rúcula.

Ao avaliar as vantagens do consórcio em termos de rendimento, lucro e impactos ambientais, é essencial considerar também os custos envolvidos na sua implementação (Weih; Mínguez; Tavoletti, 2022). Assim, os elevados valores observados na RB, RL, TR e IL demonstram que o uso dos adubos verdes com espécies espontâneas da Caatinga, disponíveis localmente, diminui a dependência de insumos externos e, consequentemente, os custos produtivos, assegurando retorno financeiro compatível com o capital investido. A prática favorece a inserção em mercados que valorizam produtos seguros e isentos de agroquímicos, os quais têm maior valor agregado e retorno econômico ao produtor (Silva et al., 2023). Além disso, o uso compartilhado de insumos para diferentes culturas diminui os custos em comparação à produção isolada de cada cultura (Weih; Mínguez; Tavoletti, 2022). O sistema implementado com cultura em sucessão amplia a diversidade funcional, reduzindo a vulnerabilidade da produtividade e da renda às mudanças ambientais e às flutuações do mercado (Martinez; Gathorne-Hardy; Smith, 2024).

4 CONCLUSÕES

1. O consórcio de beterraba com coentro e alface em sucessão, adubado com 85 t ha^{-1} de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* combinado com 100% da DRM das folhosas resultou em elevada eficiência biológica e produtiva ($\text{IEP} = 0,98$; vantagem do consórcio = 10) e desempenho superior ao monocultivo ($\text{RET} = 2,36$), com ganhos econômicos expressivos (R\$ 168.600,97 ha^{-1} de renda líquida; 80,18% de lucratividade), evidenciando seu potencial como modelo produtivo viável, eficiente e sustentável para o semiárido;

2. Os resultados são específicos às condições deste estudo, recomendando-se sua validação em outros ambientes e condições edafoclimáticas.

REFERÊNCIAS

- ANCHAL, A. K.; SHARMA, S. Intercropping a sustainable holistic approach for improving growth and productivity of crops. **International Journal of Research in Agronomy**, v. 8, n. 4, p. 133-139, 2025. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i4b.2757>. Disponível em: <https://www.agronomyjournals.com/archives/2025.v8.i4.B.2757>.
- AZEVEDO, I. B. S. et al. Agro-economic efficiency of immature cowpea–radish intercropping systems in semiarid environment. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. e01666, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01666>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/RfJHXh4qBPnhJywXwhpmhLk/?format=html&lang=en>.
- AZEVEDO, M. C. et al. Sustainability and agro-monetary return in beet-immature cowpea intercropping as a function of green manuring and population density. **SEMINA: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 2, p. 417-442, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n2p417>. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/50987>.
- BANIK, P. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) and legume intercropping under 1:1 and 2: 1 Row-replacement series system. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 176, n. 5, p. 289-294, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1996.tb00473.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-037X.1996.tb00473.x>
- BASTIAANS, L.; van der WERF, W. The impact of intercrop design on weed suppression of species mixtures: A model-based exploration. **European Journal of Agronomy**, v. 168, p. 127563, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127563>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030125000590>.
- BECK, H. E. et al. Data descriptor: present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1 km resolution. **Scientific Data**, v. 5, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>.
- BEZERRA NETO, F. et al. **Adubação verde em cultivos agroecológicos em ambiente semiárido**. Curitiba: Appris. 2024.
- BEZERRA NETO, F. et al. Agro-bioeconomic feasibility of immature cowpea and beet cultivar combinations in a semi-arid environment. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 1, p. 70-79, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n108rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/KbSgNSnQQDPJJ8RRgss6G8R/abstract/?format=html&lang=pt>.
- BEZERRA NETO, F. et al. Productive viability and profitability of carrot-cowpea intercropping using different amounts of *Calotropis procera*. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 62-71, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n107rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/dXjYvCsYZgqCQBYLVB5DdBH/?format=html&lang=en>.
- CECÍLIO FILHO, A. B. et al. Indices of bio-agroeconomic efficiency in intercropping systems of cucumber and lettuce in greenhouse. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n.

p. 1154-1164, 2015. Disponível em:
<https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.769173183488566>.

CECÍLIO FILHO, A. B. et al. Bio-agronomic efficiency indices of eggplant and to, mato intercropping. **Horticultura Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 181-189, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20220207>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/KSqmxTpwcFpDKX35hqBzBGz/abstract/?format=html&lang=pt>.

CEASA. Centrais Estaduais de Abastecimento do Rio Grande do Norte. **Cotações de preços, 2023 e 2024**. Disponível em: <https://transparencia.ceasa.rn.gov.br/cotacoes>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221778901388>.

FERREIRA, R. C. et al. Biomass use of *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera* in coriander cultivation in semiarid environment. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 595-605, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252025v35n310rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/7MTMTTPHgbhchnrVws9qbxvf/?format=html&lang=en>.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2012.

GEBRU, H. A. Review on the comparative advantages of intercropping to monocropping system. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 5, n. 9, p. 1-13, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/download/49391658/Hailu_6.pdf.

GITARI, H. I. et al. Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107957, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107957>.

GITHUI, F. et al. Compartilhamento de recursos em modelos de intercropping e um estudo de caso com a APSIM no sul da Austrália. **European Journal of Agronomy**, v. 142, p. 126680, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126680>.

GLAZE-CORCORAN, S. et al. Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 162, p. 199–256, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211320300304>.

GUERRA, N. M. et al. Productive and agro-economic benefits in beet-lettuce intercropping under organic manuring and population densities. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e10510413883-e10510413883, 2021a. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13883. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/13883>.

GUERRA, N. M. et al. Agro-economic viability of lettuce-beet intercropping under green manuring in the semiarid region. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p. 78-87, 2022b. DOI:

<https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20250111>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/hb/a/qYcj4vBcPQZ5H7PzSypLKvt/>.

HARUNA, S. I. et al. Cover crop effects on select soil physicochemical and biological properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 393, p. 109817, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880925003494>

LABIMC. Laboratório de Instrumentação Meteorologia e Climatologia. **Estações Meteorológica Automática (EMA)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), 2025. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/dados-emas>. Acesso em: 02 fev. 2025.

LI, C. et al. The productive performance of intercropping. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 120, p. e2201886120, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2201886120>. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2201886120>.

LIMA, J. S. et al. Agroeconomic evaluation of intercropping rocket and carrot by uni- and multivariate analyses in a semi-arid region of Brazil. **Ecological Indicators**, v. 41, p. 109-114, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.01.031>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X14000399?casa_token=5mnqeVg9CAYAAAAA:RuGz97b8_63mr-WVYL_eHTuVzmWHyu-IPYSr1WzrSRbX6jrucSn8HoQLsnPTPLOABsHYocdk23k.

LINO, F. K. K. S. et al. Maximizing agro-bioeconomic benefits in intercropped systems of radish and lettuce in the semi-arid environment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 121-131, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p121-131>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6bHdCfTPwxnMTKn3t3NCDTy/?format=html&lang=en>

LINO, V. A. S. et al. Beet arugula intercropping under green manuring and planting density induce agro-economic advantages. **Horticultura Brasileira**, v. 39, p. 432-443, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210413>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/4GwLrHfbQ77qN7DL6nxmZQp/abstract/?lang=pt>.

LINO, V. A. S. et al. Bio-economic return from the green fertilizing and plant population in strip-intercropping of beet and rocket. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e20910817112-e20910817112, 2021b. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17112. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/17112>.

MAITRA, S. et al. Intercropping – A low-input agricultural strategy for food and environmental security. **Agronomy**, v. 11, p. 343, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/2/343>.

MARTINEZ, D. A.; GATHORNE-HARDY, A.; SMITH, B. M. Impacts of polycultural cropping on crop yields and biodiversity: A systematic map protocol. **Ecological Solutions and Evidence**, v. 5, p. e12349, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12349>. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2688-8319.12349>.

MATA, D. A. et al. Fertilidade do solo no semiárido: características e desafios. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 9, p. e4278, 2024. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i9.4278>. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4278>.

MBANYELE, V. et al. A review of intercropping systems in Western Canada. **Agronomy Journal**, v. 116, p. 2089-2108, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.21622>. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.21622>.

MCGILCHRIST, C. A.; TRENBATH, B. R. A revised analysis of plant competition experiments. **Biometrics**, p. 659-671, 1971.

OLIVEIRA NETO, D. H. et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p.330-334, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/cXm7BGFJ4WnWHLnRJtNmhgs/?lang=pt>.

PAULA, F. S. et al. Production of fertilized lettuce with roostertree in different amounts and incorporation times. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 23, n. 5, p. 804-810, 2017. Disponível em: <https://agrojournal.org/23/05-17.pdf>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2023.

PINTO, C. M. et al. Produtividade e índices competição da mamona consorciada com gergelim, algodão, milho e feijão caupi. **Revista Verde**, v. 6, n. 2, p. 75-85, 2011. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7432904>.

SÁ, J. M. et al. Agro-economic efficiency in radish arugula intercropping as a function of green manuring and population density. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e5310514867, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14867>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14867>.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SAS INSTITUTE Inc. **SAS/IML® 14.1 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2015.

SILVA, G. A. et al. Agrobio-economic return in radish-coriander intercropping under green manuring and population densities. **SEMINA: Ciências Agrárias**, v. 45, p. 689-712, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2024v45n3p689>.

SILVA, J. P. P. et al. Agro-economic optimization of radish cultivation fertilized with quantidades of roostertree in a semi arid environment. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 4, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n408rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/vgFY66RQJJvcNnyhFX4JgD/abstract/?lang=pt>.

SILVA, J. N. et al. Sustainability of carrot–cowpea intercropping systems through optimization of green manuring and spatial arrangements. **Ciência Rural**, v. 51, e20190838,

2020. DOI: p. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190838>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/53RvLfwhKRpgZwLCKWSDJDd/abstract/?lang=pt&format=html>.

SYSTAT SOFTWARE Inc. **Table Curve 3D** Academic Edition. San Jose, CA, 2021.

TAIZ, L. et al. **Plant physiology and development**. 7. ed. New York: Oxford University Press. 2024.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.

VANDERMEER, J. H. **The ecology of intercropping**. Cambridge: University Press. 1989.

WANG, Q. et al. Does reduced intraspecific competition of the dominant species in intercrops allow for a higher population density? **Food and Energy Security**, v. 10, p. 285-298, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.270>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.270>.

WEIH, M.; MÍNGUEZ, M. I.; TAVOLETTI, S. Intercropping systems for sustainable agriculture. **Agriculture**, v. 12, n. 2, p. 291, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020291>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/291>.

WILLEY, R. W.; OSIRU, D. S. Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. **Journal of Agricultural Science**, v. 70, n. 2, p. 517-529, 1972. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600025909>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/studies-on-mixtures-of-maize-and-beans-phaseolus-vulgaris-with-particular-reference-to-plant-population/83FAB8C4DDBD837A203A6B6363B0292A>.

XING, Y.; WANG, X.; MUSTAFA, A. Exploring the link between soil health and crop productivity. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 289, p. 117703, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651325000399>

YU, R. P. et al. Intercropping: ecosystem functioning and sustainable agriculture. **Plant and Soil**, v. 506, p. 1-6, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07111-w>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-024-07111-w>.

ZHANG, D. et al. Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. **Field Crops Research**, v. 257, p. 107926, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107926>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429020312107?casa_token=ddrjKa_V0m0AAAAA:Xtvv5l50q7xwghutCR6wEBw6UyMcLoXOwWWKB4sWYORjoLgpcMYPVfV_BilZW5rjhS81Z3NDcYI.

CAPÍTULO III - QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS EM CONSÓRCIO SUCESSIVO NO SEMIÁRIDO SOB MANEJO DA ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL

RESUMO

No semiárido, o cultivo consorciado de hortaliças tem sido adotado para otimizar o uso dos recursos, mas ainda são limitadas as avaliações dos efeitos do manejo pré-colheita sobre a qualidade pós-colheita das hortaliças. Este estudo investigou como o manejo pré-colheita, com adubação verde com *Merremia aegyptia* e *Calotropis procera* e diferentes densidades populacionais, influencia a qualidade pós-colheita da beterraba, coentro e alface em sistema consorciado sucessivo no semiárido, buscando identificar as condições ideais para otimização dos fatores (densidades e quantidades dos adubos). Dois experimentos de campo foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (25, 45, 65 e 85 t ha⁻¹) e de densidades populacionais de culturas folhosas (40, 60, 80 e 100% da densidade recomendada em monocultivo – DRM). Foram avaliados os atributos de qualidade físico-química e parâmetros de cor da raiz tuberosa de beterraba e das folhas de coentro e alface, incluindo pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais, betacianina (na beterraba) e coordenadas de cor (L*, a* e b*). Na cultura da beterraba, a utilização de 44,79 t ha⁻¹ dos adubos verdes e 62,82 % da DRM elevou a relação SS/AT a 77,70. Enquanto maiores quantidades dos adubos (66 - 72 t ha⁻¹) combinadas com 100% da DRM elevaram a produção de betacianina e intensificaram a coloração vermelho-roxo. No coentro, a maior relação SS/AT (28,39) ocorreu com 69,30 t ha⁻¹ dos adubos e 40% da DRM, enquanto 25 t ha⁻¹ dos adubos com 40% da DRM resultou em folhas verde-escuras. Na alface, a utilização de 63,00 t ha⁻¹ dos adubos e 40 % da DRM, proporcionou a máxima relação SS/AT de 20,07 e menores quantidades dos adubos (25 t ha⁻¹) mantiveram as folhas de alface verde-clara, típica da cultivar. O uso estratégico dos adubos verdes e o ajuste da densidade populacional minimizam a competição, preservando sabor e aparência das hortaliças em sistema consorciado.

Palavras-chave: Fatores pré-colheita; qualidade sensorial e visual; *Beta vulgaris*; *Coriandrum sativum*; *Lactuca sativa*.

CHAPTER III - POST-HARVEST QUALITY OF VEGETABLES IN SUCCESSIVE INTERCROPPING IN THE SEMI-ARID REGION UNDER GREEN MANURE MANAGEMENT AND POPULATION DENSITY

ABSTRACT

In semi-arid regions, crop rotation has been adopted to optimize resource use, but assessments of the effects of pre-harvest management on the post-harvest quality of vegetables are still limited. This study investigated how pre-harvest management, with green manuring with *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera* at different population densities, influences the post-harvest quality of beet, coriander and lettuce in a sequential intercropping system in the semiarid region, seeking to identify the ideal conditions for optimizing the factors (fertilizer densities and quantities). Two field experiments were conducted in a randomized block design in a 4×4 factorial scheme, with four replications. The treatments tested consisted of the combination of biomass amounts of *M. aegyptia* and *C. procera*: 25, 45, 65, and 85 t ha⁻¹, and the planting densities of leafy vegetables: 40, 60, 80, and 100% of the recommended density in monoculture - RDM. The physicochemical quality attributes and color parameters of beetroot tuberous roots and coriander and lettuce leaves were evaluated, including pH, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), SS/TA ratio, total soluble sugars, betacyanin (in beetroot) and color coordinates (L*, a* and b*). In beet, the use of 44.79 t ha⁻¹ of green manures and 62.82% RDM increased the SS/TA ratio to 77.70. While larger amounts of fertilizers (66 - 72 t ha⁻¹) combined with 100% RDM increased betacyanin production and intensified the red-purple color. In coriander, the highest SS/TA ratio (28.39) occurred with 69.30 t ha⁻¹ of manures and 40% RDM, while 25 t ha⁻¹ of fertilizers with 40% RDM resulted in dark green leaves. For lettuce, the use of 63.00 t ha⁻¹ of manures and 40% of RDM resulted in a maximum SS/TA ratio of 20.07, while smaller amounts of fertilizer (25 t ha⁻¹) maintained the light green lettuce leaves, typical of the cultivar. The strategic use of green manures and adjustment of population density minimizes competition, preserving the flavor and appearance of vegetables in intercropping systems.

Keywords: Pre-harvest factors; sensory and visual quality; *Beta vulgaris*; *Coriandrum sativum*; *Lactuca sativa*.

1 INTRODUÇÃO

Entre as hortaliças que se destacam em sistema consorciado, estão a beterraba (*Beta vulgaris* L.), o coentro (*Coriandrum sativum* L.) e a alface (*Lactuca sativa* L.), amplamente apreciadas pelos consumidores pela sua versatilidade de uso e elevadas qualidades nutricionais, bioativas e antioxidantes que trazem benefícios à saúde (Shoko et al., 2022; Gantait et al., 2022; Thiruvengadam et al., 2024). A aceitabilidade de hortaliças pelo consumidor é também condicionada pela experiência sensorial, intrinsecamente relacionada aos parâmetros físico-químicos (Palumbo et al., 2022), como a aparência, o aroma, a textura, o sabor e a segurança alimentar, que expressam a qualidade pós-colheita (Adhikari et al., 2021; Franco et al., 2021; Adewoyin et al., 2023).

Contudo, a qualidade pós-colheita dos produtos hortícolas é fortemente condicionada por fatores pré-colheita, como o tipo de manejo adotado (Thokar et al., 2022; Ahmed et al., 2024). Em sistemas consorciados, esses efeitos tornam-se mais evidentes, visto que as interações intra e interespecíficas entre as culturas regulam o grau de competição, complementaridade e facilitação, afetando a qualidade final do produto (Bourke et al., 2021; Guerra et al., 2022). Nesse cenário, a diversidade de espécies e as dinâmicas das interações constituem alguns dos principais desafios, pois podem comprometer a uniformidade e a qualidade pós-colheita, exigindo estratégias de manejo mais específicas.

Entre elas, destacam-se a densidade populacional e a disponibilidade de nutrientes, determinantes na modulação das interações e alterações no desenvolvimento fisiológico e metabólico do vegetal, que impactam diretamente nas características organolépticas das hortícolas (Franco; Delgado, 2022; Thokar et al., 2022; Adewoyin et al., 2023). A densidade de plantas é um fator crucial que regula a competição por recursos essenciais (luz, água e nutrientes), influenciando diretamente a partição de biomassa e a alocação de fotoassimilados e, portanto, a qualidade final do produto (Zhang et al., 2020; Thokar et al., 2022; Li et al., 2024). A competição ocorre quando a demanda por um recurso essencial excede sua disponibilidade, assim, a densidade ideal deve ser equilibrada para garantir alta produtividade e qualidade (Haque; Sakimin, 2022).

O manejo inadequado pode comprometer a eficiência produtiva, tornando as hortícolas suscetíveis a distúrbios fisiológicos (Bourke et al., 2021; Thokar et al., 2022). Em contrapartida, o fornecimento equilibrado de nutrientes pode mitigar os efeitos das interações ao regular o metabolismo vegetal (Jia; Giehl; von Wirén, 2022). Nesse contexto, as práticas de adubação orgânica, sobretudo com adubos verdes, destacam-se por sua eficácia na melhoria da qualidade

do solo, favorecendo o crescimento vegetal e, conseqüentemente, a qualidade das plantas (Moura et al., 2021; Thokar et al., 2022). Estudos indicam que adubos verdes provenientes de espécies nativas da Caatinga, como a *Merremia aegyptia* (jitirana) e a *Calotropis procera* (flor-de-seda), melhoram a qualidade pós-colheita de hortaliças cultivadas em ambiente semiárido. A utilização da mistura desses adubos otimizou parâmetros como o teor de sólidos solúveis (3,71 °Brix), vitamina C (69,19 mg 100g⁻¹) e clorofila total (0,84 mg g⁻¹) na cultura do coentro (Ferreira et al., 2024). Em trabalho anterior, verificou-se maior relação SS/AT (41,52), teor de vitamina C (67,67 mg 100g⁻¹), açúcares solúveis totais (1,57%) e antocianinas totais (12,10 mg 100g⁻¹) na cultura do rabanete ao utilizar, respectivamente, 44,29; 45,85; 25,27 e 35,79 t ha⁻¹ de *C. procera* (Silva et al., 2023).

Estudos sobre a influência desses adubos verdes associados a diferentes densidades populacionais em sistemas consorciados têm se concentrado, em grande parte, no rendimento agroeconômico das culturas, enquanto seus efeitos sobre a qualidade pós-colheita das hortaliças permanecem pouco investigados. Os impactos dessas práticas em diferentes arranjos consorciados e em cultivos sucessivos carecem de maior aprofundamento científico, visto que variam de acordo com as espécies componentes do sistema e o atributo avaliado (Guerra et al., 2022; Lino et al., 2023).

A elucidação dessas interações pode subsidiar manejos adaptativos que promovam a segurança alimentar, conciliando produtividade, sustentabilidade e qualidade pós-colheita, especialmente em condições adversas, como as do semiárido. Diante disso, este estudo objetivou investigar como o manejo pré-colheita, com adubação verde com *M. aegyptia* e *C. procera* combinado com diferentes densidades populacionais, influencia a qualidade pós-colheita da beterraba, coentro e alface em sistema consorciado sucessivo no semiárido, buscando identificar as condições ideais para otimização dos fatores.

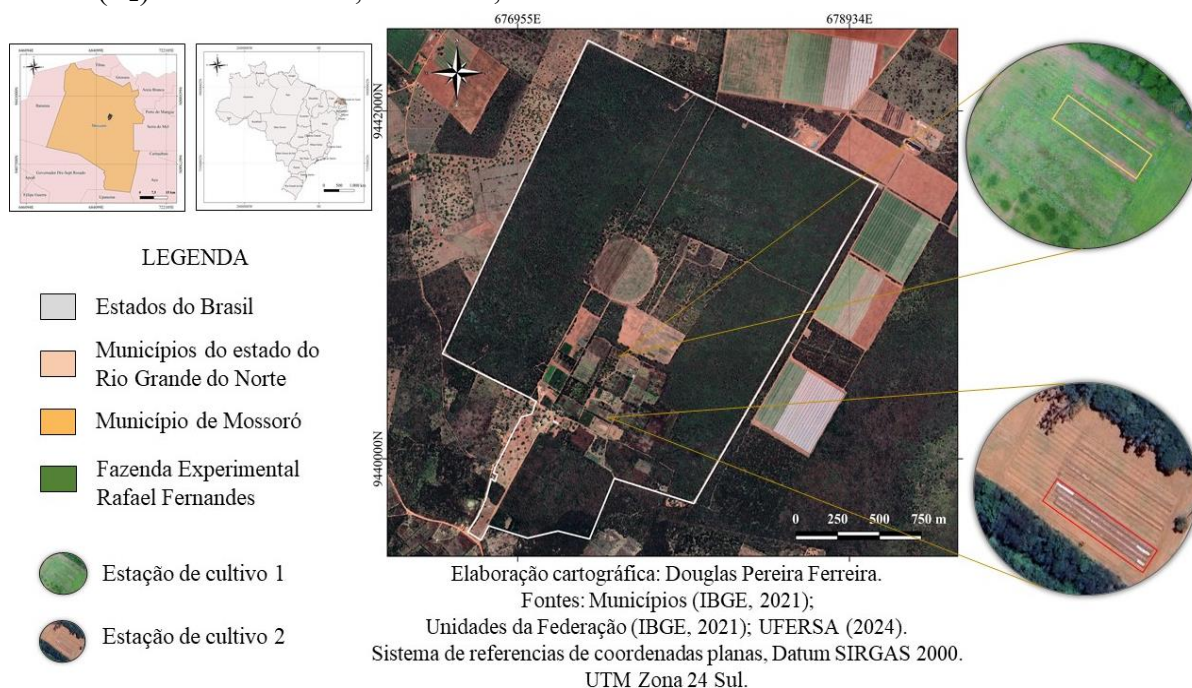
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Dois experimentos de campo foram conduzidos em diferentes períodos, determinados de acordo com as condições climáticas locais, de forma a favorecer o desenvolvimento das hortaliças e minimizar a incidência de pragas e doenças, sendo de agosto a dezembro de 2023 (C₁ – Período de cultivo 1) e de julho a novembro de 2024 (C₂ – Período de cultivo 2). Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, vinculada à

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), distante a 20 km da sede do município de Mossoró, RN (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização das áreas experimentais dos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

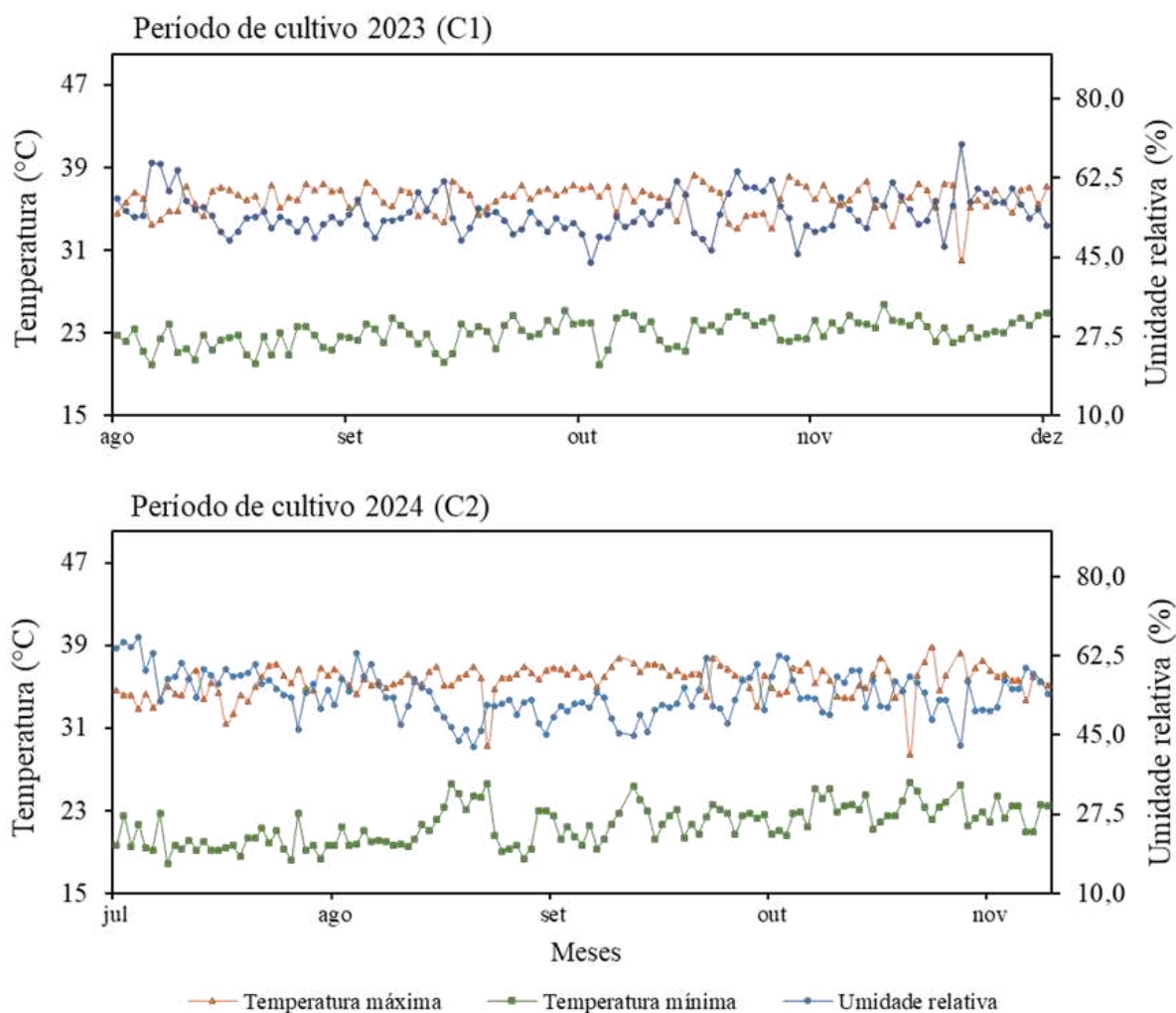


O clima local é do tipo BSh' (Köppen-Geiger), caracterizado como seco e muito quente, com estação seca de junho a janeiro e chuvosa de fevereiro a maio (Beck et al., 2018). Durante os períodos experimentais a temperatura média foi de 29,2 e 28,6 °C, umidade relativa do ar de 54,7 e 54,1%, radiação solar de 19,8 MJ e 18,7 m⁻² e velocidade do vento de 5,9 e 5,4 m s⁻¹, respectivamente, para C₁ e C₂, sem ocorrência de precipitação em ambos (LABIMC, 2025). A temperatura mínima e máxima e a umidade relativa do ar diária nos períodos estudados são apresentadas na Figura 2.

As áreas experimentais apresentam solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, caracterizado por textura arenosa (Santos et al., 2018). Antes do início dos experimentos, procedeu-se à análise química do solo na camada de 0-20 cm, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (Teixeira et al., 2017), cujo os resultados foram: potencial hidrogeniônico (H₂O) = 5,80 e 6,20; capacidade de troca catiônica (mmol_c dm⁻³) = 27,9 e 58,10; saturação por base (mmol_c dm⁻³) = 14,4 e 38,40; matéria orgânica (g dm⁻³) = 13,25 e 14,70; fósforo (mg dm⁻³) = 6,00 e 27,00; potássio (mmol_c dm⁻³) = 1,77 e 3,28; cálcio (mmol_c dm⁻³) = 8,40 e 19,30; magnésio (mmol_c dm⁻³) = 2,70 e 13,70; sódio (mmol_c dm⁻³) = 1,49 e 2,09; cobre

(mg dm⁻³) = 0,20 e 4,09; ferro (mg dm⁻³) 4,90 = 18,70 e 4,90; manganês (mg dm⁻³) = 4,90 e 11,31 mg dm⁻³; zinco (mg dm⁻³) = 0,60 e 5,51 mg dm⁻³, para o período de C₁ e C₂, respectivamente.

Figura 2 – Médias diárias de temperatura mínima, máxima e de umidade relativa do ar, nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

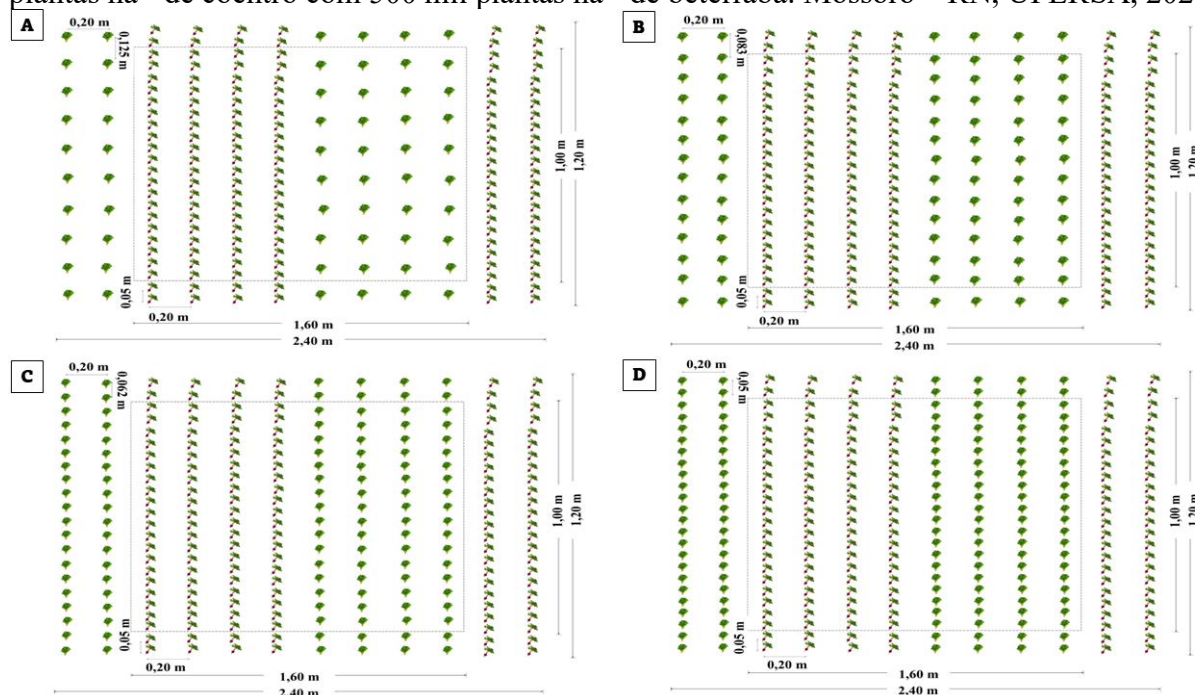
2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Dois experimentos foram conduzidos em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 × 4, com quatro repetições. Os fatores constituíram-se de quatro quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* de 25, 45, 65 e 85 t ha⁻¹ em base seca e quatro níveis de densidades populacionais das folhosas de 40, 60, 80 e 100% da densidade populacional recomendada para o monocultivo (DRM). A alface foi cultivada em sucessão ao coentro, nas mesmas densidades populacionais.

A beterraba foi estabelecida com 100% da DRM em ambos os sistemas de cultivo (consorciado e monocultivo). As densidades recomendadas na região para monocultivo são de 500, 1.000 e 250 mil plantas ha^{-1} , para a beterraba, coentro e alface, respectivamente (Paula et al., 2017; Lino et al., 2021; Ferreira et al., 2022). Para o cultivo do coentro em sistema consorciado, foram utilizadas duas plantas por cova. Em cada bloco, foram plantadas parcelas em monocultivo de beterraba, coentro e alface (em sucessão), sendo as culturas da beterraba e coentro adubadas com quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procer*a otimizadas pelas pesquisas de Lino et al. (2021) e Ferreira et al. (2022), respectivamente.

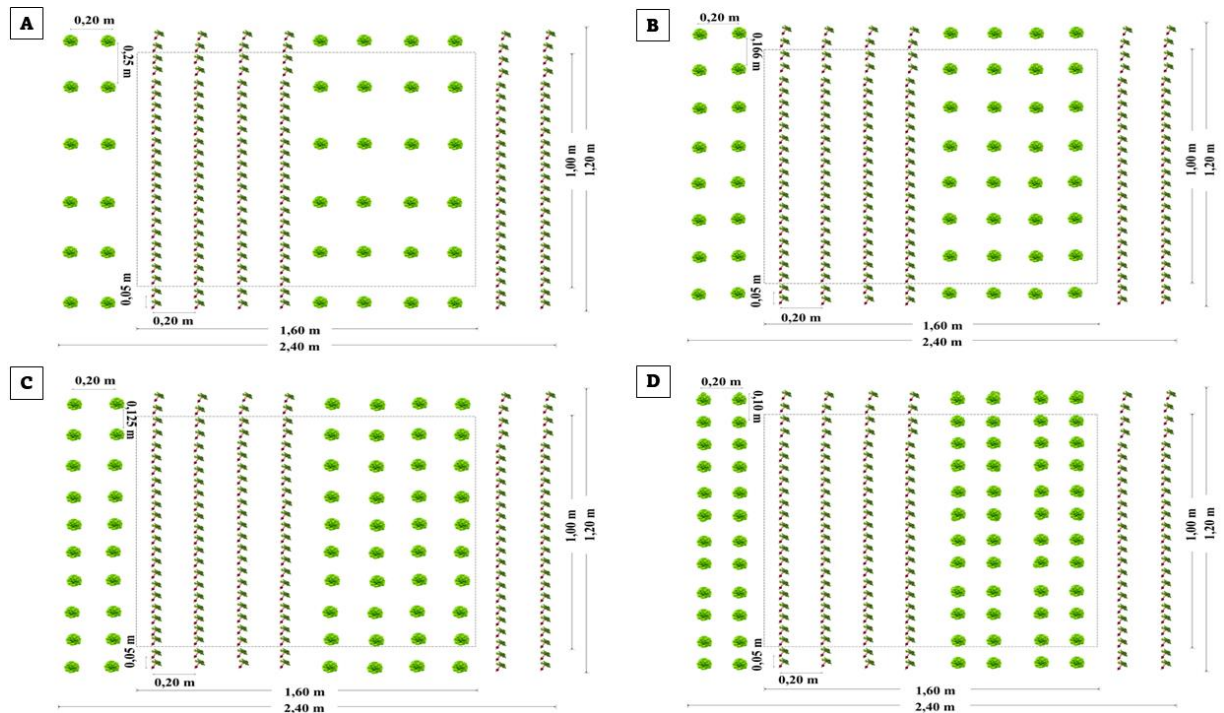
O sistema consorciado foi estabelecido em arranjo de faixas alternadas, ocupando 50% da área com beterraba e 50% com as folhosas. Cada parcela foi composta por faixas com quatro fileiras centrais, delimitadas lateralmente por duas fileiras de coentro ou alface de um lado e duas fileiras de beterraba do outro, destinadas à bordadura (Figuras 3A-D e 4A-D). A área total de cada parcela foi de 2,88 m^2 (2,40 x 1,20 m), com uma área útil de 1,60 m^2 (1,60 x 1,00 m). A área útil foi constituída pelas duas faixas centrais de plantas, excluindo-se as primeiras e as últimas plantas de cada fileira das faixas usadas como bordaduras.

Figura 3 – Representação das parcelas em sistema consorciado de beterraba (500 mil plantas ha^{-1}) com coentro nas densidades populacionais de 400 (A), 600 (B), 800 (C) e 1000 (D) mil plantas ha^{-1} de coentro com 500 mil plantas ha^{-1} de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Coentro.

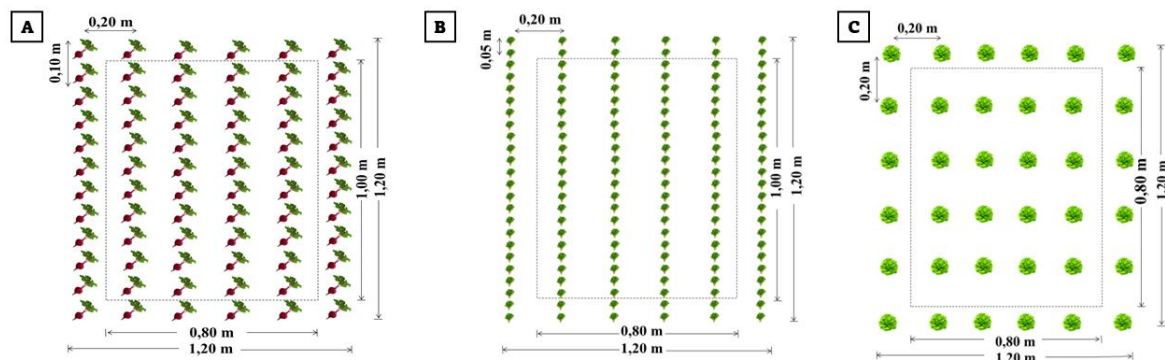
Figura 4 – Representação das parcelas em sistema consorciado de beterraba (500 mil plantas ha^{-1}) com alface nas densidades populacionais de 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 (D) mil plantas ha^{-1} de alface com 500 mil plantas ha^{-1} de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Alface.

No monocultivo das hortaliças a área total foi de $1,44 \text{ m}^2$ ($1,20 \times 1,20 \text{ m}$) e uma área útil de $0,80 \text{ m}^2$ ($0,80 \times 1,00 \text{ m}$) para a beterraba e coentro cada e de $0,60 \text{ m}^2$ ($0,80 \times 0,80 \text{ m}$) para a alface (Figura 5A-D). Os espaçamentos usados no sistema consorciado e monocultivo das culturas estão apresentados na Tabela 1.

Figura 5 – Representação das parcelas em monocultivo de beterraba (A), coentro (B) e alface (C) nas densidades de 500, 1.000 e 250 mil plantas por hectare, respectivamente. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Coentro; Alface.

Tabela 1 – Descrição das densidades populacionais da beterraba, coentro e alface utilizados em sistema consorciado e em monocultivo, com seus respectivos percentuais das densidades populacionais e espaçamentos. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidades populacionais das culturas em cultivo consorciado					
População (mil plantas ha ⁻¹)			Espaçamento (m)		
Beterraba	Coentro	Alface	Beterraba	Coentro*	Alface
500	400 (40%)	100 (40%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,120	0,20 x 0,250
500	600 (60%)	150 (60%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,085	0,20 x 0,166
500	800 (80%)	200 (80%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,062	0,20 x 0,125
500	1.000 (100%)	250 (100%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,050	0,20 x 0,100
Densidades populacionais das culturas em monocultivo					
População (mil plantas ha ⁻¹)		Espaçamento (m)			
		Beterraba	Coentro	Alface	
Beterraba	500	0,20 x 0,10			
Coentro	1.000		0,20 x 0,05		
Alface	250			0,20 x 0,20	

Fonte: Elaborado pela autora (2026). * duas plantas de coentro por cova.

2.3 Instalação e condução dos experimentos

A preparação do solo consistiu na limpeza mecânica da área com auxílio de arado, seguida de gradagem e levantamento dos canteiros com enxada rotativa encanteiradora. Os canteiros foram solarizados em pré-plantio por 30 dias com plástico transparente (Vulca Brilho Bril Flex de 30 µm), visando à redução da população de microrganismos fitopatogênicos no solo e de plantas daninhas. Posteriormente, procedeu-se à incorporação da biomassa seca da *M. aegyptia* e da *C. procera* na camada de 0-20 cm do solo, com auxílio de enxadas.

Esses adubos foram coletados nas áreas rurais e urbanas do município de Mossoró – RN e encaminhados para a Horta Didática da UFERSA, onde foram triturados em máquina forrageira convencional, obtendo-se partículas fragmentadas de tamanho de 2,0 a 3,0 cm que foram desidratadas ao sol por um período de sete dias, até atingir um teor de umidade de 10%, com duração variável conforme as condições climáticas e da espessura da camada do material exposto ao sol. Durante o período de exposição solar, realizou-se o revolvimento duas vezes ao dia, a fim de promover secagem uniforme.

Foram realizadas análises químicas da biomassa dos adubos e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise química de macro e micronutrientes na biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* incorporadas ao solo nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Aduos verdes	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B	C:N
	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----					
Período de cultivo 2023 (C ₁)											
<i>M. aegyptia</i>	18,98	3,01	37,40	18,55	4,97	438	27,00	6,00	19,00	44,00	20:1
<i>C. procera</i>	15,91	1,22	32,70	10,64	6,41	87	24,00	10,00	77,00	37,00	16:1
Período de cultivo 2024 (C ₂)											
<i>M. aegyptia</i>	20,02	3,70	33,62	13,20	3,65	384	21,02	7,76	23,90	25,66	19:1
<i>C. procera</i>	23,10	2,80	37,62	9,71	7,99	195	21,78	7,58	38,98	34,88	15:1

*N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Fe: ferro; Zn: zinco; Cu: cobre; Mn: manganês; B: boro; relação Carbono: Nitrogênio.

Aos 15 dias após a incorporação dos adubos verdes foi realizada a semeadura das hortaliças (beterraba e coentro). A cultivar de beterraba Early Wonder e de coentro Verdão foram semeadas no dia 29 de setembro de 2023 (C₁) e 05 de setembro de 2024 (C₂), em covas de aproximadamente 3 cm de profundidade, com três sementes por cova. O desbaste da beterraba e do coentro foi realizado aos 12 e 19 dias após a semeadura (DAS) no C₁ e aos 14 e 20 DAS no C₂, respectivamente, deixando-se uma planta por cova para a cultura da beterraba e duas plantas por cova para a cultura do coentro. Três dias após a colheita do coentro, a área ocupada pela folhosa foi limpa, retirando todos os resíduos de coentro, e as mudas de alface cultivar Jade, produzidas pela empresa HortVida Agrícola ME, foram transplantadas. O transplante ocorreu no dia 09 de novembro de 2023 (C₁) e 10 de outubro de 2024 (C₂) aos 22 DAS, em covas de 5,0 cm de profundidade.

A irrigação foi realizada por meio de sistema de microaspersão, com dois turnos diários (manhã e tarde), ajustados conforme a necessidade hídrica da cultura principal (beterraba, Kc médio de 0,83), aplicando-se uma lâmina de água aproximada de 8 mm dia⁻¹ (Oliveira Neto et al., 2011). Como tratamentos culturais, na cultura da beterraba foi realizada a amontoa aos 35 DAS, sendo repetida sempre que necessário, a fim de proteger as raízes prevenindo rachaduras. Para o controle de doenças, a cultura da beterraba foi tratada com Trichodermil Super SC[®], registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para uso em sistemas orgânicos, para combater fungos fitopatogênicos dos gêneros *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., identificados por ocasião do desbaste da tuberosa. Nas culturas folhosas, não foi necessário realizar nenhum tratamento fitossanitário. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capinas manuais, sempre que necessário.

A colheita da beterraba foi realizada aos 58 e 60 DAS, a do coentro aos 35 DAS e 28 DAS e a da alface aos 29 e 35 dias após o transplântio, no primeiro (C₁) e segundo (C₂) período de cultivo, respectivamente.

2.4 Características avaliadas

Uma amostra de cinco plantas de beterraba, 20 plantas de coentro e três plantas de alface foram colhidas, aleatoriamente, na área útil de cada parcela para as análises de qualidade pós-colheita. As amostras foram levadas ao Laboratório de Pós-Colheita do Centro de Produção Vegetal do Semi-Árido (CPVSA) da UFERSA, onde passaram por lavagem em água corrente e foram deixadas para secagem. Esse material foi triturado separadamente em um Processador Extrator de Sucos Juiceman 3 em 1 (modelo JM3000), até a obtenção de 50 mL de suco puro que, posteriormente, foi fracionado em alíquotas para as diferentes análises, que foram realizadas em duplicata.

O pH foi determinado com medidor de bancada (modelo PH-5000, Instrutherm, São Paulo, Brasil). O teor de sólidos solúveis (SS) foi obtido em refratômetro digital portátil (modelo DRB0-45nD, Azzota, China.), com resultados expressos em °Brix. A acidez titulável (AT) foi determinada por titulação de 1 mL de suco diluído em 49 mL de água destilada, utilizando fenolftaleína a 1% como indicador e solução de NaOH (0,1 N) previamente padronizada. Os resultados foram expressos em % de ácido málico, calculado a partir da equação (1). A partir desses valores, calculou-se a razão SS/AT (AOAC, 2012; IAL, 2008).

$$AT (\% \text{ de ácido málico}) = \left(\frac{10 \times \text{Fator do ácido} \times \text{Fator do NaOH} \times \text{NaOH gasto (mL)}}{\text{peso da amostra (g)}} \right) \quad (1)$$

A concentração de açúcares solúveis totais (AST) foi quantificada pelo método da antrona (Yemn; Willis, 1954). Utilizou-se uma alíquota de 1 mL do suco de cada cultura, que foi diluída em 99 mL de água destilada. A partir dessa solução, foram transferidos volumes específicos para tubos de ensaio, conforme a cultura analisada: 50 µL para a beterraba, 100 µL para o coentro e 400 µL para a alface. Em seguida, adicionaram-se volumes complementares de água destilada para totalizar 1 mL em cada tubo. Posteriormente, em cada tubo adicionaram-se 2 mL da solução de antrona (solução de antrona C₄H₁₀₀ + ácido sulfúrico H₂SO₄), e os tubos foram submetidos a banho-maria em ebulição (100 °C) por oito minutos, seguidos de resfriamento em água gelada. A curva padrão foi elaborada com solução de glicose nas concentrações de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 µg L⁻¹. As leituras foram feitas utilizando um

espectrofotômetro (modelo SPECTRO S-2000, Bel Engineering, Monza, Itália) a 620 nm e os resultados foram calculados pelas equações (2), (3) e (4).

$$\text{Concentração} = \frac{\text{Absorbância} \mp b}{a}, \text{ em que } a \text{ e } b \text{ se referem à curva} \quad (2)$$

$$\text{Massa do material} = \left(\frac{\text{Peso da amostra (g)} * \text{alíquota } (\mu\text{g})}{\text{diluição (mL)}} \right) \quad (3)$$

$$\text{AST \%} = \left(\frac{\text{Concentração} * 100}{\text{massa do material } (\mu\text{g})} \right) \quad (4)$$

Além desses parâmetros, na cultura da beterraba foram realizadas a extração e quantificação de betacianina pelo método convencional de extração aquosa. Para isso, 1 mL do suco da beterraba foi diluído em 99 mL de água destilada e filtrado em papel Whatman nº 1. O filtrado foi utilizado para leitura da absorbância em espectrofotômetro (modelo SPECTRO S-2000, Bel Engineering, Monza, Itália) a 536 nm. A concentração de betacianina foi calculada pela Lei de Beer-Lambert modificada (Tang e Norziah, 2007), utilizando a equação (5):

$$Bc \text{ (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{A \times PM \times 1000}{\varepsilon \times l} \quad (5)$$

em que:

Bc é a concentração equivalente de betacianina (mg g^{-1});

A é a absorbância obtida em $\lambda = 536 \text{ nm}$;

PM é o peso molecular da betacianina (550 g mol^{-1});

ε é o coeficiente de extinção molar da betacianina ($60.000 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$);

l é a largura da cubeta (1 cm);

1000 é o fator de conversão.

A determinação dos parâmetros de cor das culturas foi realizada previamente à trituração utilizada para a obtenção do suco destinado às análises físico-químicas. As leituras foram realizadas com colorímetro (modelo CR-410, Konica Minolta, Osaka, Japão), calibrado em superfície de porcelana branca. Na beterraba, a medição foi mensurada na parte interna da raiz, após cortes longitudinais com faca de aço inoxidável. O coentro e a alface tiveram as folhas dispostas sobre o vidro óptico, evitando espaços vazios para assegurar uniformidade na medição da cor. As leituras foram expressas no módulo de coordenadas L^* , a^* e b^* , que descrevem a uniformidade da cor no espaço tridimensional. A identificação da posição no círculo cromático

foi feita convertendo-se os valores de a^* e b^* em índices de tonalidade h° (Ângulo hue) e saturação C^* (Croma), conforme as equações 6 e 7 (MCGUIRE, 1992), para melhor visualização da cor:

$$h^\circ = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (6)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (7)$$

2.5 Análises estatísticas

A análise de variância univariada, em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial, foi realizada para avaliar os parâmetros de qualidade pós-colheita. Realizou-se uma análise conjunta entre os períodos de cultivo, devido à homogeneidade das variâncias (quociente do quadrado médio residual < 7), foi calculada uma média entre elas para cada tratamento (Pimentel-Gomes, 2023). Posteriormente, foi realizado um procedimento de ajustamento de curva de regressão por superfície de resposta, através do *software* Table Curve 3D versão 4.0 (Systat Software, 2021), para estimar o comportamento de cada variável em função de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas.

A escolha dos modelos foi feita considerando os seguintes critérios: lógica biológica da variável, a significância do quadrado médio do resíduo da regressão; o alto valor do coeficiente de determinação; e a significância dos parâmetros da equação de regressão. O teste F foi utilizado para comparar os valores médios entre os sistemas de cultivo na análise de cada cultura. Todos os dados foram analisados utilizando o *software* SAS versão 9.0 (SAS, 2015). A correlação de Pearson foi empregada para avaliar a relação entre os parâmetros analisados, em que os coeficientes de correlação foram classificados como: muito fraco (0 - 0,19); fraco (0,20 - 0,39); moderado (0,40 - 0,79); forte (0,80 - 0,89) e muito forte (0,90 - 1,00), conforme metodologia adotada por Oliveira et al. (2025).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade pós-colheita da beterraba

As quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) e densidades populacionais (D) exerceram efeito significativo em todos os parâmetros de qualidade avaliados (pH, SS, AT, SS/AT, AST), não sendo observada interação significativa entre os fatores (Q x D) para

nenhuma variável (Tabela 3). A ausência de sobreposição dos efeitos sugere a possibilidade de ajustar cada fator de maneira isolada, sem comprometer os atributos de qualidade.

Tabela 3 – Valores de F e médias para pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT e açúcares solúveis totais (AST) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Fonte de variação	GL	pH	SS	AT	Relação SS/AT	AST
Blocos	3	0,15 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,99 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	26,64 ^{**}	28,61 ^{**}	11,27 ^{**}	33,22 ^{**}	22,24 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	3,17 [*]	49,75 ^{**}	21,52 ^{**}	27,04 ^{**}	21,92 ^{**}
Q x D	9	0,46 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,90 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	20,20 ^{**}	16,58 ^{**}	11,97 ^{**}	0,08 ^{ns}	5,16 [*]
Superfície resposta						
Regressão		40,89 ^{**}	18,04 ^{**}	22,03 ^{**}	12,30 ^{**}	20,05 ^{**}
Erro		0,0002	0,0749	1,01.10 ⁻⁵	8,8527	0,0221
Sistemas de cultivo		pH	SS (°Brix)	AT (%)	Relação SS/AT	AST (%)
Consorciado		6,11a [†]	10,23a	0,147a	70,12a	8,98a
Monocultivo		6,01b	9,56b	0,138b	69,63a	8,71b
CV (%)		0,72	3,11	3,55	4,71	2,61

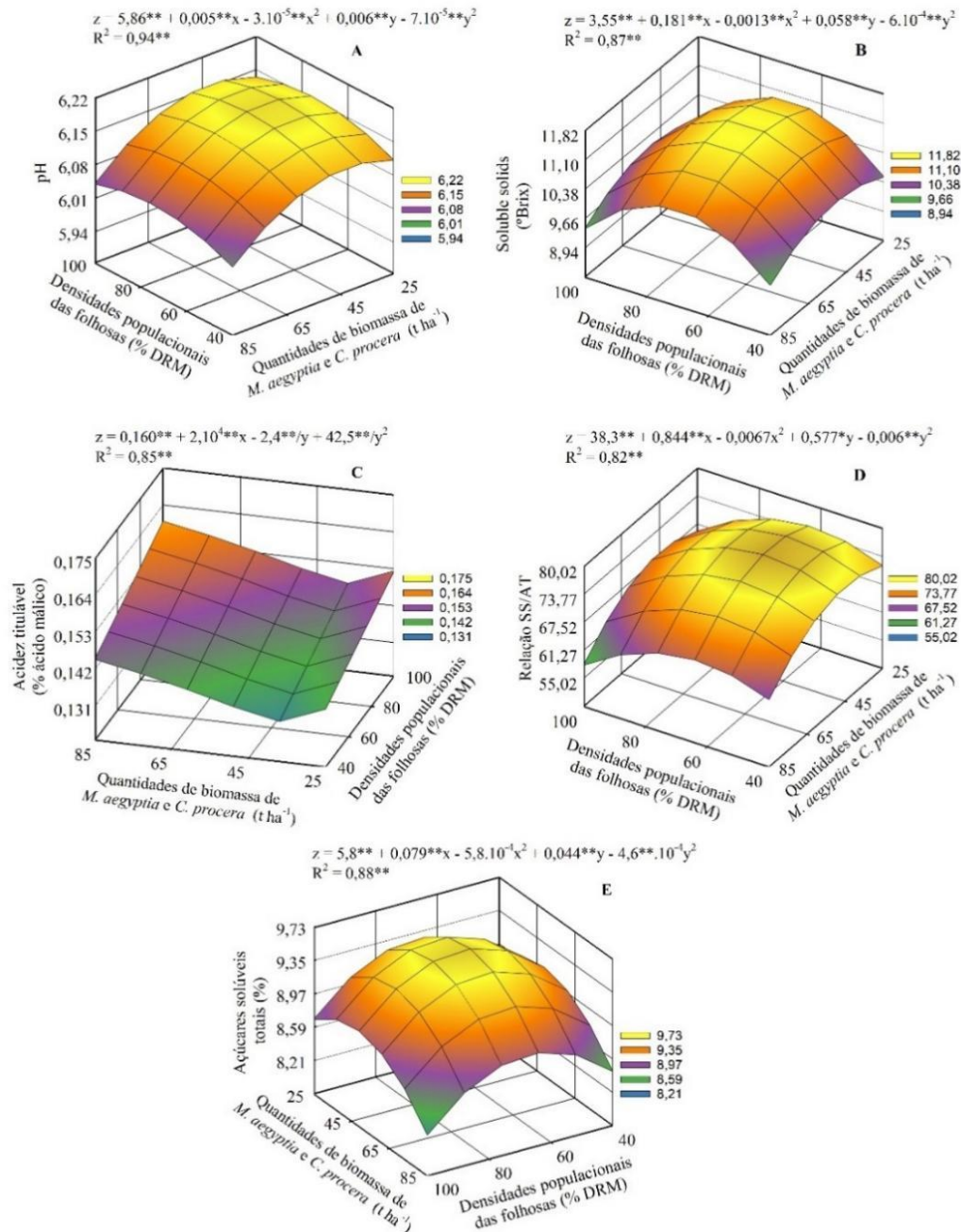
Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Apesar da ausência de interação significativa, superfícies de respostas foram ajustadas ($p < 0,01$; $R^2 > 0,82$) para todas as características avaliadas na beterraba, em função dos fatores-tratamento, possibilitando uma interpretação mais ampla das respostas (Figura 6). A máxima eficiência (ME) dos parâmetros de qualidade pós-colheita foi de 6,20 para o pH, 11,25 °Brix para os sólidos solúveis totais (SS), 0,158 % de ácido málico para acidez titulável (AT), 77,70 para a relação SS/AT e 9,54 % para a concentração de açúcares solúveis totais (AST) nas raízes tuberosa de beterraba, nas combinações de quantidades equitativas de biomassa dos adubos verdes e densidades populacionais recomendadas das folhosas de 43,00 e 75,45; 50,09 e 69,77; 85 e 100; 44,79 e 62,82; 48,01 t ha⁻¹ e 67,83 %, respectivamente (Figura 6A-E).

Os resultados evidenciam que níveis intermediários dos adubos verdes e de densidade populacional resultaram em maiores valores de pH, SS e AST, associados à redução da acidez titulável, o que elevou a relação SS/AT (Figura 6A-D). O incremento observado nos parâmetros de SS, AST e relação SS/AT até certo ponto indica que a menor quantidade, assim como quantidades excessivas de nutrientes, especialmente de N, P e K, afeta a qualidade da raiz

tuberosa de beterraba influenciando o acúmulo de açúcares, conforme relatado por Varga et al. (2022).

Figura 6 – pH (A), sólidos solúveis (B), acidez titulável (C), relação SS/AT (D), açúcares solúveis totais (E) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procer*a e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Desequilíbrios nutricionais, envolvendo esses elementos, podem alterar a dinâmica fonte-dreno e a translocação de carboidratos, favorecendo o consumo de carbono em processos

metabólicos associados ao crescimento vegetativo e à síntese de compostos nitrogenados, em vez do acúmulo de açúcares nos órgãos de reserva (Xing et al., 2025). Esse desbalanço fisiológico compromete a eficiência de armazenamento e modifica a composição química das raízes (Barlóg; Grzebisz, 2025).

Em termos de densidade populacional, os melhores resultados de qualidade observados em populações intermediárias podem estar relacionados à menor competição intraespecífica por luz, favorecendo maior interceptação luminosa e atividade fotossintética das plantas, o que contribui para maior síntese e acúmulo de compostos solúveis nas raízes tuberosa (Chen et al., 2025). À medida que a densidade populacional aumenta, observa-se inicialmente incremento na intensidade de doçura das raízes de beterraba, possivelmente associado ao maior acúmulo de carboidratos nos tecidos. Entretanto, em densidades mais elevadas, como na condição de 100% da DRM, ocorre redução desse acúmulo, possivelmente em função da intensificação da competição por recursos e da utilização das reservas de carboidratos para manutenção dos processos metabólicos e suprimento energético das plantas (Chitarra; Chitarra, 2005; Guerra et al., 2022). Dhital et al. (2025), reportaram que a combinação de densidades de plantio e adubação nitrogenada em níveis moderados proporcionou incremento nos atributos de qualidade da beterraba, elevando o pH até 6,66 e o SS a 13,3 °Brix, valores próximos aos observados nesta pesquisa.

Por outro lado, maior teor de acidez titulável foi observado na combinação que associou a maior quantidade de adubos verdes à densidade populacional mais elevada (Figura 6C). Esse comportamento pode estar relacionado ao excesso de nutrientes, especialmente o N, uma vez que o sabor ácido e a percepção sensorial em vegetais resultam da presença de ácidos orgânicos, que liberam prótons (H^+) em solução, o que influencia os processos fisiológicos, estimula a respiração celular e o acúmulo desses ácidos (Hounscome et al., 2008; Xing et al., 2025). Além disso, devido à alta produção de biomassa, a beterraba requer recursos substanciais para seu desenvolvimento (Xing et al., 2025) e o estresse por competição em função da alta densidade populacional pode ter comprometido o balanço fisiológico, induzindo o acúmulo de ácidos orgânicos como um possível mecanismo de ajuste do pH celular, ajudando a mitigar os efeitos deletérios do estresse (Taiz et al., 2024).

Todavia, a combinação equilibrada entre a adubação verde e a densidade populacional promoveu melhor ajuste entre os açúcares e os ácidos orgânicos, refletido na razão SS/AT, parâmetro indicador da qualidade sensorial de hortaliças (Chitarra; Chitarra, 2005). Valores mais elevados dessa razão estão associados à maior percepção de doçura (Silva et al., 2023), e o resultado observado neste estudo (MEF de 77,70) demonstra que o manejo adequado com

44,79 t ha⁻¹ dos adubos verdes e 62,82 da DRM contribuiu para a intensificação do sabor adocicado da beterraba, característica desejável para a aceitação do consumidor.

Estudos realizados por Lino et al. (2023), no consórcio de beterraba com rúcula, em condições experimentais semelhantes a esta pesquisa, observaram maior eficiência nos parâmetros de pós-colheita da beterraba (6,45 para o pH, 4,95% de ácido málico para a AT, 6,99% para o AST) na maior densidade populacional de 1.000.000 de plantas ha⁻¹ de rúcula, associada a quantidades que variaram de 40 a 65 t ha⁻¹ de *M. aegyptia* e *C. procera*. A diferença entre os estudos pode ser atribuída às culturas componentes do sistema, que provavelmente alteraram a dinâmica de competição por recursos, impactando diretamente nas características organolépticas da beterraba.

Entre os sistemas de cultivo (M vs C), foram observadas diferenças significativas, exceto para a relação SS/AT (Tabela 3). O sistema consorciado possibilitou melhorias significativas nos atributos de qualidade da beterraba, o que ocasionou maiores valores de pH, sólidos solúveis e açúcares solúveis totais em relação ao monocultivo. Isso indica que, apesar da competição inerente ao cultivo simultâneo e sucessivo das culturas, o manejo adequado do consórcio evita sobreposição acentuada das demandas nutricionais e fisiológicas das plantas (Tabela 3).

Os valores de F e as médias de betacianina e das variáveis de cor da beterraba estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de F e médias para betacianina (Bc), luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

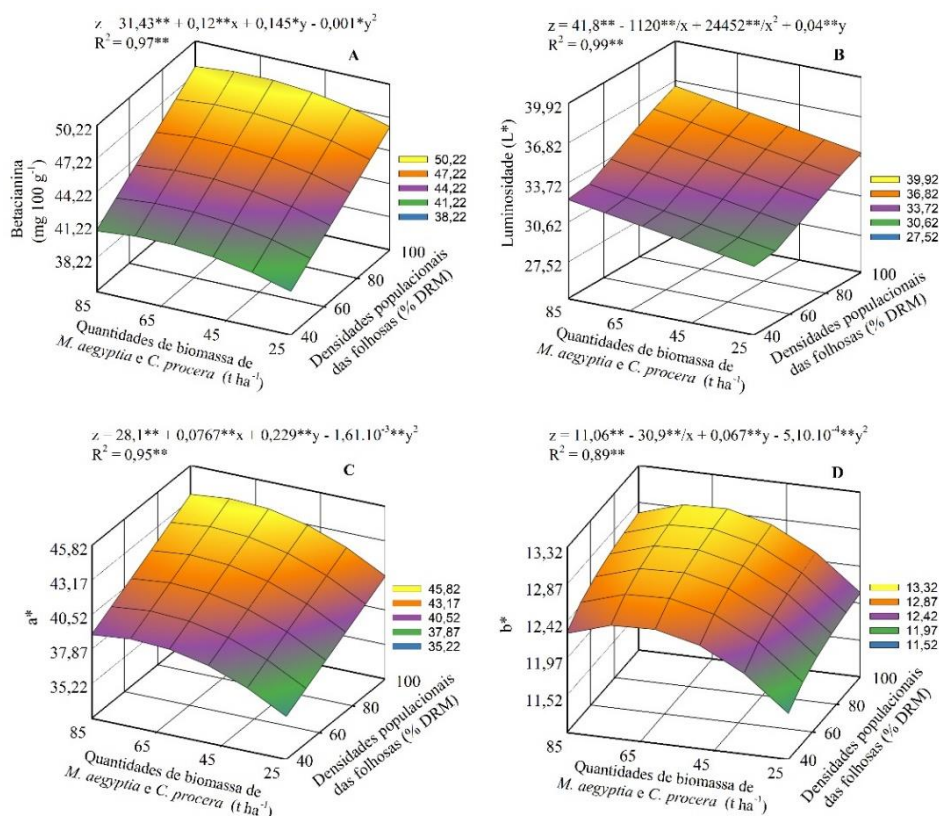
Fonte de variação	GL	Bc	L*	a*	b*
Blocos	3	0,96 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	1,26 ^{ns}	267,61 ^{**}	354,72 ^{**}	33,90 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	16,72 ^{**}	783,46 ^{**}	224,65 ^{**}	114,95 ^{**}
Q x D	9	0,10 ^{ns}	4,16 ^{**}	5,57 ^{**}	3,02 ^{**}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	4,28 [*]	144,54 ^{**}	0,02 ^{ns}	309,01 ^{**}
Superfície resposta					
Regressão		114,20 ^{**}	303,52 ^{**}	69,86 ^{**}	33,79 ^{**}
Erro		0,3608	0,0055	0,3605	0,0210
Sistemas de cultivo		Bc (mg 100g ⁻¹)	L*	a*	b*
Conсорciado		43,98a [†]	33,07b	40,38a	12,43b
Monocultivo		40,81b	34,76a	40,42a	13,98a
CV (%)		6,79	0,82	1,22	1,36

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = p < 0,01; * = p ≤ 0,05; ns = p > 0,05. †Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

As quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) não influenciaram o teor de betacianina, mas afetaram de forma significativa os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*). Por outro lado, a produção de betacianina e a expressão dos parâmetros de cor foram afetadas pelas densidades populacionais (D). Além disso, interações significativas entre os fatores estudados (Q x D) foram observadas apenas para os parâmetros L^* , a^* e b^* (Tabela 4).

Para descrever a relação entre os fatores-tratamento, superfícies de respostas foram ajustadas ($p < 0,05$; $R^2 > 0,89$) para essas características. Os valores de ME nas raízes tuberosa de beterraba foram de 66,92 mg 100g⁻¹ para a betacianina, de 36,41 para a luminosidade, de 43,91 para o eixo a^* e de 12,95 para o eixo b^* . Esses resultados foram obtidos nas quantidades de biomassa dos adubos verdes, 66,92; 85,00; 71,16 e 65,60 t ha⁻¹, respectivamente, combinadas com 100% da DRM das folhosas (Figura 7A-D).

Figura 7 – Betacianina (A), luminosidade (B), eixo a^* (C) e eixo b^* (D) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



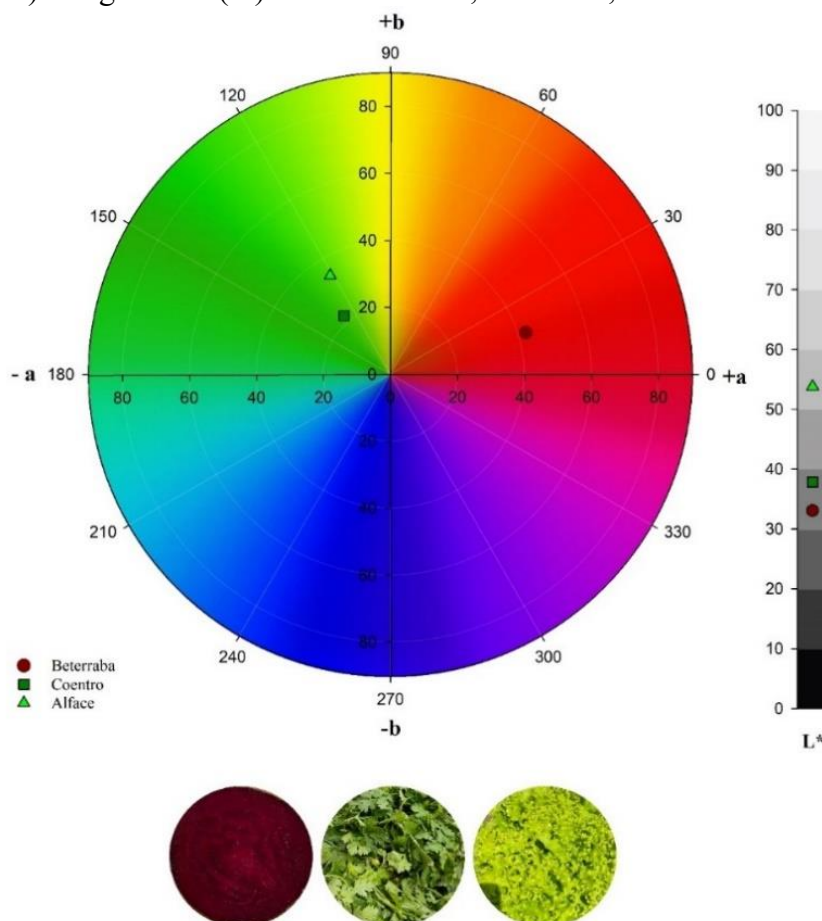
Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

A máxima produção de betacianina, observada sob alta densidade das folhosas com quantidade intermediária de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, pode estar associada à

intensificação da competição intra e interespecífica entre as culturas componentes, em decorrência da alta densidade de plantio. A competição como fator de estresse ativa mecanismos de proteção nas plantas, estimulando a síntese de metabólitos secundários (Taiz et al., 2024), entre eles a betacianina. Essa função protetora desse pigmento contribui para que a beterraba mantenha seu desenvolvimento, mesmo sob condições ambientais desfavoráveis (Li et al., 2019; Sokolova et al., 2022).

Nos parâmetros de cor da raiz da beterraba, os maiores valores de luminosidade (L^*) foram observados na combinação entre as maiores quantidades dos adubos verdes e a maior densidade populacional, enquanto os maiores valores nos parâmetros a^* e b^* foram obtidos com quantidades intermediárias de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, associadas à alta densidade populacional. Os valores médios observados nos atributos de cor (L^* , a^* e b^*) quando convertidos em C^* e h° , mostram que a cor da raiz tuberosa de beterraba se inclinou para o vermelho-rosa intenso (Figura 8), característica valorizada comercialmente.

Figura 8 – Representação dos parâmetros de cor das raízes da beterraba (●) e das folhas de coentro (■) e alface (▲) em sistema consorciado, gerado a partir das médias da luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo hue (h°). Mossoró – RN, UFRSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

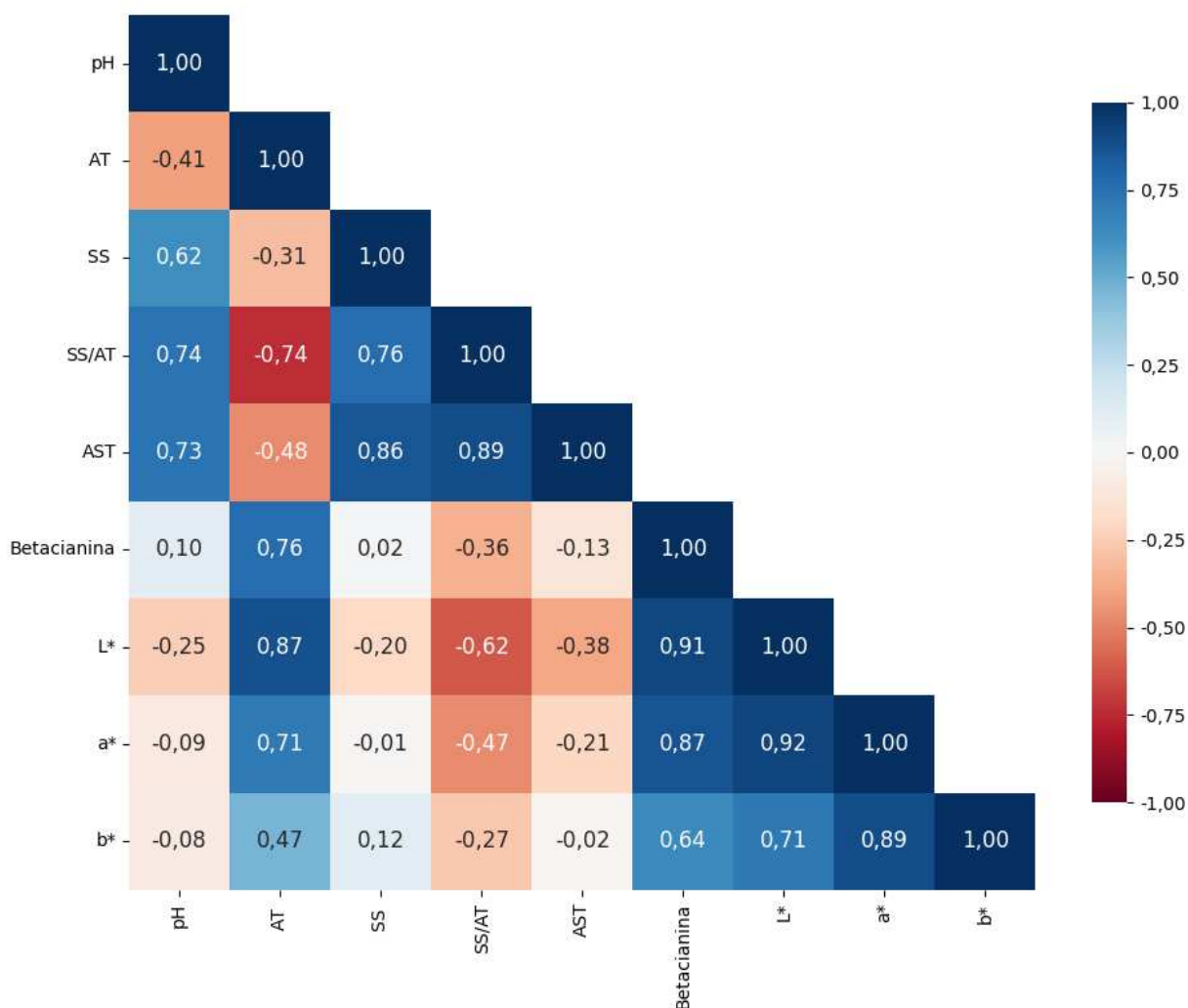
Os parâmetros de cor tiveram comportamento semelhante ao observado na concentração de betacianina. Esse resultado era esperado, uma vez que a coloração vermelha característica da raiz está diretamente associada à presença desses pigmentos nitrogenados (Thiruvengadam et al., 2024). A betacianina utilizada como corante natural (López-Solórzano et al., 2025) constitui um dos dois grupos de pigmentos hidrossolúveis que compõem as betalainas e são responsáveis pelas tonalidades vermelho-violeta, com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Mirmiran et al., 2020). Dessa forma, a intensidade da cor da beterraba reflete não apenas sua qualidade visual, mas também o conteúdo e o valor funcional desses pigmentos.

Em condições semelhantes a esta pesquisa, Guerra et al. (2022) observaram valores máximos de 41,39 mg 100g⁻¹ para betacianina, de 35,43 para L*, 9,94 para a* e 32,97 para b* em raiz tuberosa de beterraba consorciada com alface, quando combinou 20 e 300; 25 e 188; 65 e 300 e de 65 t ha⁻¹ de *M. aegyptia* e *C. procera* e 280 mil plantas de alface por hectare, respectivamente. Esses resultados corroboram a importância do ajuste simultâneo da adubação verde e do manejo populacional no consórcio para otimizar a qualidade visual e o potencial de aceitação da raiz de beterraba.

Os sistemas de cultivo (M vs C) diferiram significativamente, sendo observada maior concentração de betacianina no consórcio em comparação ao monocultivo, o que pode estar associado aos mecanismos de defesa de tolerância ao estresse competitivo entre as espécies. Por outro lado, o monocultivo teve valores superiores para os parâmetros de cor (L*, a*, b*), todavia, apesar da competição intra e interespecífica no consórcio, as diferenças fisiológicas no acúmulo de pigmentos foram pouco expressivas, não comprometendo de forma relevante a qualidade visual da raiz tuberosa de beterraba (Tabela 4).

Na análise de correlação de Pearson para as características físico-químicas da raiz tuberosa de beterraba (Figura 9), observou-se que o teor de sólidos solúveis está positivamente correlacionado com o pH (0,62), AST (0,88) e relação SS/AT (0,76). Esses resultados indicam que o acúmulo de sólidos solúveis contribui tanto para a doçura percebida quanto para o aumento do pH, enquanto reduz a acidez titulável (AT, -0,31). Por outro lado, a elevada correlação negativa entre a relação SS/AT e a acidez titulável (-0,92) indica que maiores teores de ácidos orgânicos reduzem a percepção de doçura, reforçando o papel dos ácidos orgânicos na regulação do sabor. A correlação positiva e forte da betacianina e o L*(0,91) e a*(0,87) sugere que raízes tuberosa de beterraba com maior L* e a* têm maiores teores de betacianina, confirmando que as alterações na cor da raiz tuberosa de beterraba acompanham as mudanças na concentração de betacianina na mesma direção (Figura 9).

Figura 9 – Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: SS - sólidos solúveis; AT - acidez titulável; relação SS/AT; AST - açúcares solúveis totais; L* - luminosidade; a* - eixo a*; b* - eixo b*.

3.2 Qualidade pós-colheita do coentro

Os parâmetros de qualidade do coentro: pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT e açúcares solúveis totais (AST) foram significativamente afetados pelas quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) e pelas densidades populacionais (D), com efeitos independentes sobre todos os parâmetros (Tabela 5). Sugerindo, portanto, que é possível otimizar e manejar cada fator sem comprometer a qualidade da folhosa.

Tabela 5 – Valores de F e médias para pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais (AST) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

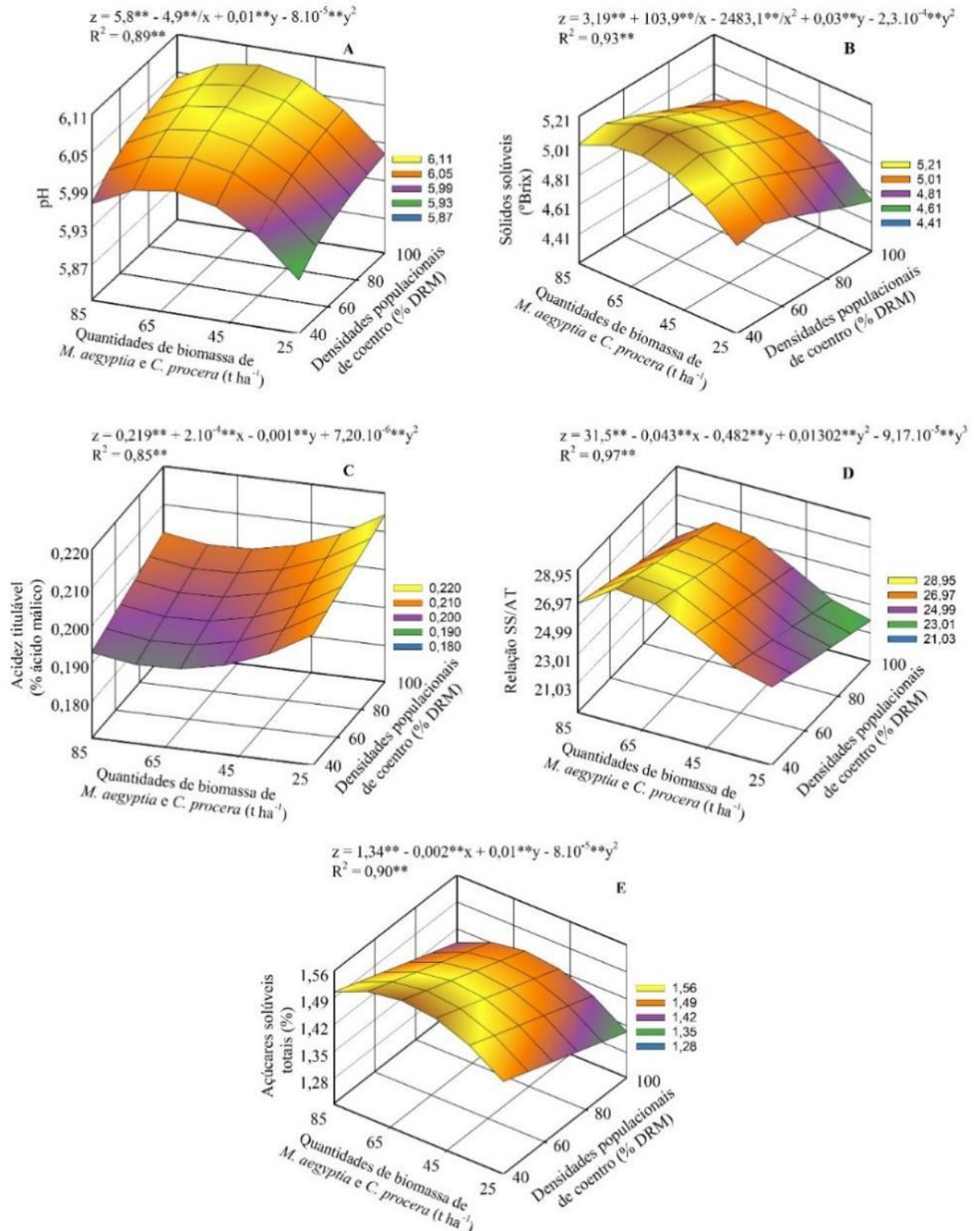
Fonte de variação	GL	pH	SS	AT	Relação SS/AT	AST
Blocos	3	1,57 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,67 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	22,18 ^{**}	19,42 ^{**}	29,91 ^{**}	33,28 ^{**}	14,96 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	8,43 ^{**}	14,52 ^{**}	10,82 ^{**}	16,71 ^{**}	17,78 ^{**}
Q x D	9	0,25 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	3,77 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,41 ^{ns}	10,02 [*]
Superfície resposta						
Regressão		31,69 ^{**}	35,89 ^{**}	22,65 ^{**}	77,31 ^{**}	36,58 ^{**}
Erro		0,0004	0,0029	9,55.10 ⁻⁶	0,1438	0,0051
Sistemas de cultivo		pH	SS (°Brix)	AT (%)	Relação SS/AT	AST (%)
Consorciado		6,01a [†]	4,91a	0,201a	25,10a	1,45a
Monocultivo		6,05a	5,01a	0,202a	25,45a	1,37b
CV (%)		0,70	2,58	2,44	4,25	3,68

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p < 0,05$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Um ajuste de superfície de resposta ($p < 0,01$; $R^2 > 0,85$) foi feito para todas as características de qualidade pós-colheita do coentro, em função dos fatores-tratamento testados (Figura 10). As máximas eficiências de qualidade do coentro foram de 6,06 para o pH, de 5,19 °Brix para os sólidos solúveis totais, de 0,199 % de ácido málico para a acidez titulável, de 28,39 para a relação SS/AT e de 1,57 % para a concentração de açúcares solúveis totais. Esses resultados ocorreram nas quantidades equitativas de biomassa dos adubos verdes de 62,14; 62,46; 25,00; 69,30; 60,06 t ha⁻¹ combinadas, respectivamente, com 100; 47,79; 100; 40 e 40 % da DRM de coentro (Figura 10A-E).

O comportamento observado para o pH e a acidez titulável indica que a alta densidade populacional pode alterar o metabolismo dos ácidos orgânicos. Entretanto, a concentração de ácidos orgânicos é influenciada pelo teor de potássio, que atua na regulação da atividade enzimática do vegetal (Chitarra; Chitarra, 2005). Dessa forma, o fornecimento adequado de nutrientes através da biomassa dos adubos verdes, atenuou os efeitos da competição populacional, contribuindo para a estabilização do metabolismo desses ácidos e aumento do pH.

Figura 10 – pH (A), sólidos solúveis (B), acidez titulável (C), relação SS/AT (D) e açúcares solúveis totais (E) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Por outro lado, verificou-se que a menor densidade populacional (40% da DRM) associada à aplicação de aproximadamente 65 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* possibilitou a máxima eficiência nos teores de SS, AST e na relação SS/AT. Esses parâmetros tenderam a diminuir com o aumento da densidade de plantas de coentro, possivelmente pela quantidade e qualidade da luz interceptada, afetando a taxa fotossintética e, consequentemente, a síntese e o acúmulo de açúcares. Além disso, essa redução de açúcares nos tecidos pode ser resultado do redirecionamento metabólico da planta para a manutenção de processos vitais, como respiração celular, ajuste osmótico e mecanismos de defesa (Haque; Sakimin, 2022).

Em contrapartida, a aplicação de aproximadamente 65 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* favoreceu o acúmulo de açúcares, provavelmente em razão da disponibilidade de N e K, que são nutrientes essenciais que participam da síntese de sacarose e aminoácidos e, dos processos de formação e translocação de açúcares (Taiz et al., 2024), além das melhorias nas propriedades físicas do solo promovidas pela incorporação da biomassa, favorecendo a estrutura do solo e o crescimento radicular (Chen et al., 2026). Diferentemente dos resultados obtidos nessa pesquisa, Lino et al. (2023) observaram que os atributos de qualidade da rúcula consorciada com beterraba foram superiores na maior densidade populacional da rúcula (1.000.000 plantas ha⁻¹) e menor quantidade de biomassa dos adubos verdes (20 t ha⁻¹). Essa divergência pode estar associada às diferenças fisiológicas e adaptativas das culturas às condições de manejo.

Os parâmetros de qualidade não diferiram entre os sistemas de cultivo (M vs C), exceto para o AST (Tabela 5). A diferença observada no teor dos açúcares solúveis totais do sistema consorciado pode ser atribuída, principalmente, ao manejo das densidades populacionais em razão da maior competição, visto que, em situações de estresse, o acúmulo de açúcares atua como estratégia de sinalização para a ativação de genes de defesa (Saddhe; Manuka; Penna, 2021) (Tabela 5).

Os parâmetros de cor das folhas de coentro (L*, a* e b*) foram significativamente influenciados pelas quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) e pelas densidades populacionais (D), sem interação significativa entre os fatores (Q x D) (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores de F e médias para luminosidade (L^*), eixo a (a^*) e eixo b (b^*) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

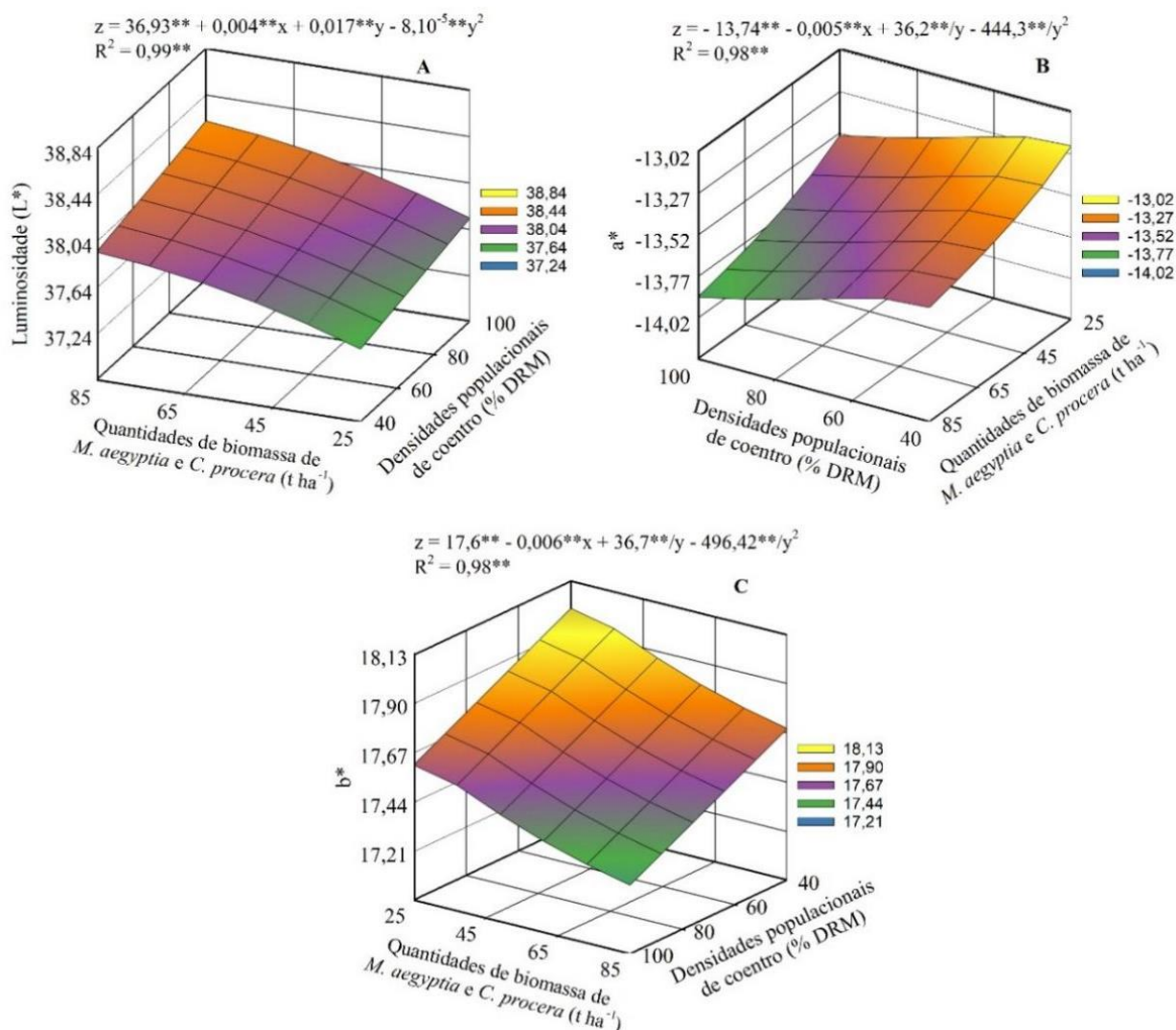
Fonte de variação	DF	L^*	a^*	b^*
Blocos	3	1,59 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,01 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	11,95 ^{**}	23,06 ^{**}	4,56 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	3,60 [*]	19,40 ^{**}	6,80 ^{**}
Q x D	9	0,04 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	53,20 ^{**}	0,05 ^{ns}	10,97 ^{**}
Superfície resposta				
Regressão		305,37 ^{**}	95,22 ^{**}	251,61 ^{**}
Erro		0,0007	0,0018	0,0007
Sistemas de cultivo		L^*	a^*	b^*
Consorciado		37,88a [†]	-13,57a	17,65a
Monocultivo		36,20b	-13,59a	17,21b
CV (%)		1,18	-1,15	1,46

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0.01$; * = $p < 0.05$; ns = $p > 0.05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Superfícies de respostas foram ajustadas ($p < 0,01$; $R^2 > 0,98$) para os parâmetros de cor do coentro, em função de quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais. Os valores máximos alcançados nos parâmetros de cor das folhas de coentro foram de 38,20 para a luminosidade (L^*), -13,21 para o eixo a^* e 18,04 para o eixo b^* , que ocorreram nas combinações de 85 e 100; 25 e 40; 27,07 t ha⁻¹ de biomassa dos adubos verdes combinadas com 40 % da DRM de coentro, respectivamente (Figura 11A-C).

A qualidade visual das folhas de coentro apresentou comportamento semelhante ao observado para os atributos físico-químicos em resposta às diferentes densidades estudadas. Todavia, mesmo com a menor quantidade dos adubos verdes, os valores máximos registrados nos parâmetros a^* (-13,21) e b^* (18,04) indicam que as folhas mantiveram a coloração verde-escuro (Figura 8). Sugerindo, portanto, que a utilização dos adubos verdes, mesmo em baixas quantidades, melhora as condições edáficas do solo e disponibiliza nutrientes, contribuindo para a produção dos pigmentos fotossintéticos e manutenção da coloração verde (Ferreira et al., 2024; Libutti; Trotta; Rivelli, 2020).

Figura 11 – Luminosidade (A), eixo a* (B) e eixo b* (C) dos parâmetros de cor das folhas de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

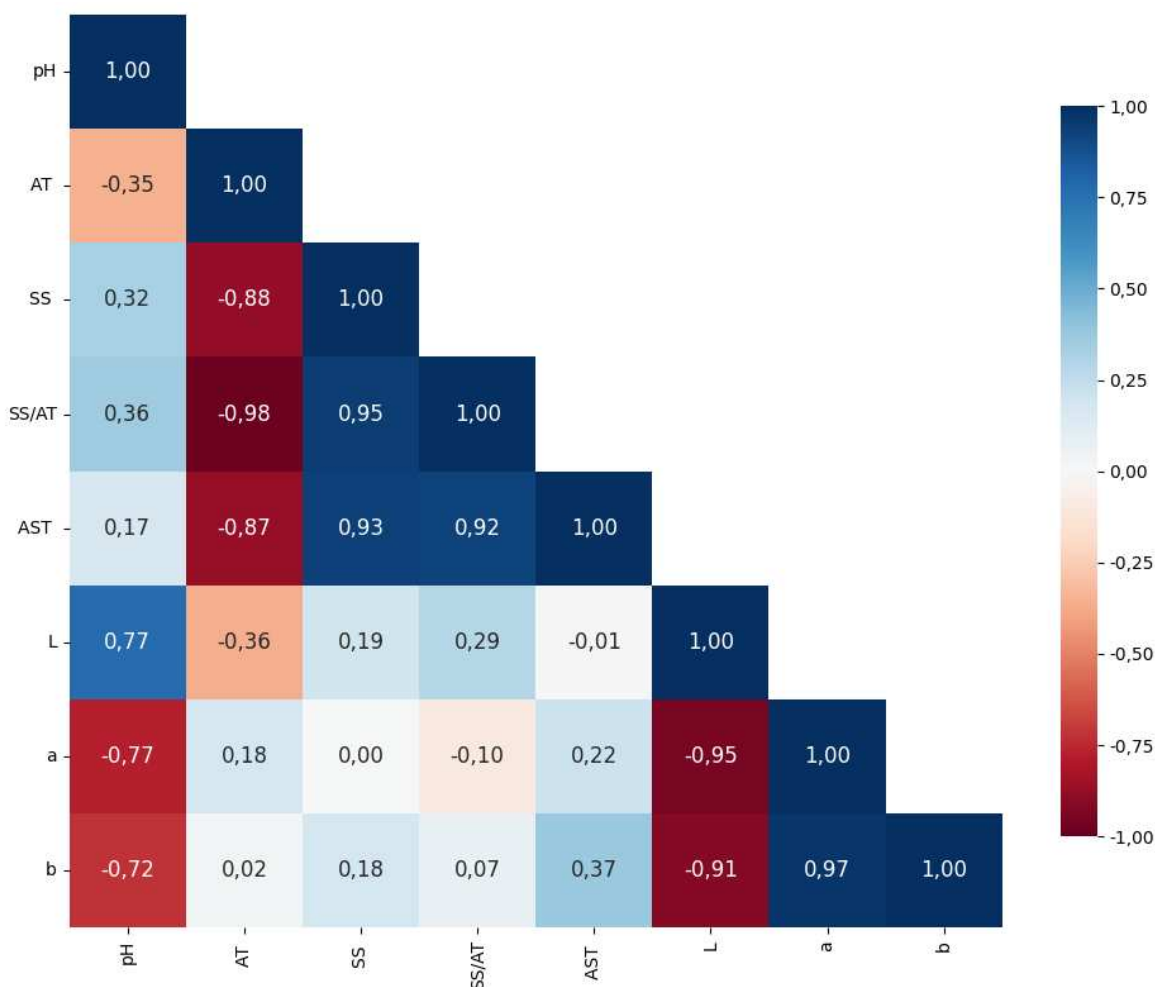


Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre os sistemas de cultivo (M vs C) para o L* e b* (Tabela 6). O sistema consorciado aumentou a luminosidade e o eixo b*, sem alterar significativamente o parâmetro a*. As diferenças no acúmulo de pigmentos entre os sistemas não afetaram significativamente a qualidade visual das hortaliças, mantendo a cor na tonalidade verde-escuro (Tabela 6).

A partir da correlação de Pearson (Figura 12), observa-se que o pH tem forte correlação positiva com L* (0,77) e negativa com a* (-0,77) e b* (-0,72), indicando que valores mais altos de pH estão associados a folhas mais claras e esverdeadas, enquanto valores baixos de pH favorecem tonalidades amareladas.

Figura 12 – Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: SS - sólidos solúveis; AT - acidez titulável; relação SS/AT; AST - açúcares solúveis totais; L* - luminosidade; a* - eixo a*; b* - eixo b*.

O teor de sólidos solúveis teve forte correlação positiva com os açúcares totais (0,93) e com a relação SS/AT (0,95), enquanto a acidez titulável se correlacionou forte e negativamente com os sólidos solúveis (-0,88), açúcares solúveis totais (-0,87) e relação SS/AT (-0,98), demonstrando que o aumento da acidez reduz a percepção de equilíbrio da doçura e do sabor, e o inverso também se aplica. Os parâmetros de cor tiveram forte associação entre si, destacando-se a correlação negativa entre L* e a* (-0,95) e a correlação positiva entre a* e b* (0,97), evidenciando que a redução da intensidade do verde está acompanhada do amarelecimento. O equilíbrio entre a doçura e a acidez é crucial para a aceitação do consumidor, e a correlação forte do pH com a cor sugere que a aparência visual também pode servir como um indicador da qualidade sensorial (Figura 12).

3.3 Qualidade pós-colheita da alface

Efeitos significativos dos fatores quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) e densidades populacionais (D) foram observados sobre todos os parâmetros de qualidade pós-colheita da alface, não sendo observada interação significativa entre os fatores (Q x D) (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores de F e médias para pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais (AST) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Fonte de variação	GL	pH	SS	AT	Relação SS/AT	AST
Blocos	3	0,05 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,97 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	20,89 ^{**}	24,44 ^{**}	9,05 ^{**}	28,50 ^{**}	10,91 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	12,78 ^{**}	9,92 ^{**}	10,05 ^{**}	19,30 ^{**}	8,30 ^{**}
Q x D	9	1,23 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	9,13 [*]	43,57 ^{**}	2,40 ^{ns}	35,35 ^{**}	42,45 ^{**}
Superfície resposta						
Regressão		39,53 ^{**}	32,57 ^{**}	150,90 ^{**}	120,75 ^{**}	21,54 ^{**}
Erro		0,0007	0,0006	4,08.10 ⁻⁷	0,0354	0,0006
Sistemas de cultivo		pH	SS (°Brix)	AT (%)	Relação SS/AT	AST (%)
Consorciado		5,91a [†]	2,60a	0,144a	18,57a	2,42a
Monocultivo		5,84b	2,43b	0,147a	16,72b	2,24b
CV (%)		0,82	1,92	2,51	3,27	2,3

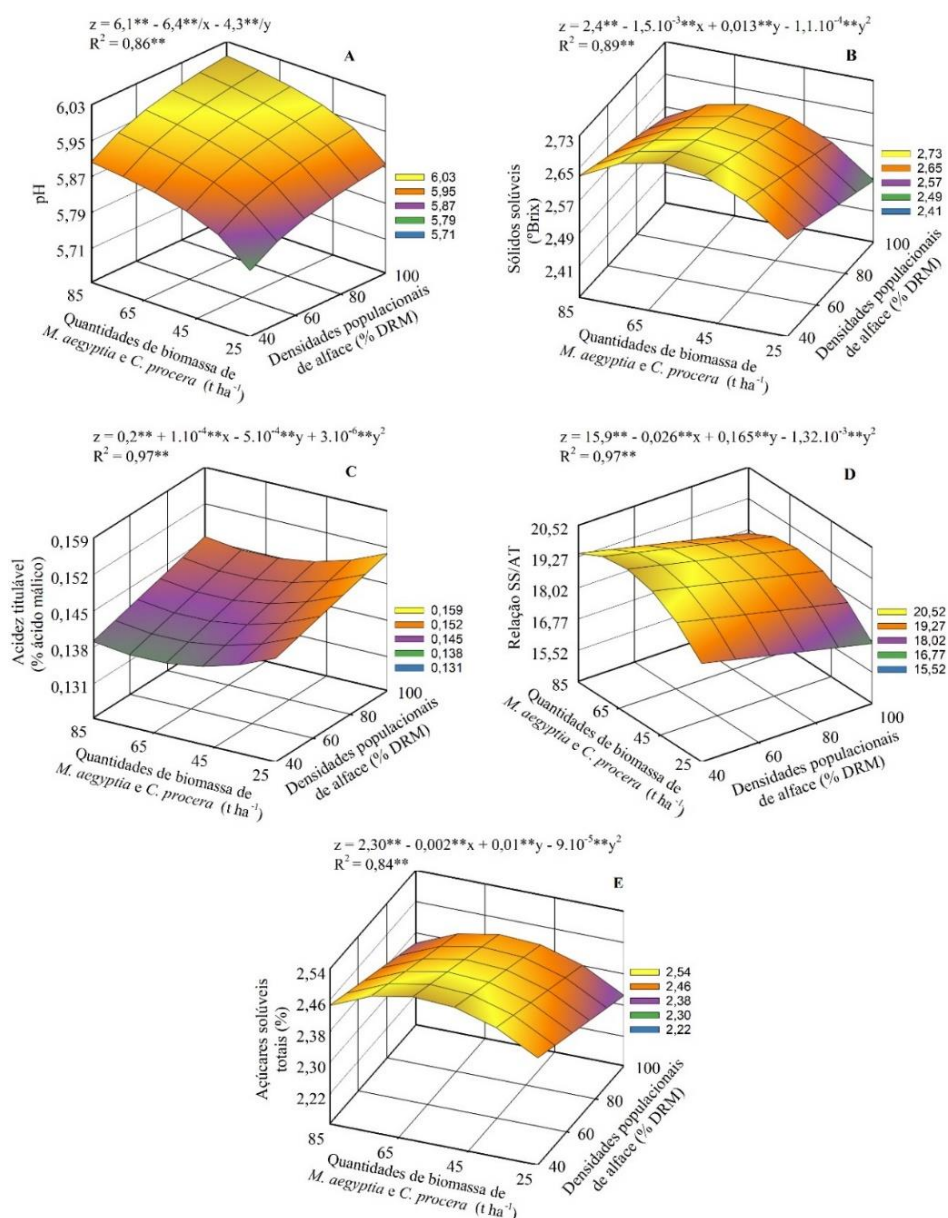
Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Superfícies de respostas foram ajustadas ($p < 0,01$; $R^2 > 0,86$) para essas características de qualidade pós-colheita da alface, obtendo máximas eficiências de 5,99 para o pH, 2,72 °Brix para os sólidos solúveis, 0,199 % de ácido málico para acidez titulável, 20,07 para a relação SS/AT e 2,50 % para a concentração de açúcares solúveis totais. Esses resultados foram obtidos nas quantidades de biomassa dos adubos verdes, respectivamente, de 85,00; 59,52; 25,00; 63,00 e 57,72 t ha⁻¹ combinadas com 100; 40; 100; 40 e 40 % da DRM de alface (Figura 13A-E).

Os parâmetros físico-químicos da alface tiveram comportamento semelhante aos observados na cultura do coentro, especialmente no fator densidade populacional, com melhor qualidade organoléptica alcançada com 40% da DRM. A maior densidade populacional de alface aumentou tanto o pH quanto a acidez titulável das folhas de alface, possivelmente devido

ao acúmulo de ácidos orgânicos fracos, que participam de processos fisiológicos (respiração, regulação osmótica, transporte de íons e ajuste do pH intracelular), que elevam a quantidade total sem reduzir significativamente a concentração de H^+ livre (Huang et al., 2021). Esse efeito pode ser resultado do aumento da competição intraespecífica, que intensifica o estresse fisiológico e altera o metabolismo ácido das folhas. Todavia, a incorporação de maiores quantidades de adubos verdes ao solo atenuou essas alterações, contribuindo para a estabilização do pH e a redução da acidez titulável.

Figura 13 – pH (A), sólidos solúveis (B), acidez titulável (C), relação SS/AT (D) e açúcares solúveis totais (E) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procer*a e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

O comportamento observado no teor de SS, na relação SS/AT e nos AST sugere que a produção de açúcares pode ser limitada em altas densidades populacionais de alface, provavelmente devido ao estresse competitivo por recursos, especialmente luz. Nessas condições, o estresse fisiológico pode intensificar o metabolismo respiratório e reduzir o acúmulo de açúcares, uma vez que esses compostos são utilizados como substratos energéticos para respiração, manutenção celular e síntese de metabólitos envolvidos na defesa e, como adaptação ao estresse (Yamada; Osakabe, 2018). Esse efeito pode ter sido potencializado pelo fato de que a alface foi estabelecida no sistema quando a cultura principal (beterraba) já tinha maior desenvolvimento, influenciando a disponibilidade de luz, água e nutrientes (Vandermeer, 1989).

Todavia, a aplicação de 57 a 63 t ha⁻¹ dos adubos verdes estabilizou a produção máxima de açúcares, sugerindo que essa faixa pode ser o nível ótimo de aporte nutricional para a síntese e translocação de açúcares, indicando saturação da resposta fisiológica da cultura. Além disso, essa quantidade equilibrada de adubos pode reduzir o estresse nutricional e fisiológico decorrente da competição intra e interespecies do consórcio, contribuindo para a eficiência metabólica e a manutenção da qualidade dos tecidos vegetais. No consórcio de beterraba com alface, foi observado que na folhosa os maiores teores de sólidos solúveis (3,67°Brix) e da relação SS/AT (9,96) na combinação de 20 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e 300 mil plantas de alface por ha⁻¹ (Guerra et al., 2022). Esses resultados diferem dos obtidos nesta pesquisa, provavelmente devido ao efeito de sucessão das diferentes culturas.

Observou-se diferença significativa entre os sistemas de cultivo (M vs C) (Tabela 7). O cultivo consorciado teve maior média nos parâmetros de pH, SS, relação SS/AT e AST em comparação ao monocultivo, evidenciando maior percepção de doçura. A acidez titulável permaneceu estável entre os sistemas, indicando que o incremento de sabor adocicado no consórcio foi decorrente, principalmente, do aumento nos açúcares solúveis. Esse comportamento é semelhante ao observado no coentro, em que o acúmulo de sólidos solúveis dentre eles os açúcares, possivelmente resultou do estresse competitivo inerente ao sistema consorciado.

A Tabela 8 apresenta os resultados das análises de variância e regressão dos parâmetros de cor (L*, a* e b*) da cultura da alface. As quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (A) influenciaram significativamente todos os parâmetros de cor (L*, a* e b*), enquanto as densidades populacionais (D) tiveram efeito significativo apenas para os parâmetros L* e a*. Não houve interação significativa entre os fatores-tratamento (Q x D) (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores de F e médias para luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

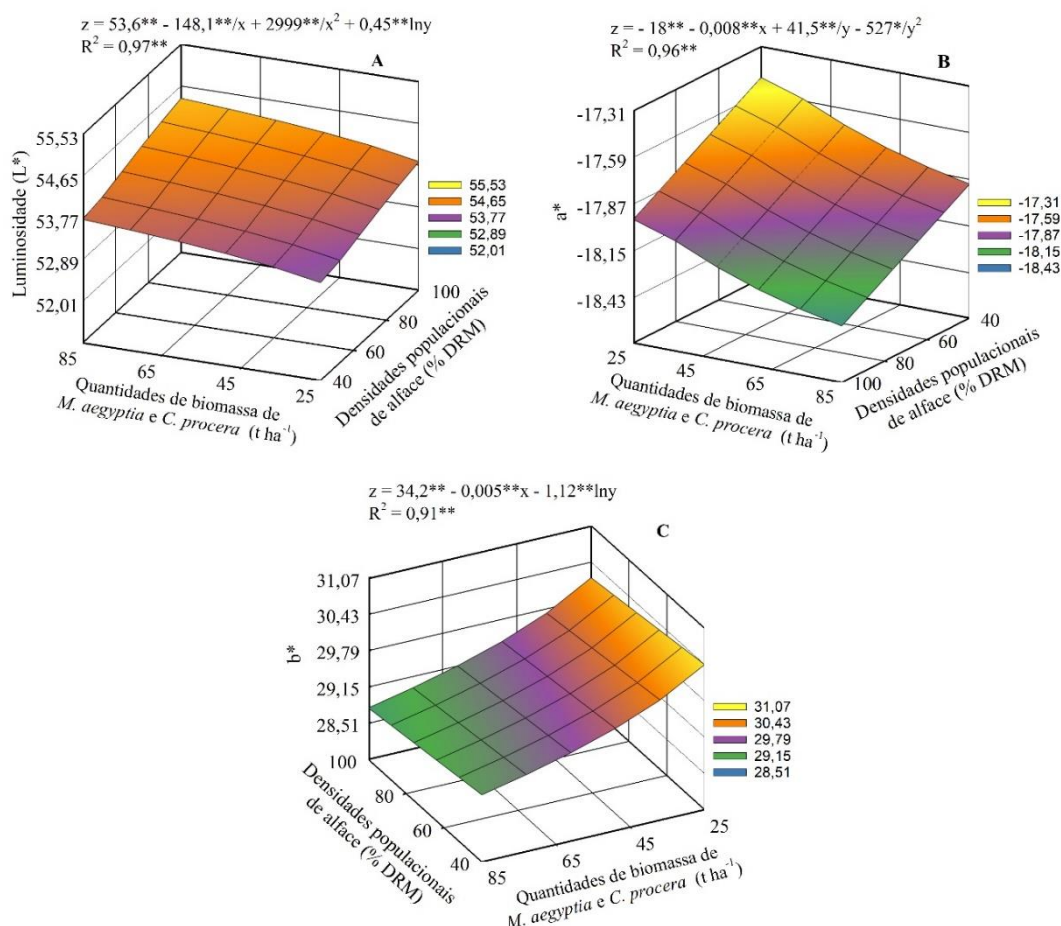
Fonte de variação	DF	L*	a*	b*
Blocos	3	0,19 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	8,07**	9,36**	36,85**
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	11,82**	12,27**	1,77 ^{ns}
Q x D	9	0,18 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,09 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	93,27**	13,74**	5,14*
Superfície resposta				
Regressão		116,46**	85,47**	66,25**
Erro		0,0047	0,0033	0,0333
Sistemas de cultivo		L*	a*	b*
Consorciado		53,83b [†]	-17,94b	29,52b
Monocultivo		55,46a	-18,44a	29,97 ^a
CV (%)		0,61	-1,44	1,32

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Os efeitos dos fatores-tratamento sobre essas características foram avaliados por meio de superfícies de respostas ($p < 0,01$; $R^2 > 0,91$), com valores máximos de 54,42 para a luminosidade, de -17,50 para o eixo a* e de 30,39 para o eixo b*. Esses valores foram alcançados nas combinações de 85,00 e 100; 25,00 e 40; 25,00 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa dos adubos verdes e 100% da densidade populacional recomendada para o monocultivo de alface, respectivamente (Figura 14A-C).

O comportamento conjunto dos parâmetros L*, a* e b* evidencia que densidades populacionais mais altas tendem a aumentar a luminosidade e a influenciar a intensidade da cor verde, provavelmente devido à competição e às estratégias adaptativas para captura de luz. Paralelamente, a utilização de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, mesmo em baixa quantidade, melhorou as condições do solo e a disponibilidade de nutrientes relacionados à síntese de clorofila, favorecendo a manutenção da pigmentação foliar e compensando parcialmente os efeitos da competição (Fathi, 2022; Silva et al., 2023; Zhang et al., 2023). Os valores máximos observados nos parâmetros a* e b* (-17,50 e 30,39, respectivamente), quando convertidos em C* e h°, indicam que a cor das folhas de alface tendeu para o verde-claro (Figura 8), tonalidade típica da cultivar utilizada e desejável do ponto de vista de qualidade visual e comercial.

Figura 14 – Luminosidade (A), eixo a* (B) e eixo b* (C) dos parâmetros de cor das folhas de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

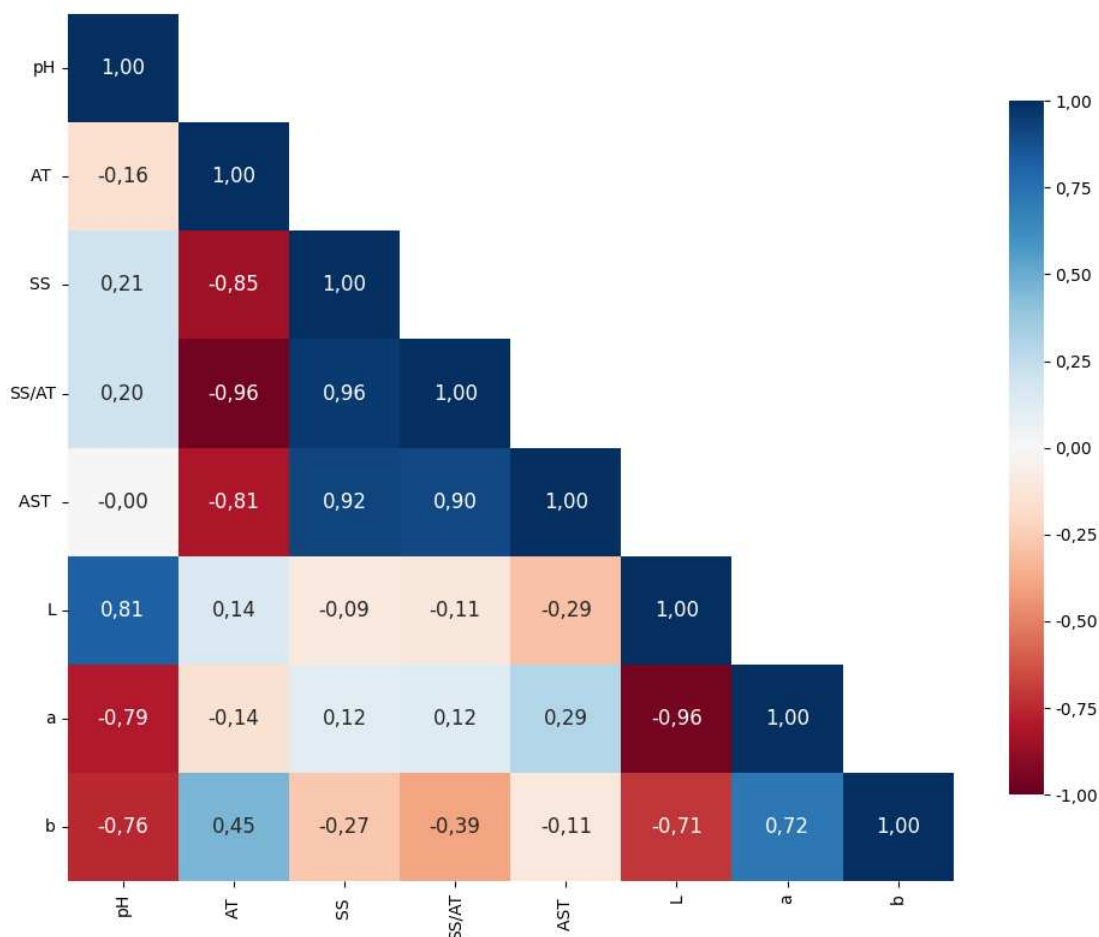


Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre os sistemas de cultivo (M vs C) para todos os parâmetros de cor, com menor luminosidade (L^*) e intensidade das cores verde (a^*) e amarelo (b^*) observada no cultivo consorciado (Tabela 8). Esse padrão sugere que a competição por luz e nutrientes no consórcio pode ter promovido ajustes no acúmulo de pigmentos fotossintéticos ou alterações na estrutura da epiderme (Cunha-Chiamolera et al., 2017), contudo, sem comprometer a aparência da folhosa.

A matriz de correlação (Figura 15) demonstra que a acidez titulável teve correlação forte e negativa com os sólidos solúveis (-0,85), a relação SS/AT (-0,96) e os açúcares solúveis totais (-0,81), evidenciando que maiores valores de acidez podem estar associados ao menor acúmulo de açúcares e, consequentemente, à redução da percepção de doçura. Por sua vez, os sólidos solúveis tiveram correlação forte e positiva com o teor de açúcares solúveis totais (0,92) e com a relação SS/AT (0,96), confirmando a interdependência metabólica desses componentes.

Figura 15 – Correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos da alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: SS - sólidos solúveis; AT - acidez titulável; relação SS/AT; AST - açúcares solúveis totais; L* - luminosidade; a* - eixo a*; b* - eixo b*.

Observou-se ainda que o pH teve forte correlação positiva com o parâmetro L* (0,81) e negativa com os índices a* (-0,79) e b* (-0,76), sugerindo que valores mais elevados de pH estiveram associados a folhas com maior luminosidade, coloração mais verde (valores mais negativos de a*) e menor tendência ao amarelecimento (redução de b*), enquanto valores reduzidos favoreceram tonalidades amareladas, possivelmente devido à maior instabilidade da clorofila em meio ácido. Além disso, os parâmetros de cor estiveram fortemente associados entre si, com forte correlação negativa entre L* e a* (-0,96), indicando que folhas mais claras tendem a ter menor intensidade de verde. Por outro lado, a correlação positiva entre a* e b* (0,72) indica que a redução da intensidade do verde (a*) acompanha o amarelecimento (b*), o que pode comprometer a qualidade visual e comercial do produto (Figura 15).

De acordo com os resultados, é possível otimizar os atributos organolépticos e visuais das hortaliças, garantindo maior uniformidade, estabilidade e eficiência desses atributos em

sistemas consorciados, desde que os fatores pré-colheita sejam bem manejados. Além disso, o uso dos adubos verdes da Caatinga demonstra eficiência na melhoria da qualidade das hortaliças, contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes frente às condições do semiárido, abrindo caminho para abordagens sustentáveis que garantam a segurança alimentar e conservação dos recursos naturais, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

4 CONCLUSÕES

1. A utilização de aproximadamente 45 – 69 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* associada a 40 – 63% da DRM favorece a qualidade da beterraba, coentro e alface em sistema consorciado. Maiores quantidades de biomassa (66 – 72 t ha⁻¹) combinadas com 100% da DRM intensificam a produção de betacianina e a coloração das raízes de beterraba, enquanto menores quantidades (25 t ha⁻¹) mantêm a coloração típica das folhas de coentro e alface;
2. Deve-se considerar que esses resultados se referem a condições experimentais específicas, sendo recomendado avaliá-los em diferentes ambientes e períodos.

REFERÊNCIAS

ADEWOYIN, O. B. Pre-harvest and post-harvest factors affecting quality and shelf life of harvested produce. In: KAHRAMANOĞLU, İ. (Ed.). **New advances in postharvest technology**. Londres: IntechOpen, 2023. p. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.0.22.140/intechopen.111649>. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/87184>.

ADHIKARI, B.; AARATI, G. C. Post-harvest practices of horticultural crops in Nepal: Issues and management. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 6, n. 2, p. 227–233, 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.26832/24566632.2021.0602015>. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Biju-Adhikari-2/publication/352749112_Post-harvest_practices_of_horticultural_crops_in_Nepal_Issues_and_management/links/60d9349e299bfl ea9ec714ac/Post-harvest-practices-of-horticultural-crops-in-Nepal-Issues-and-management.pdf.

AHMED, N. et al. Micronutrients and their effects on horticultural crop quality, productivity and sustainability. **Scientia Horticulturae**, v. 323, p. 112512, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112512>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423823006805>.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC, 2012.

BARŁÓG, P.; GRZEBISZ, W. Potassium and magnesium balance the effect of nitrogen on the yield and quality of sugar beet. **Agronomy**, v. 15, n. 9, p. 2075, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15092075>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/9/2075>.

BECK, H. E. et al. Data descriptor: present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1 km resolution. **Scientific Data**, v. 5, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>.

BOURKE, P. M. et al. Breeding beyond monoculture: Putting the “intercrop” into crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 734167, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.734167>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.734167/full>.

CHEN, K. et al. Optimized Sugar Beet Seedling Growth via Coordinated Photosynthate Allocation and N Assimilation Regulation. **Agriculture**, v. 15, n. 12, p. 1273, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/15/12/1273>

CHEN, Y. et al. Long-term green manure incorporation increases soil carbon sequestration and improves aggregate stability by changing organic carbon components. **Soil and Tillage Research**, v. 258, p. 107024, 2026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198725005781>

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.

CUNHA-CHIAMOLERA, T. P. L. et al. Gas exchange, photosynthetic pigments, and growth in tomato: lettuce intercropping. **Chilean journal of agricultural research**, v. 77, n. 4, p. 295-302, 2017. Disponível em: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392017000400295

DHITAL, M. et al. Effect of spacing and nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of beetroot (*Beta vulgaris* L.) at Kapilakot, Sindhuli, Nepal. **Journal of Agriculture and Forestry University**, v. 6, n. 1, p. 7-19, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3126/jafu.v6i1.78076>. Disponível em: <https://nepjol.info/index.php/jafu/article/view/78076>.

FATHI, A. Role of nitrogen (N) in plant growth, photosynthesis pigments, and N use efficiency: A review. **Agrisost**, v. 28, p. 1-8, 2022. DOI: 10.5281/zenodo.7143588. Disponível em: <https://zenodo.org/records/7143588>.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura. In: FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. (Eds.). **Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. p. 209-220.

FERREIRA, R. C. et al. Effects of soil amendments with green biomass on quality indices of coriander. **Revista da Caatinga**, v. 37, p. e12418, 2024. <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v3712418rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/VhGbxLcCvhS5qSbsVTfhxmD/abstract/?lang=pt>.

FERREIRA, R. C. et al. Biomass use of *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera* in coriander cultivation in semiarid environment. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 595-605, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252025v35n310rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/7MTMTPHgbhchnrVws9qbxvf/?format=html&lang=en>.

FRANCO, M. F. S. et al. Quality of table beets (*Beta vulgaris*) as a function of potassium sources and quantities. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e333101321294–e333101321294, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i13.21294. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/21294>.

FRANCO, M. F. S.; DELGADO, E. U. A. Relation of fertilization and the quality of agricultural products. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e36311427562–e36311427562, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.27562. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/27562>.

GANTAIT, S. et al. Agri-biotechnology of coriander (*Coriandrum sativum* L.): an inclusive appraisal. **Microbiology Applied Biotechnology**, v. 106, n. 3, p. 951-969, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11787-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-022-11787-4>.

GUERRA, N. M. et al. Post-harvest indices and color parameters in beet roots intercropped with lettuce under organic fertilization and population densities. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 1–9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.05822>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/VbSNbzvBpkYt4RYvr76p4bM/?format=html&lang=en>.

HAQUE, M. A.; SAKIMIN, S. Z. Planting arrangement and effects of planting density on tropical fruit crops - A review. **Horticulturae**, v. 8, n. 6, p. 485, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.3390/horticulturae8060485>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/6/485>.

HOUNSOME, N. et al. Plant metabolites and nutritional quality of vegetables. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 4, p. R48-R65, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00716.x>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1750-3841.2008.00716.x>.

HUANG, X. et al. Mechanisms and regulation of organic acid accumulation in plant vacuoles. **Horticulture Research**, v. 8, 2021. DOI: 10.1038/s41438-021-00702-z. Disponível: <https://academic.oup.com/hr/article/doi/10.1038/s41438-021-00702-z/6491169>.

IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: IAL, 2008.

JIA, Z.; GIEHL, R. F. H.; VON WIRÉN, N. Nutrient–hormone relations: driving root plasticity in plants. **Molecular Plant**, v. 15, n. 1, p. 86-103, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molp.2021.12.004>. Disponível em: [https://www.cell.com/molecular-plant/fulltext/S1674-2052\(21\)00474-3](https://www.cell.com/molecular-plant/fulltext/S1674-2052(21)00474-3).

LABIMC. Laboratório de Instrumentação Meteorologia e Climatologia. **Estações Meteorológica Automática (EMA)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), 2025. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/dados-emas>. Acesso em: 02 fev. 2025.

LI, G. et al. Enhancing production efficiency through optimizing plant density in maize–soybean strip intercropping. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1473786, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1473786>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1473786/full>

LI, G. et al. Research progress of betalain in response to adverse stresses and evolutionary relationship compared with anthocyanin. **Molecules**, v. 24, n. 17, p. 3078, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24173078>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/17/3078>.

LIBUTTI, A.; TROTTA, V.; RIVELLI, A. R. Biochar, vermicompost, and compost as soil organic amendments: Influence on Growth Parameters, Nitrate and Chlorophyll Content of Swiss Chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla*). **Agronomy**, v. 10, n. 3, p. 346, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/3/346>

LINO, V. A. S. et al. Post-harvest indexes and colour parameters from arugula-beet intercropping under green manuring and population density. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20228560, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230059>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/JkY5jw4B9jsTXPKS5gL5zhQ/>.

LINO, V. A. S. et al. Bio-economic return from the green fertilizing and plant population in strip-intercropping of beet and rocket. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e20910817112-e20910817112, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17112. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/17112>.

LÓPEZ-SOLÓRZANO, E. et al. Conservation analysis and colorimetric characterization of betalain extracts from the peel of red beetroot, golden beetroot, and prickly pear applied to cottage cheese. **Foods**, v. 14, n. 2, p. 228, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14020228>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/2/228>.

MAITRA, S. et al. Intercropping – A low input agricultural strategy for food and environmental security. **Agronomy**, v. 11, p. 343, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/2/343>.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254–1255, 1992. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19930322597>.

MIRMIRAN, P. et al. Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardio-metabolic diseases. **Nutrition & Metabolism**, v. 17, n. 1, p. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12986-019-0421-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12986-019-0421-0>.

MOURA, E. A. et al. Management systems on production and physicochemical traits of fruits of conventionally and organically grown fig. **Revista da Caatinga**, v. 34, n. 4, p. 867–878, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n414rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/jprgMXKGFY44Kphc97NFf7G/abstract/?format=html&lang=pt>.

OLIVEIRA NETO, D. H. et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p.330-334, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/cXm7BGFJ4WnWHLnRJtNmhgs/?lang=pt>.

OLIVEIRA, P. H. A. et al. Growth and water status of cowpea under salt stress and exogenous melatonin application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 10, p. e293009, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n10e293009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xBxS7H5TwHVXKZPw6nkwK4P/?lang=en>.

PALUMBO, M. et al. Emerging postharvest technologies to enhance the shelf-life of fruit and vegetables: an overview. **Foods**, v. 11, n. 23, p. 3925, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11233925>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/23/3925>.

PAULA, F. S. et al. Production of fertilized lettuce with roostertree in different amounts and incorporation times. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 23, n. 5, p. 804-810, 2017. Disponível em: <https://agrojournal.org/23/05-17.pdf>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2023.

SADDHE, Ankush A.; MANUKA, Rakesh; PENNA, Suprasanna. Plant sugars: Homeostasis and transport under abiotic stress in plants. **Physiologia plantarum**, v. 171, n. 4, p. 739-755, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33215734/>

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/IML® 14.1 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2015.

SHAH, I. H. et al. Exploring the role of nitrogen and potassium in photosynthesis implications for sugar: accumulation and translocation in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 327, p. 112832, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112832>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423823010002?casa_token=luoCI413yScAAAAA:ueN0jBWDen8WnapiLnEuxPavs0hnxX9GpFx5ZRB4727JracSwGBazSY110jantDzu0SRFx29WZs.

SHOKO, T. et al. Changes in functional compounds, volatiles, and antioxidant properties of culinary herb coriander leaves (*Coriandrum sativum*) stored under red and blue LED light for different storage times. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 856484, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.856484>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2022.856484/full>.

SILVA, J. P. P. et al. Post-harvest quality and coloration of radish roots under organic fertilization in a semi-arid environment. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. e004423, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202347004423>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/f3pb86MzFNJ78mrPNBQfcVS>.

SOKOLOVA, D. V. et al. Betalain content and morphological characteristics of table beet accessions: their interplay with abiotic factors. **Agronomy**, v. 12, n. 5, p. 1033, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051033>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/1033>.

SYSTAT SOFTWARE Inc. **Table Curve 3D Academic Edition**. San Jose, CA, 2021.

TAIZ, L. et al. **Plant physiology and development**. 7. ed. New York: Oxford University Press. 2024.

TANG, C. S.; MH, N. M. N. Stability of betacyanin pigments from red purple pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*): influence of pH, temperature, metal ions and ascorbic acid. **Indonesian Journal of Chemistry**, v. 7, n. 3, p. 327–331, 2007. DOI: <https://doi.org/10.22146/ijc.21678>. Disponível em: <https://journal.ugm.ac.id/ijc/article/view/21678>.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.

THIRUVENGADAM, M. et al. A comprehensive review of beetroot (*Beta vulgaris* L.) bioactive components in the food and pharmaceutical industries. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 64, n. 3, p. 708–739, 2024. DOI:

<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2108367>. Disponível em:
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2022.2108367?casa_token=7MoXNXDfUfIAAAAA:vgJktGd1Pex0DC91WSzfD2tljKNJ4bAIVJH7po3Sxv3ibtOseBvaT-peNPhgcQFojCMgti_UYQ3U7E18.

THOKAR, N. et al. Effect of pre-harvest factors on post-harvest quality of horticultural products. **Food and Agriculture Economic Review**, v. 2, p. 92–95, 2022. DOI: <http://doi.org/10.26480/faer.02.2022.92.95>. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dipak-Kattel/publication/364731561_EFFECT_OF_PRE-HARVEST_FACTORS_ON_POSTHARVEST_QUALITY_OF_HORTICULTURAL_PRODUCTS/links/63589b5a6e0d367d91ca38ec/EFFECT-OF-PRE-HARVEST-FACTORS-ON-POSTHARVEST-QUALITY-OF-HORTICULTURAL-PRODUCTS.pdf.

VANDERMEER, J. H. **The ecology of intercropping**. New York: Cambridge University Press, 1989.

VARGA, I. et al. Efficiency and management of nitrogen fertilization in sugar beet as spring crop: A review. **Nitrogen**, v. 3, n. 2, p. 170–185, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/nitrogen3020013>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-3129/3/2/13>.

XING, X. et al. Optimizing nitrogen application enhances sugar beet (*Beta vulgaris* L.) productivity by modulating carbon and nitrogen metabolism. **Agronomy**, v. 15, n. 5, p. 1142, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15051142>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/5/1142>.

YAMADA, K.; OSAKABE, Y. Sugar compartmentation as an environmental stress adaptation strategy in plants. **Seminars in Cell & Developmental Biology**. v. 83, p. 106–114, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29287835/>

YEMM, E. W.; WILLIS, A. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508, 1954. DOI: <https://doi.org/10.1042/bj0570508>. Disponível em: <https://europepmc.org/backend/ptpmcrender.fcgi?accid=PMC1269789&blobtype=pdf>.

ZHANG, X. et al. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 203–216, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.031>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224419300718?casa_token=DKHDrW3naIoAAAAA:bpYInorKUYGt8pIbZEEsvzfzhXbZ9pFYEbcbCEmDsvFGqh4d8grfC8kCaScJ7B11NhFEitig.

ZHANG, Y. et al. Study on the effect of magnesium on leaf metabolites, growth and quality of tea tree. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1192151, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1192151>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1192151/full>.

CAPÍTULO IV – MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS NO CONSÓRCIO DE HORTALIÇAS EM SUCESSÃO SOB ADUBAÇÃO VERDE E DENSIDADE POPULACIONAL EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

RESUMO

O desempenho das plantas depende da capacidade do sistema solo-planta de manter o equilíbrio metabólico sob estresse abiótico, o que, em sistemas consorciados, pode ser mais pronunciado devido à competição por recursos, levando a ajustes morfofisiológicos. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento dos parâmetros morfofisiológicos, relacionados ao status hídrico e pigmentos fotossintéticos, no consórcio de beterraba com coentro e alface em sucessão, combinando diferentes quantidades dos adubos verdes e densidades populacionais, em ambiente semiárido. Dois experimentos de campo foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quantidades de biomassa de *Merremia aegyptia* e *Calotropis procera* (25, 45, 65 e 85 t ha⁻¹) e de densidades populacionais de culturas folhosas (40, 60, 80 e 100% da densidade recomendada em monocultivo – DRM). Os parâmetros morfofisiológicos avaliados foram: conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), suculência (SUC), massa foliar por unidade de área (MFA) e teor de clorofila (Clo) *a*, *b* e total. A combinação de 85 t ha⁻¹ dos adubos verdes com 100% da DRM das folhosas favoreceu o status hídrico da beterraba (CRA = 74,51%; UF = 94,46% e SUC de 2448,57 g m²), do coentro (CRA = 85,22%; UF = 92,21% e SUC de 987,13 g m²) e da alface (CRA = 98,24%; UF = 97,28% e suculência de 2019,65 g m²) e reduziu a MFA. Os maiores teores de clorofila *a* (26,82 FCI), *b* (10,25 FCI) e total (35,79 FCI) para a beterraba foram obtidos ao combinar 64,48; 68,00 e 61,51 t ha⁻¹ dos adubos verdes com 100% da DRM. As maiores quantidades dos adubos verdes com a maior densidade populacional resultaram nos maiores índices de clorofilas para o coentro (Clo *a* = 25,57 FCI; Clo *b* = 8,88 FCI; Clo total = 34,09 FCI) e para a alface (Clo *a* = 13,57 FCI; Clo *b* = 3,38 FCI; Clo total = 16,76 FCI). Esses resultados possibilitam afirmar que a combinação estratégica entre adubação verde e densidade populacional melhora as condições edafoclimáticas do sistema, modulando a estabilidade funcional e o status hídrico das hortaliças consorciadas em ambiente semiárido.

Palavras-chave: *Merremia aegyptia*; *Calotropis procera*; eficiência hídrica; capacidade fotossintética; sustentabilidade.

CHAPTER IV - PLANT MORPHOPHYSIOLOGY IN VEGETABLE INTERCROPPING SYSTEMS UNDER GREEN MANURE AND POPULATION DENSITY IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT

ABSTRACT

Plant performance depends on the ability of the soil-plant system to maintain metabolic balance under abiotic stress, which, in intercropping systems, can be more pronounced due to competition for resources, leading to morphophysiological adjustments. In this context, the objective of this study was to evaluate the behavior of morphophysiological parameters related to water status and photosynthetic pigments, in the intercropping of beetroot with coriander and lettuce in succession, combining different amounts of green manures and population densities, in a semi-arid environment. Two field experiments were conducted in a randomized block design in a 4×4 factorial scheme, with four replications. The treatments tested consisted of the combination of biomass amounts of *M. aegyptia* and *C. procera*: 25, 45, 65, and 85 t ha⁻¹, and the planting densities of leafy vegetables: 40, 60, 80, and 100% of the recommended density in monoculture - RDM. The morphophysiological parameters evaluated were: relative water content (RWC), leaf moisture (LM), succulence (SUC), leaf mass per unit area (LMA), and chlorophyll (Chl) *a*, *b*, and total content. The combination of 85 t ha⁻¹ of green manures with 100% of the RDM of leafy greens favored the water status of beetroot (RWC = 74.51%; LM = 94.46% and SUC of 2448.57 g m²), coriander (RWC = 85.22%; LM = 92.21% and SUC of 987.13 g m²), and lettuce (RWC = 98.24%; LM = 97.28% and SUC of 2019.65 g m²) and reduced the LMA. The highest chlorophyll *a* (26.82 FCI), *b* (10.25 FCI) and total (35.79 FCI) contents for beetroot were obtained by combining 64.48, 68.00 and 61.51 t ha⁻¹ of green manures with 100% of the RDM. The largest quantities of green manures with the highest population density resulted in the highest chlorophyll indexes for coriander (Chl *a* = 25.57 FCI; Chl *b* = 8.88 FCI; Chl total = 34.09 FCI) and lettuce (Chl *a* = 13.57 FCI; Chl *b* = 3.38 FCI; Chl total = 16.76 FCI). These results allow us to affirm that the strategic combination of green manure and population density improves the edaphoclimatic conditions of the system, modulating the functional stability and water status of intercropped vegetables in a semi-arid environment.

Keywords: *Merremia aegyptia*; *Calotropis procera*; water efficiency; photosynthetic capacity; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho produtivo das culturas depende da capacidade do sistema solo-planta de sustentar processos metabólicos (Zhao et al., 2024; Shoukat et al., 2025). Esse princípio torna-se ainda mais crítico em sistemas de hortaliças cultivadas sob condições semiáridas, onde a limitação hídrica e as elevadas temperaturas intensificam a vulnerabilidade fisiológica das plantas (Mata et al., 2024; Liu Huaqing et al., 2025; Mahajan et al., 2025), comprometendo a estabilidade produtiva. O avanço das mudanças climáticas intensifica essas restrições e reforça a demanda por sistemas de manejo resilientes que minimizem seus impactos sobre o desempenho das culturas (Yin et al., 2023; Awais; Wang; Ashraf et al., 2026).

Entre os diferentes arranjos de cultivo capazes de modular respostas das plantas, destacam-se os sistemas consorciados de hortaliças sob adubação verde com espécies da Caatinga (*Merremia aegyptia* e *Calotropis procera*), frequentemente associados ao aumento da eficiência no uso de recursos em ambientes restritivos (Chaves et al., 2022; Lino et al., 2023; Silva et al., 2025; Azevedo et al., 2026). Contudo, as evidências disponíveis concentram-se predominantemente em métricas de produtividade e economia, com limitada compreensão dos mecanismos fisiológicos que sustentam essas respostas, especialmente em sistemas com cultivo sucessivo, nos quais a cultura subsequente é estabelecida sob a influência estrutural e funcional da cultura principal já desenvolvida.

Nesse contexto, a densidade populacional emerge como um fator estruturante adicional, ao influenciar a competição por nutrientes, água e luz, modificando o microclima do dossel e a dinâmica hídrica do solo (Huber et al., 2021; Sahoo et al., 2025). A utilização dos adubos verdes introduz uma dimensão adicional de complexidade nesses sistemas, ao promover melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo a retenção de água e a liberação gradual de nutrientes. Tais modificações atenuam os estresses abióticos e estabelecem condições edáficas e fisiológicas mais favoráveis para o desenvolvimento das culturas (Bezerra Neto et al., 2024; Xu et al., 2024; Wen et al., 2025).

A combinação desses fatores altera a distribuição espacial e temporal dos recursos no sistema, modificando os padrões de crescimento e a intensidade das interações entre as culturas consorciadas (Li et al., 2025), redefinindo respostas adaptativas para a exploração de água, radiação fotossintética ativa e nutrientes minerais (Huang et al., 2021). Essas mudanças desencadeiam ajustes morfofisiológicos individuais, associados à manutenção do turgor e da expansão celular, ao acúmulo de biomassa e à integridade do aparato fotossintético, com reflexos diretos na estabilidade fisiológica das plantas (Pierre et al., 2024; Taiz et al., 2024) e,

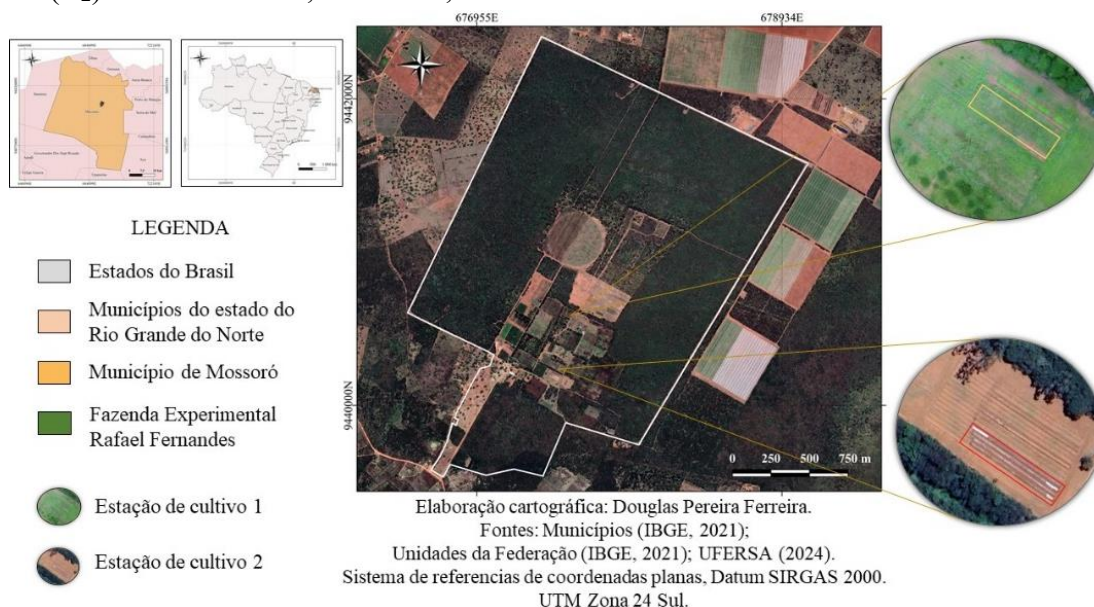
consequentemente, na eficiência produtiva do sistema. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento dos parâmetros morfofisiológicos, relacionados ao status hídrico e pigmentos fotossintéticos, no consórcio de beterraba com coentro e alface em sucessão, combinando diferentes quantidades dos adubos verdes e densidades populacionais, em ambiente semiárido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos em campo e realizados em dois períodos de cultivo (C): de agosto a dezembro de 2023 (C₁) e de julho a novembro de 2024 (C₂), na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (UFERSA), localizada no distrito de Lagoinha, Mossoró, RN, nas coordenadas 5°03'37"S, 37°23'50"W, 18 m de altitude (Figura 1). Os períodos foram escolhidos por apresentarem condições climáticas mais adequadas ao crescimento das hortaliças, evitando chuvas intensas e reduzindo a incidência de pragas e doenças.

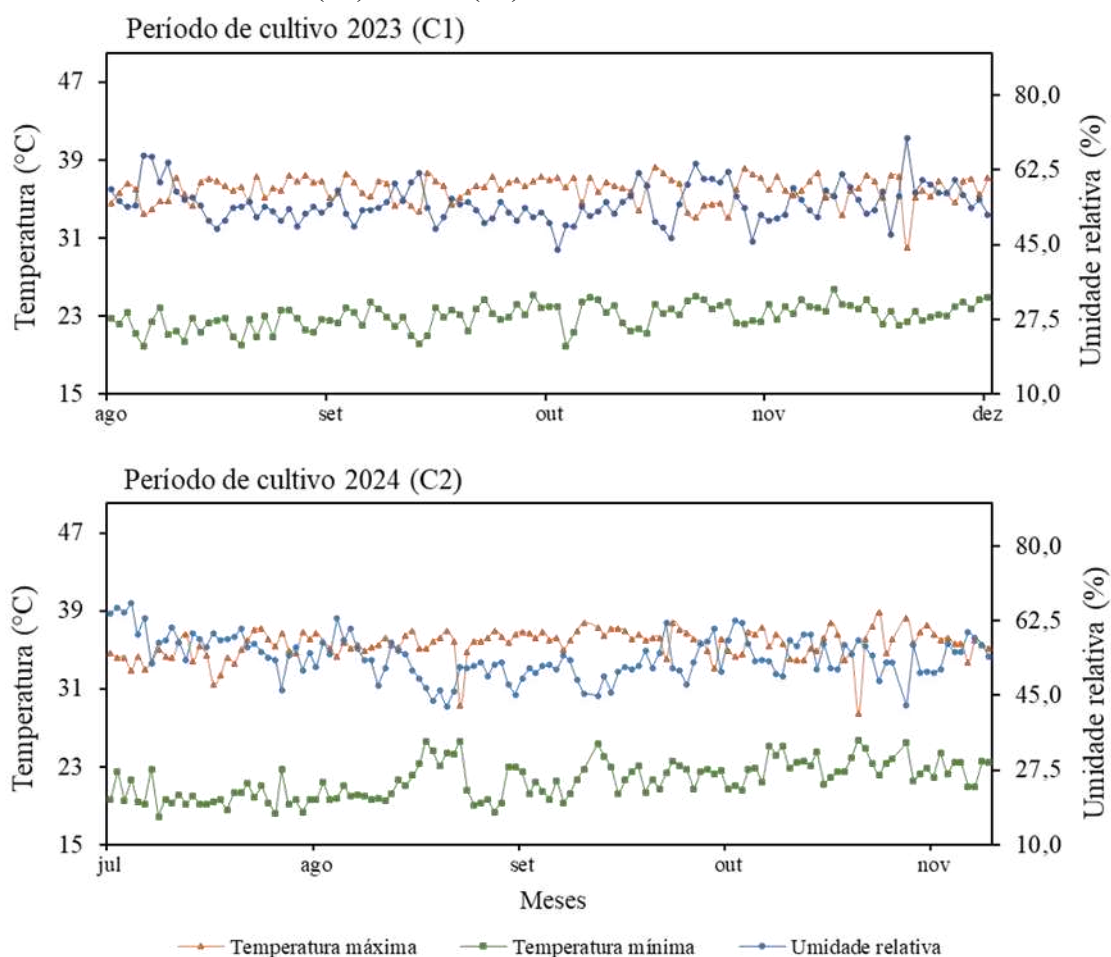
Figura 1 – Mapa de localização das áreas experimentais dos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Conforme a classificação de Köppen-Geiger, a área experimental apresenta clima BSh', típico do semiárido quente, com temperaturas elevadas e precipitações concentradas entre fevereiro e maio, seguidas por um período seco mais prolongado ao longo do ano (Beck et al.,

2018). Durante os períodos experimentais, o C₁ apresentou temperatura média de 29,2 °C, umidade relativa do ar de 54,7 %, radiação solar de 19,8 MJ m⁻² e velocidade do vento de 5,9 m s⁻¹, enquanto no C₂ os valores foram de 28,6 °C, 54,1 %, 18,7 MJ m⁻² e 5,4 m s⁻¹, respectivamente. Não houve precipitação em nenhum dos períodos (LABIMC, 2025). As variações diárias de temperatura mínima e máxima, assim como da umidade relativa do ar, estão apresentadas na Figura 2

Figura 2 – Médias diárias de temperatura mínima, máxima e de umidade relativa do ar, nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

As áreas experimentais apresentam solo do tipo LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, com textura arenosa (Santos et al., 2018). Antes da instalação dos experimentos, foi realizada uma coleta de solo na camada de 0-20 cm de profundidade para a determinação de seus atributos químicos, seguindo a metodologia da EMBRAPA (Teixeira et al., 2017). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise química do solo antes da incorporação dos adubos verdes nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Período de cultivo	MO*	pH	CTC	SB	K	Ca	Mg	Na	P	Cu	Fe	Mn	Zn
	g dm ⁻³	(H ₂ O)	-----	-----	mmolc dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----
C ₁	13,25	5,80	27,90	14,40	1,77	8,40	2,70	1,49	6,00	0,20	18,70	4,90	0,60
C ₂	14,70	6,20	58,10	38,40	3,28	19,30	13,70	2,09	27,00	4,09	4,90	11,31	5,51

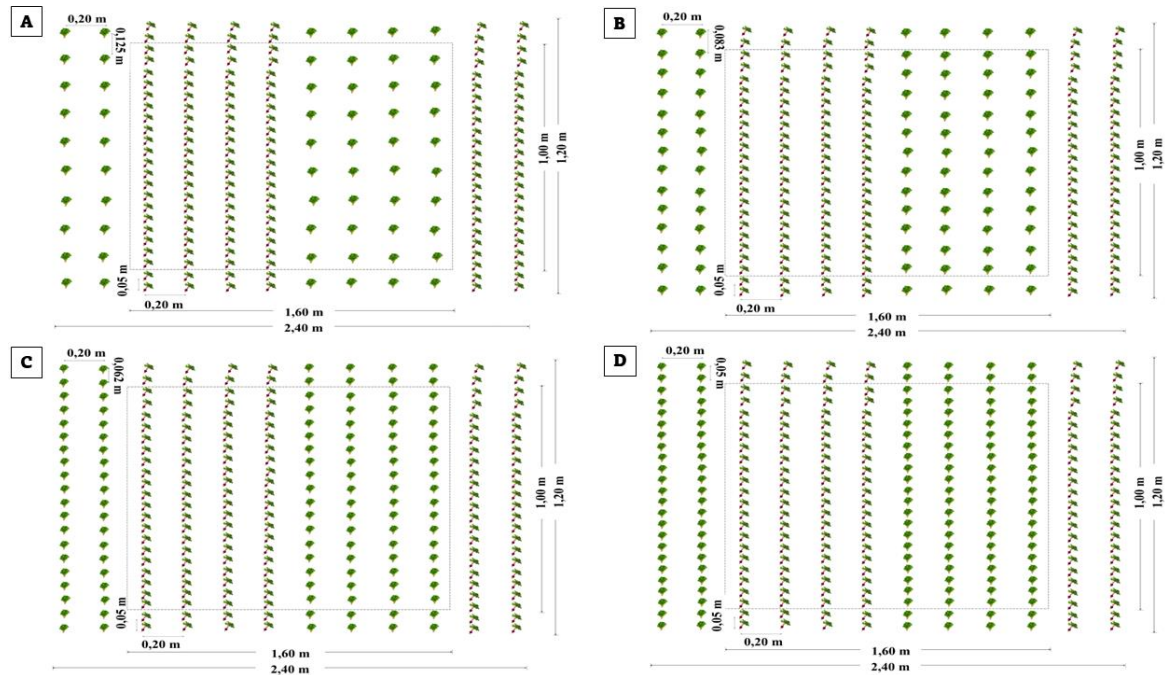
Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: pH: potencial Hidrogeniônico; M.O: Matéria orgânica; CE: condutividade elétrica; SB: saturação por base; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Na: sódio; P: fósforo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4, com quatro repetições. O primeiro fator correspondeu às quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* de 25, 45, 65 e 85 t ha⁻¹ em base seca, e o segundo fator às densidades populacionais das folhosas de 40, 60, 80 e 100% da densidade populacional recomendada para o monocultivo (DRM), sendo a alface cultivada em sucessão ao coentro, nas mesmas densidades populacionais. A cultura da beterraba foi conduzida com densidade populacional equivalente a 100 % da DRM, tanto em sistema consorciado quanto em monocultivo. Na região, as densidades populacionais recomendadas para o monocultivo da beterraba, coentro e alface são de 500, 1.000 e 250 mil plantas ha⁻¹, respectivamente (Paula et al., 2017; Lino et al., 2021; Ferreira et al., 2022). No sistema consorciado, para a cultura do coentro foram utilizadas duas plantas por cova, perfazendo a população estimada para o monocultivo. Em cada bloco experimental, foram plantadas parcelas em monocultivo de beterraba, coentro e alface, sendo adubadas com quantidades equitativas de biomassa seca de *M. aegyptia* e *C. procera*, conforme recomendação de Lino et al. (2021) e Ferreira et al. (2022).

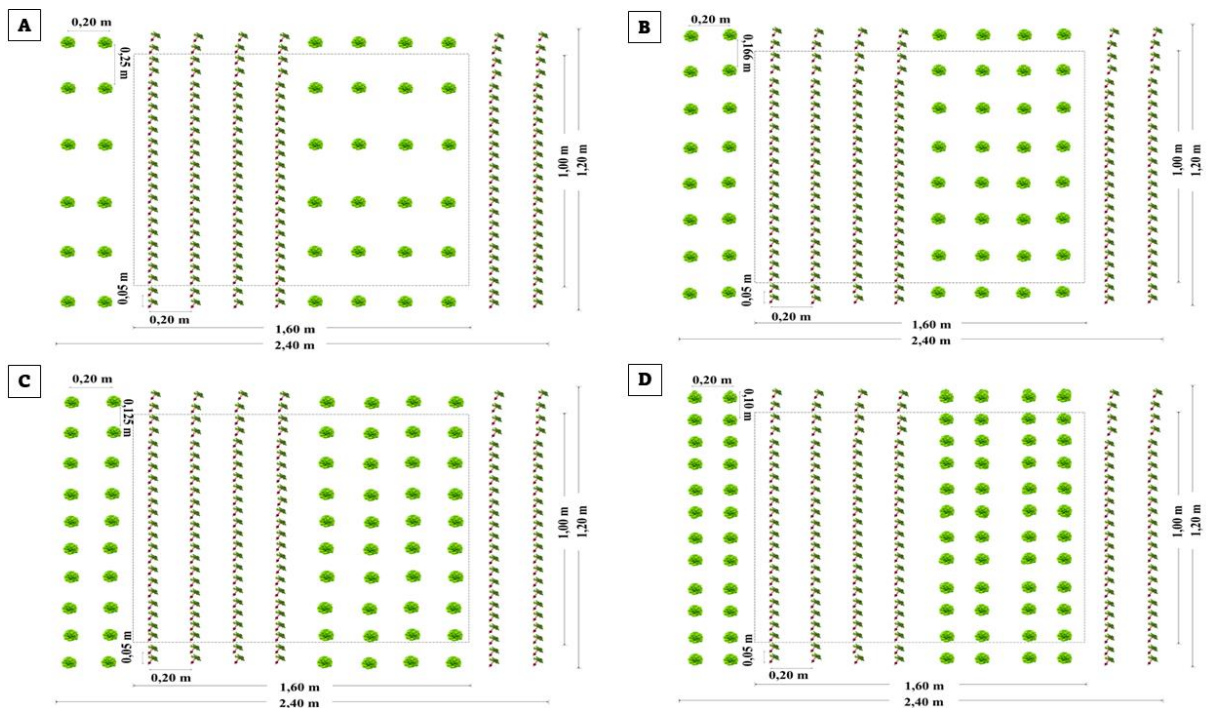
O sistema consorciado foi estabelecido em faixas alternadas das culturas componentes, distribuindo 50 % da área para a beterraba e 50 % para as folhosas, com área total de 2,88 m² (2,40 x 1,20 m) e área útil de 1,60 m² (1,60 x 1,00 m). Em cada parcela, as faixas centrais contavam com quatro fileiras, ladeadas por duas fileiras de coentro ou alface de um lado e duas fileiras de beterraba do outro, sendo estas utilizadas como bordadura (Figuras 3A-D e 4A-D). A área total do monocultivo das hortaliças foi de 1,44 m² (1,20 x 1,20 m), com uma área útil de 0,80 m² (0,80 x 1,00 m) para a beterraba e coentro cada e, de 0,60 m² (0,80 x 0,80 m) para a alface (Figura 5A-D). A área útil foi constituída pelas faixas centrais de plantas, excluindo-se as primeiras e as últimas plantas de cada fileira das faixas usadas como bordaduras.

Figura 2 – Representação das parcelas em sistema consorciado de beterraba (500 mil plantas ha^{-1}) com coentro nas densidades populacionais de 400 (A), 600 (B), 800 (C) e 1000 (D) mil plantas ha^{-1} de coentro com 500 mil plantas ha^{-1} de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



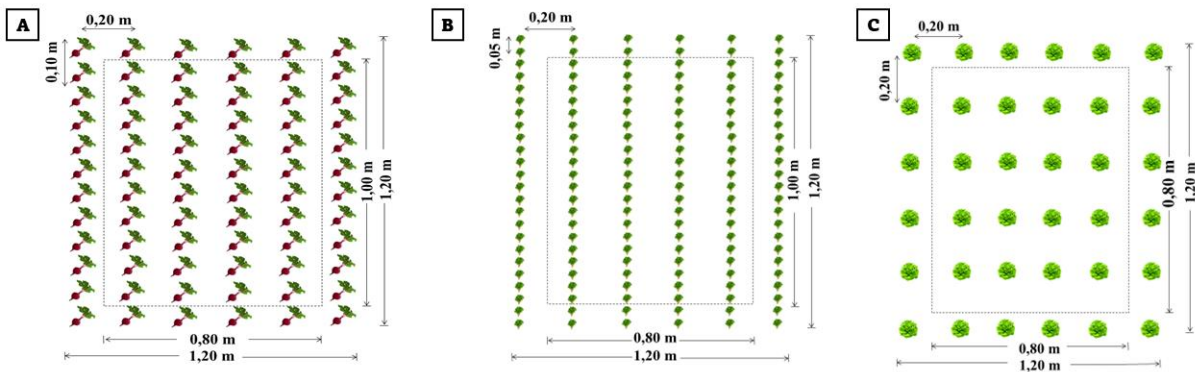
Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Coentro.

Figura 3 – Representação das parcelas em sistema consorciado de beterraba (500 mil plantas ha^{-1}) com alface nas densidades populacionais de 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 (D) mil plantas ha^{-1} de alface com 500 mil plantas ha^{-1} de beterraba. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Alface.

Figura 4 – Representação das parcelas em monocultivo de beterraba (A), coentro (B) e alface (C) nas densidades de 500, 1.000 e 250 mil plantas por hectare, respectivamente. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Beterraba; Coentro; Alface.

A Tabela 2 apresenta os espaçamentos utilizados para o sistema consorciado e em monocultivo.

Tabela 2 – Descrição das densidades populacionais da beterraba, coentro e alface utilizados em sistema consorciado e em monocultivo, com seus respectivos percentuais das densidades populacionais e espaçamentos. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidades populacionais das culturas em cultivo consorciado					
População (mil plantas ha ⁻¹)			Espaçamento (m)		
Beterraba	Coentro	Alface	Beterraba	Coentro*	Alface
500	400 (40%)	100 (40%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,120	0,20 x 0,250
500	600 (60%)	150 (60%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,085	0,20 x 0,166
500	800 (80%)	200 (80%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,062	0,20 x 0,125
500	1.000 (100%)	250 (100%)	0,20 x 0,05	0,20 x 0,050	0,20 x 0,100
Densidades populacionais das culturas em monocultivo					
População (mil plantas ha ⁻¹)			Espaçamento (m)		
			Beterraba	Coentro	Alface
Beterraba	500	0,20 x 0,10			
Coentro	1.000	0,20 x 0,05			
Alface	250	0,20 x 0,20			

Fonte: Elaborado pela autora (2026). * duas plantas de coentro por cova.

2.3 Instalação e condução dos experimentos

Nas áreas experimentais, inicialmente foi realizado o preparo do solo, com limpeza mecanizada com auxílio de um arado, seguida de uma gradagem e levantamento dos canteiros com enxada rotativa encanteiradora. Em seguida, os canteiros foram solarizados em pré-plantio por 30 dias com plástico transparente (Vulca Brilho Bril Flex de 30 µm), para diminuição da população de plantas daninhas e de microrganismos fitopatogênicos do solo. Posteriormente, a

biomassa seca dos adubos verdes foi incorporada ao solo, de forma manual com auxílio de enxadas, na camada de 0 a 20 cm do solo. Os adubos verdes utilizados na pesquisa foram coletados em áreas rurais e urbanas de Mossoró – RN e transportados para o setor da Horta Didática da UFERSA, onde foram triturados em máquina forrageira convencional, obtendo-se partículas de 2,0 a 3,0 cm. Em seguida, o material foi submetido à secagem ao sol por sete dias, com revolvimento duas vezes por dia, até atingir aproximadamente 10 % de umidade, período sujeito a variações climáticas e à espessura da camada em que os adubos verdes são distribuídos. Para a caracterização química, uma amostra da biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* foi analisada, e os resultados obtidos estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise química de macro e micronutrientes na biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* incorporadas ao solo nos períodos de cultivo de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Aduvos verdes	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B	C:N
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----					
Período de cultivo 2023 (C ₁)											
<i>M. aegyptia</i>	18,98	3,01	37,40	18,55	4,97	438	27,00	6,00	19,00	44,00	20:1
<i>C. procera</i>	15,91	1,22	32,70	10,64	6,41	87	24,00	10,00	77,00	37,00	16:1
Período de cultivo 2024 (C ₂)											
<i>M. aegyptia</i>	20,02	3,70	33,62	13,20	3,65	384	21,02	7,76	23,90	25,66	19:1
<i>C. procera</i>	23,10	2,80	37,62	9,71	7,99	195	21,78	7,58	38,98	34,88	15:1

*N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Fe: ferro; Zn: zinco; Cu: cobre; Mn: manganês; B: boro; relação Carbono: Nitrogênio.

A semeadura das hortaliças ocorreu 15 dias após a incorporação dos adubos verdes. A beterraba (cultivar Early Wonder) e o coentro (cultivar Verdão) foram semeados em 29 de setembro de 2023 (C₁) e 05 de setembro de 2024 (C₂), em covas de 3 cm de profundidade colocando-se três sementes por cova. O desbaste foi realizado aos 12 e 19 DAS no C₁ e aos 14 e 20 DAS no C₂, mantendo-se uma planta por cova para cultura da beterraba e duas para a cultura do coentro. Três dias após a colheita do coentro, a área destinada às folhosas foi limpa, removendo-se todos os resíduos da cultura, e as mudas de alface cultivar Jade, produzidas pela HortVida Agrícola ME, foram transplantadas. O transplante ocorreu em 09 de novembro de 2023 (C₁) e em 10 de outubro de 2024 (C₂), aos 22 DAS, em covas de 5 cm de profundidade.

Os experimentos foram conduzidos sob irrigação por microaspersão em dois turnos de rega (manhã e tarde), atendendo à demanda hídrica da cultura principal, a beterraba (Kc médio: 0,83), com lâmina de água de aproximadamente 8 mm dia⁻¹ (Oliveira Neto et al., 2011). Na cultura da beterraba foi realizada amontoa aos 35 DAS, com repetições conforme necessidade, a fim de preservar as raízes e prevenir rachaduras. Além disso, a tuberosa foi tratada com

Trichodermil Super SC®, registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para uso em sistemas orgânicos, para combater fungos fitopatogênicos dos gêneros *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., identificados por ocasião do desbaste. Nas culturas folhosas, não foi necessário realizar nenhum tratamento fitossanitário. O controle de plantas daninhas foi efetuado mediante capinas manuais, realizadas sempre que necessárias.

As colheitas foram realizadas aos 58 e 60 DAS para beterraba, aos 35 e 28 DAS para coentro e aos 29 e 35 dias após o transplântio para alface, nos períodos C₁ e C₂, respectivamente.

2.4 Características avaliadas

Os parâmetros morfofisiológicos foram determinados a partir das folhas de uma amostra de três plantas de cada cultura, coletadas aleatoriamente da área útil de cada parcela, selecionando-se folhas completamente expandidas, livres de danos mecânicos e fitossanitários. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, mantidas sob refrigeração e imediatamente transportadas ao Laboratório de Pós-Colheita do Centro de Produção Vegetal do Semi-Árido (CPVSA/UFERSA) e, posteriormente, foram submetidas às análises. O status hídrico das plantas foi avaliado por meio da determinação do conteúdo relativo de água (CRA), da umidade foliar (UF), da massa foliar por unidade de área (MFA) e da suculência foliar (SUC).

O CRA foi determinado conforme metodologia proposta por Irígovyen, Einerich e Sánchez-Díaz (1992). Dez discos foliares (0,6 cm) foram coletados de cada cultura e, em seguida, pesados para a obtenção da massa fresca (MF), determinada em uma escala digital (0,0001 g). As amostras foram imersas em água destilada e mantidas em ambiente escuro por 24 h, até atingirem a turgescência máxima, sendo-as novamente pesadas para a determinação da massa túrgida (MT). Posteriormente, os discos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, para obtenção da massa seca (MS). A partir desses dados, foram calculados o CRA, a UF, a MFA e a SUC, pelas equações (1), (2), (3) e (4), respectivamente:

$$\text{CRA (\%)} = \frac{(\text{MF} - \text{MS})}{(\text{MT} - \text{MS})} \times 100 \quad (1),$$

$$\text{UF (\%)} = \frac{(\text{MF} - \text{MS})}{\text{MF}} \times 100 \quad (2),$$

$$\text{MFA (g m}^2\text{)} = \frac{\text{MS}}{\text{AF}} \quad (3),$$

$$\text{SUC (g m}^2\text{)} = \frac{(\text{MF} - \text{MS})}{\text{AF}} \quad (4),$$

em que:

- *MF* é o peso da massa fresca (g);
- *MS* é o peso da massa seca da folha (g);
- *MT* é o peso da massa túrgida (g);
- *AF* é a área foliar do disco (m²).

Os índices de clorofila foram avaliados em campo, obtidos pelo método não destrutivo, utilizando clorofilômetro portátil eletrônico (modelo CFL 1030, Falker, Porto Alegre, Brasil). Duas medições foram feitas para cada planta, em duas folhas completamente expandidas e saudáveis. O aparelho foi calibrado a cada leitura. As leituras foram feitas na região mediana do limbo foliar, excluindo a nervura central, conforme procedimento descrito por Putti et al. (2025). A partir dessas leituras, foram extraídos os índices relativos de clorofila *a* clorofila *b* e clorofila total (*a* + *b*), expressos na unidade de medida do Índice de Clorofila Falker (ICF).

2.5 Análises estatísticas

Os resultados dos parâmetros morfofisiológicos foram submetidos a uma análise de variância univariada, em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial. Uma análise conjunta foi feita entre os períodos de cultivo, devido à homogeneidade das variâncias entre os períodos, sendo feita uma média entre eles, para cada tratamento (Pimentel-Gomes, 2023). Em seguida, através do *software* Table Curve 3D versão 4.0 (Systat Software, 2021), foi feito o ajustamento de curva de regressão por superfície de resposta, para estimar o comportamento de cada variável em função de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas.

O emprego dos modelos ajustados permite explorar padrões contínuos de resposta em função dos fatores estudados e foram selecionados baseados nos seguintes critérios: lógica biológica da variável; significância do quadrado médio do resíduo da regressão; alto valor do coeficiente de determinação e significância dos parâmetros da equação de regressão. Os valores médios entre os sistemas de cultivo foram comparados pelo teste F. Todos os dados foram

analisados utilizando o *software* SAS versão 9.0 (SAS, 2015). Uma análise de componentes principais foi empregada para avaliar a relação entre os parâmetros analisados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cultura da beterraba

O conteúdo relativo de água (CRA) não teve influência significativa das fontes de variação analisadas, o que indica mecanismos de regulação hídrica foliar da cultura, que permitem manter a água nos tecidos dentro de uma faixa estreita, mesmo frente a variações dos tratamentos. A umidade foliar (UF), a massa foliar por unidade de área (MFA) e a suculência foliar (SUC) responderam significativamente às quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (Q) e às densidades populacionais das folhosas (D). Entretanto, a interação entre os fatores (Q x D) não foi significativa para nenhum dos parâmetros estudados (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de F e médias para conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA) e suculência foliar (SUC) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

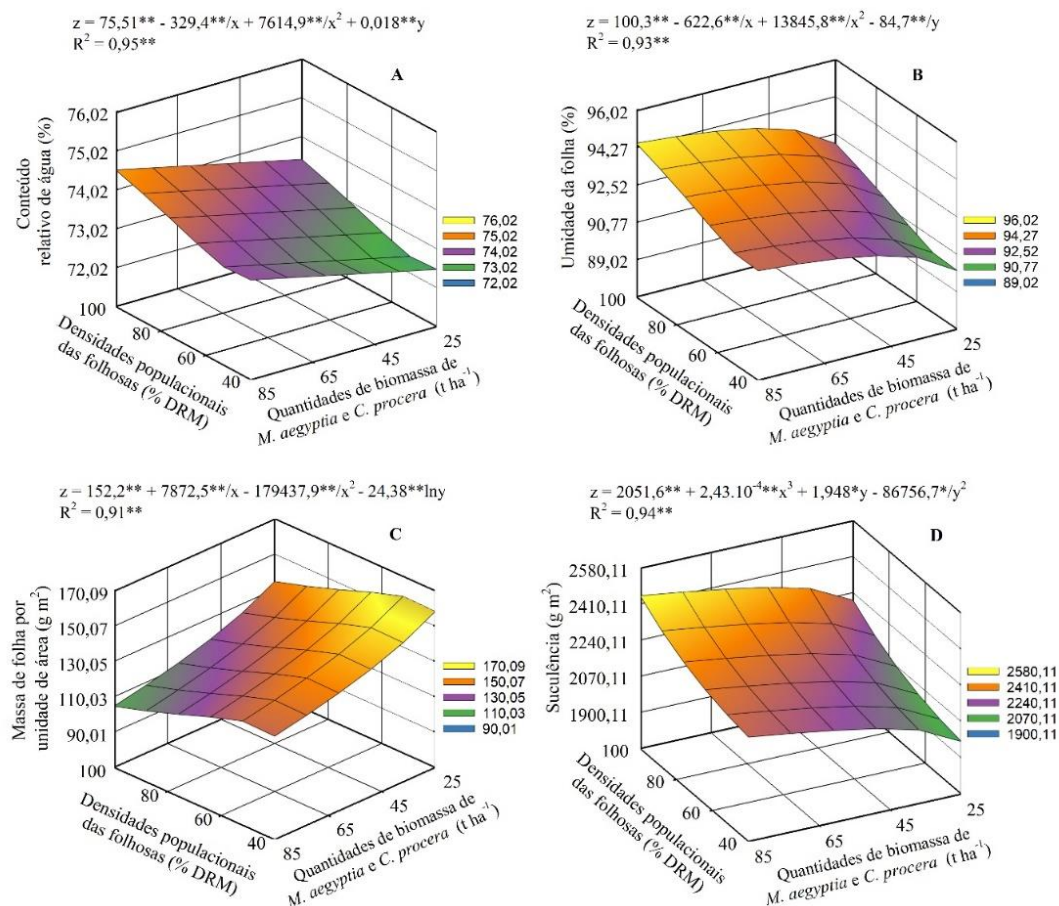
Fonte de variação	GL	CRA	UF	MFA	SUC
Blocos	3	1,28 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,23 ^{ns}	2,22 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	0,33 ^{ns}	29,03 ^{**}	16,25 ^{**}	41,01 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	0,27 ^{ns}	22,50 ^{**}	12,83 ^{**}	37,79 ^{**}
Q x D	9	0,01 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,09 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	2,52 ^{ns}	23,00 ^{**}	25,43 ^{**}	34,27 ^{**}
Superfície resposta					
Regressão		73,72 ^{**}	49,61 ^{**}	43,00 ^{**}	65,19 ^{**}
Erro		0,0224	0,1608	26,5446	1302,78
Sistemas de cultivo[†]		CRA (%)	UF (%)	MFA (g m²)	SUC (g m²)
Consórcio		73,44a [†]	92,45b	131,48a	2214,25b
Monocultivo		70,43a	94,43a	99,17b	2411,25a
CV (%)		5,01	0,87	9,60	2,93

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Pela modelagem por superfície resposta ($p < 0,01$; $R^2 > 0,91$) é possível verificar que em folhas de beterraba, o maior conteúdo relativo de água (74,51%) foi obtido com 85 t ha⁻¹ de biomassa dos adubos verdes associada a 100% da densidade recomendada para o monocultivo (DRM) das folhosas, condição na qual a umidade foliar também atingiu maior valor (94,46%).

A massa foliar por unidade de área teve valor máximo de 160,07 g m⁻² com 25 t ha⁻¹ dos adubos verdes e 45,59% da DRM, enquanto a suculência foliar máxima de 2448,57 g m⁻² foi obtida com a combinação de 85 t ha⁻¹ e 100% da DRM das folhosas (Figura 6A-D).

Figura 6 – Conteúdo relativo de água (A), umidade foliar (B), massa foliar por unidade de área (C) e suculência foliar (D) de folhas de beterraba em sistema consorciado com coentro e alface em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

O maior status hídrico e de turgescência celular das plantas (CRA, UF e SUC) resultou da associação entre a maior quantidade dos adubos verdes combinada com elevada densidade populacional (Figuras 6A, B e D). Esses resultados sugerem que a combinação preservou o turgor e o potencial de pressão celular, mantendo a expansão do vacúolo e a integridade das membranas, efeito associado ao ajuste osmótico e à disponibilidade hídrica do sistema (Argiolas et al., 2016; Franco-Navarro et al., 2025). Assim, o aumento observado no CRA, na UF e na SUC (Figura 6A, B e D) pode ser atribuído a ajustes fisiológicos das plantas frente às melhorias nas condições edáficas e microclimáticas promovidas pelo manejo do consórcio, uma

vez que refletem diretamente o conteúdo de água e o turgor dos tecidos foliares, sendo sensíveis às alterações no balanço hídrico solo-planta.

O aumento desses parâmetros em resposta às maiores quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (85 t ha⁻¹) pode estar associado ao aumento do aporte de matéria orgânica, que melhora a estrutura física do solo, aumentando a porosidade e a capacidade de retenção de água no perfil, além de reduzir a evaporação e melhorar a infiltração (Tian et al., 2022). Essas mudanças reduzem a variação no conteúdo hídrico do solo, favorecendo a absorção de água e de nutrientes pelas raízes, refletindo no crescimento e, consequentemente, na produtividade (Álvarez; Acosta-Motos, 2022).

Adicionalmente, a dinâmica de mineralização da biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* por meio da decomposição microbiana dos resíduos orgânicos incorporados ao solo, resulta na liberação gradual de nutrientes, como o N, P e K, para a solução do solo, aumentando sua disponibilidade para absorção pelas plantas (Bezerra Neto et al., 2024). Esses nutrientes participam de processos fisiológicos essenciais, incluindo síntese proteica e expansão celular (N), metabolismo energético e crescimento radicular (P) e regulação osmótica e estomática (K), mecanismos associados à manutenção do turgor, ao status hídrico e ao desempenho fisiológico das plantas (Taiz et al., 2024).

O manejo com a maior quantidade dos adubos verdes contribuiu para a manutenção da elevada densidade das folhosas, resultando em dossel mais fechado. O maior adensamento (100 % da DRM), aliado às diferenças morfofisiológicas e ao padrão de distribuição radicular entre as culturas consorciadas, promoveu alterações no microclima do interior do dossel, o que pode ter aumentado a eficiência hídrica no sistema. A maior sobreposição das copas, possivelmente, reduziu a incidência direta da luz e a velocidade do vento, resultando na elevação da umidade relativa no microambiente do dossel. Essas condições atenuam o déficit de pressão de vapor e limitam a perda de água por transpiração, favorecendo a manutenção do conteúdo hídrico foliar (Pierre et al., 2024; Lucena et al., 2025).

Além disso, a complementaridade radicular das culturas pode ter reduzido a competição por água, otimizando a exploração do recurso e, consequentemente, o balanço hídrico no sistema. As respostas possibilitam observar que a atuação conjunta de maior suprimento hídrico pelo solo e nutricional (pela maior quantidade dos adubos verdes) e menor dissipação de água para a atmosfera (pela alta densidade), ocasionaram um microclima mais estável, aumento do CRA, da UF e da SUC das folhas de beterraba, contribuindo para a atividade metabólica e processos fisiológicos, como a fotossíntese e a expansão foliar (Franco-Navarro et al., 2025).

O maior valor de MFA nos permite inferir que houve maior investimento estrutural das folhas em condições de menor adubação verde (25 t ha^{-1}) associada a densidades mais baixas (45% da DRM), indicando uma estratégia conservativa da integridade estrutural típica de ambientes com menor disponibilidade hídrica e nutricional (Wyka et al., 2019). Em contrapartida, a redução da MFA, com o aumento da biomassa dos adubos verdes e da densidade populacional (Figura 6C), sugere melhoria das condições edáficas e microclimáticas do consórcio. O maior suprimento hídrico e nutricional favorece a expansão celular, enquanto o adensamento do dossel promove folhas relativamente mais delgadas devido ao sombreamento parcial. Folhas com menor MFA têm menor resistência à difusão de CO_2 e maior eficiência fotossintética por unidade de massa, representando uma estratégia de aclimação ao ambiente consorciado (Liu et al., 2020; Luo et al., 2023; Taiz et al., 2024).

Ao comparar os sistemas de cultivo (Monocultivo vs Consorciado), observaram-se diferenças significativas para a UF, MFA e a SUC (Tabela 4). O sistema consorciado teve maiores médias de MFA e as menores médias de UF e da SUC foliar em relação ao monocultivo, enquanto o CRA foi estatisticamente semelhante entre os sistemas. Esses resultados podem estar relacionados à ausência de competição intra e interespecífica por recursos (água, luz, solo e nutrientes) no sistema em monocultivo, colaborando para a manutenção do maior turgor foliar (UF e SUC).

Além disso, a redução desses parâmetros pode representar um ajuste fisiológico decorrente do sombreamento e da necessidade do uso mais eficiente da água, com maior proporção de tecidos estruturais (MFA) e potencial incremento na eficiência fotossintética por unidade de área foliar (Luo et al., 2023). Ademais, o compartilhamento da área/recursos com as culturas folhosas pode ter favorecido um microclima mais estável, com menor amplitude térmica e redução da radiação direta sobre o solo, estimulando o acúmulo de biomassa estrutural nas folhas da beterraba. Assim, as diferenças observadas entre os sistemas de cultivo refletem ajustes da cultura diante das mudanças do ambiente e das interações do sistema.

Os teores de clorofila *a*, *b* e total das folhas de beterraba responderam significativamente às quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (Q) e às densidades populacionais das folhosas (D), porém não houve interação significativa entre os fatores-tratamentos testados (Tabela 5).

Modelos de superfícies de respostas foram ajustados ($p < 0,01$; $R^2 > 0,75$), demonstrando que os maiores teores de clorofila *a* (26,82 ICF), clorofila *b* (10,25 ICF) e clorofila total (35,79 ICF) foram obtidos com a combinação de 64,48; 68,00 e 61,51 t ha^{-1} de biomassa dos adubos verdes associada a 100% da DRM das folhosas, respectivamente (Figura

7A-C). Esse comportamento pode estar associado à maior disponibilidade de N, Mg e Fe, nutrientes diretamente envolvidos na estrutura e no funcionamento do aparato fotossintético.

Tabela 5 – Valores de F e médias para os teores de clorofila *a*, *b* e total das folhas de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

Fonte de variação	GL	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total
Blocos	3	1,11 ^{ns}	0,15 ^{ns}	2,55 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	5,46 ^{**}	15,78 ^{**}	18,26 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	12,57 ^{**}	10,50 ^{**}	3,44 [*]
Q x D	9	1,71 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	3,17 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Superfície resposta				
Regressão		11,91 ^{**}	29,07 ^{**}	57,42 ^{**}
Erro		0,3679	0,0520	0,0542
Sistemas de cultivo [†]		Clorofila <i>a</i> (ICF)	Clorofila <i>b</i> (ICF)	Clorofila total (ICF)
Consorciado		25,30a [†]	9,28a	34,79a
Monocultivo		26,22a	9,67a	34,80a
CV (%)		3,96	5,44	2,03

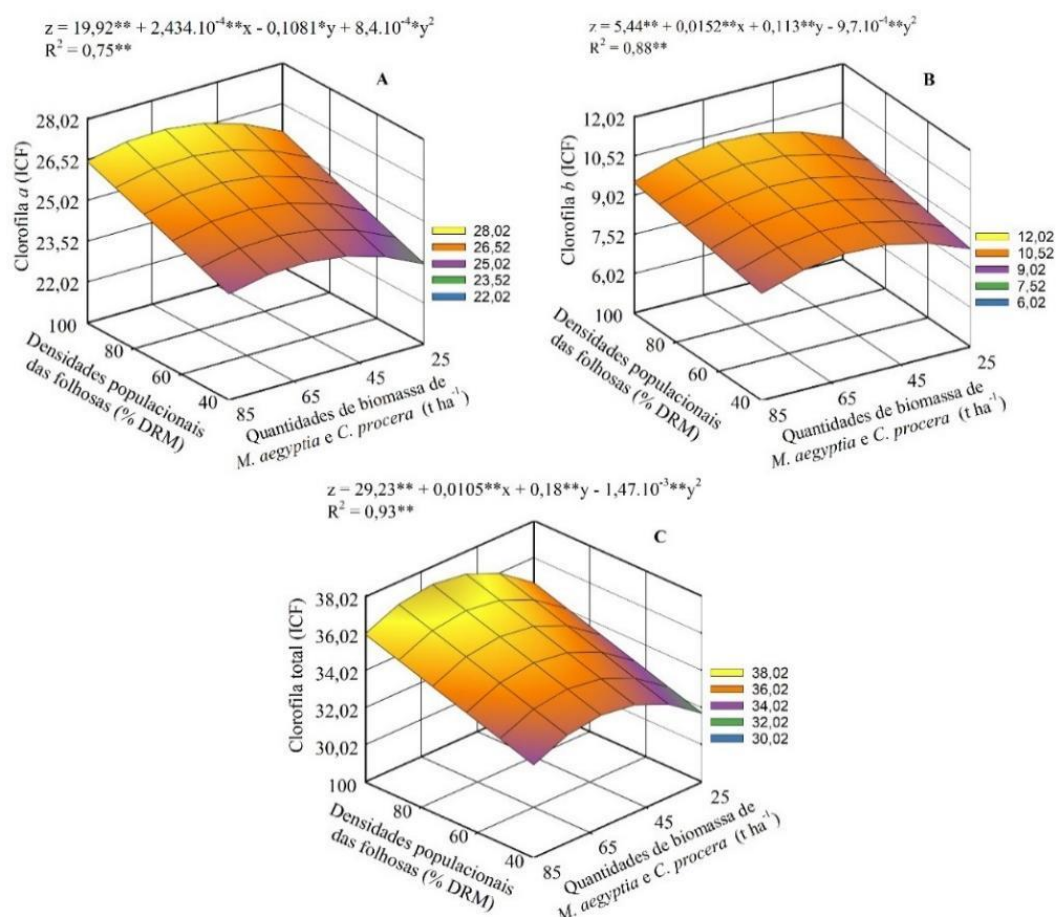
Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

O N participa da síntese de clorofilas, proteínas dos fotossistemas e enzimas do ciclo de Calvin, favorecendo a assimilação de CO₂. O Mg atua como átomo central da clorofila e ativador enzimático, contribuindo para a captura de luz e a fixação de carbono. Já o Fe integra proteínas redox da cadeia transportadora de elétrons, assegurando a transferência eficiente de energia (Nazar et al., 2022; Taiz et al., 2024), assim, a liberação gradual desses nutrientes no solo pode ter favorecido a biossíntese de pigmentos e a eficiência fotoquímica, refletindo respostas fisiológicas positivas das plantas ao manejo nutricional, conforme observado por Silva et al. (2019).

Por outro lado, a resposta crescente dos pigmentos fotossintéticos até determinado nível de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* indica que condições de deficiência ou excesso nutricional podem afetar a capacidade fotossintética da beterraba. O excesso dos adubos verdes pode ter restringido a síntese dos pigmentos, seja pela imobilização de nutrientes pela atividade microbiana ou pelo efeito da Lei do Máximo (Ferreira et al., 2024), provocando desequilíbrios químicos no solo e comprometendo a síntese desses compostos. Além disso, a redução do teor de clorofila pode ser consequência do maior crescimento vegetativo e da expansão foliar, que

diluem os pigmentos nos tecidos, enquanto ajustes fisiológicos mobilizam nutrientes, como o N, para órgãos em desenvolvimento (Pereira et al., 2021).

Figura 7 – Teor de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofila total (C) de folhas de beterraba em sistema consorciado com coentro e alface em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das culturas folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

A intensidade e a qualidade espectral da luz regulam o acúmulo de clorofilas (Xiao et al., 2022), de modo que o comportamento semelhante observado entre os pigmentos sugere ajuste coordenado do aparato fotossintético às condições do consórcio, o que possivelmente contribuiu para maior estabilidade da clorofila nos tecidos foliares. O aumento da densidade das folhosas intensificou o sombreamento e a competição por luz no dossel, elevando a fração de radiação difusa. Nessas condições, é comum ocorrer aumento no teor de clorofila, especialmente a clorofila *b*, pigmento associado à ampliação da eficiência de captação de luz em ambientes com menor intensidade luminosa direta. Tais ajustes repercutem nos processos fisiológicos vegetais, afetando o crescimento, a eficiência fotossintética e o metabolismo energético das plantas (Liu; Muzolf-Panek; Kleiber, 2022).

Ao avaliar o sistema de cultivo (M vs C), não foram observadas diferenças significativas para os teores de clorofila *a*, *b* e total (Tabela 5), indicando que a beterraba manteve desempenho fotossintético semelhante entre os sistemas e que o consórcio estabelecido não impôs limitações fisiológicas relevantes à cultura da beterraba, evidenciando elevada plasticidade funcional e capacidade de ajuste às variações microambientais e aos diferentes manejos de cultivo.

3.2 Cultura do coentro

Os resultados da análise de variância evidenciaram que o CRA não foi influenciado significativamente por nenhuma das fontes de variação avaliadas, indicando manutenção relativamente constante do status hídrico dos tecidos foliares, independentemente das quantidades de biomassa dos adubos verdes ou das densidades populacionais (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores de F e médias para conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA) e suculência foliar (SUC) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

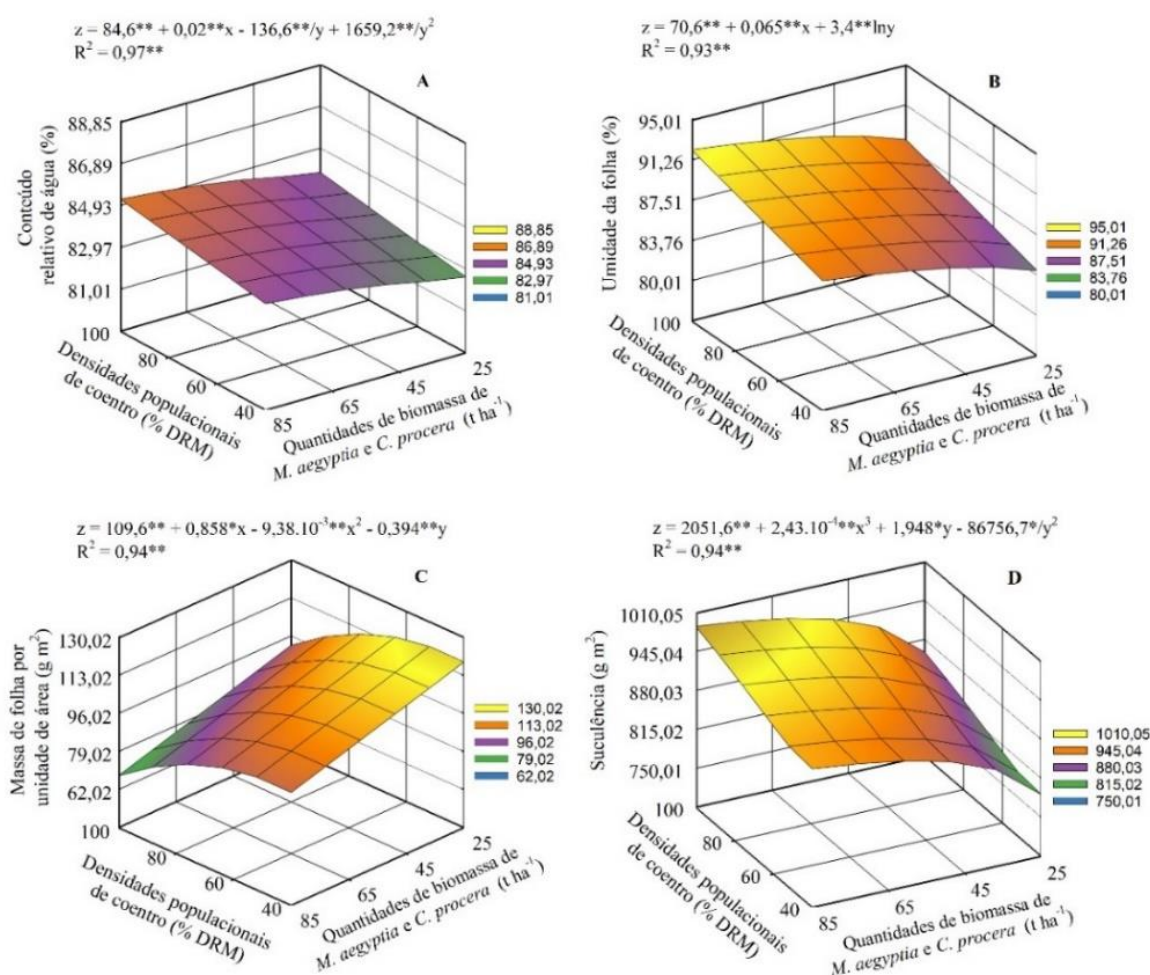
Fonte de variação	GL	CRA	UF	MFA	SUC
Blocos	3	1,67 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,94 ^{ns}	4,03 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	0,85 ^{ns}	30,4 ^{**}	17,93 ^{**}	23,50 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	0,19 ^{ns}	27,71 ^{**}	27,61 ^{**}	7,41 ^{**}
Q x D	9	0,00 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	3,64 ^{ns}	8,29 ^{**}	13,79 ^{**}	3,36 ^{ns}
Superfície resposta					
Regressão		139,05 ^{**}	81,74 ^{**}	63,30 ^{**}	77,34 ^{**}
Erro		0,0189	0,4430	16,4063	219,0317
Sistemas de cultivo [†]		CRA (%)	UF (%)	MFA (g m²)	SUC (g m²)
Consórcio		83,98a [†]	88,48b	97,40a	901,30a
Monocultivo		89,40a	90,50a	78,75b	856,25a
CV (%)		6,54	1,54	10,12	5,31

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Diferentemente, a UF, a MFA e a SUC foram significativamente influenciados pelas quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (Q) e pelas densidades populacionais do coentro (D). Esses atributos não apresentaram efeito significativo de interação entre os fatores (Q x D) (Tabela 6). Nos modelos ajustados ($p < 0,05$; $R^2 > 0,93$) observa-se que a combinação

de 85 t ha⁻¹ de *M. aegyptia* e *C. procera* com 100% da DRM de coentro, resultou nos maiores valores de conteúdo relativo de água (85,22%), umidade foliar (92,21%) e suculência foliar (987,13 g m²), enquanto a massa foliar por unidade de área máxima (119,37 g m²), foi obtida ao associar 25 t ha⁻¹ da biomassa dos adubos verdes e 45,77% da DRM de coentro (Figura 8A-D).

Figura 8 – Conteúdo relativo de água (A), umidade foliar (B), massa foliar por unidade de área (C) e suculência foliar (D) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Assim como na beterraba, os melhores resultados para o CRA, UF e SUC no coentro foram obtidos na combinação da maior quantidade dos adubos verdes (85 t ha⁻¹) e da elevada densidade populacional (100% da DRM) (Figura 8A, B e D), refletindo ajustes osmóticos, característica funcional importante em ambientes sujeitos à variação hídrica. Por apresentar sistema radicular superficial, ciclo curto e folhas estruturalmente menos especializadas

(Agarwal et al., 2025), o coentro responde rapidamente às melhorias na umidade do solo e na disponibilidade nutricional, o que explica a elevação contínua desses atributos com o aumento das quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* no solo.

O maior aporte de matéria orgânica possivelmente mitigou os efeitos competitivos do sistema, o que pode ter favorecido a eficiência do uso da água e contribuído para maiores valores do CRA, da UF e da SUC, possivelmente em função da melhoria hídrica do solo e da liberação de elementos como o K, que está associado à osmorregulação e à manutenção do status hídrico das plantas (Silva et al., 2021). O K controla a abertura e fechamento dos estômatos, colaborando para o equilíbrio da entrada de CO₂ e perda de água por transpiração. Sua disponibilidade favorece a conservação da água nas células, mantendo o turgor celular e a estabilidade das membranas enzimáticas, apoiando a função metabólica das plantas (Taiz et al., 2024; Franco-Navarro et al., 2025).

O aumento do status hídrico do coentro em função do aumento da densidade populacional pode estar relacionado à facilitação abiótica do sistema, em vista do microclima mais úmido e sombreado no dossel (Wright; Francia, 2024), reduzindo a evaporação direta, favorecendo a conservação de água no sistema. Essa condição de manutenção hídrica dentro do dossel aumenta a turgência dos tecidos foliares, fator essencial para prevenir colapso celular em folhas finas, além de favorecer a condutância mesofílica ao CO₂ e, conseqüentemente, a fotossíntese (Taiz et al., 2024). No sistema consorciado estabelecido, esses efeitos podem ter sido potencializados pela arquitetura complementar entre as culturas, com o coentro ocupando o dossel médio e a beterraba o superior, o que pode ter reduzido as perdas hídricas, sem intensificar a competição direta.

O decréscimo da MFA com o aumento da densidade populacional (Figura 8C), pode estar associado ao ajuste morfofisiológico das plantas à competição por luz. Em ambientes mais adensados, ocorre o aumento da razão área foliar/massa, permitindo maior interceptação luminosa com o menor custo estrutural (Kim; Lin; Mitchell, 2019). Além disso, a melhoria nutricional, pela incorporação dos adubos verdes ao solo, colabora para o crescimento foliar, enquanto o maior adensamento intensifica a competição por luz, o que possivelmente levou à formação de folhas maiores e mais finas, característica frequentemente observada em plantas sob sombreamento relativo (Wei; Wang; Yu, 2023).

Ao comparar os sistemas de cultivo (M vs C), verificou-se que o consórcio teve menor UF e maior MFA em relação ao monocultivo, enquanto o CRA e a SUC não diferiram estatisticamente entre os sistemas (Tabela 6). As maiores médias da UF observadas no monocultivo, indicam maior proporção de água livre nos tecidos foliares, possivelmente

decorrente da menor competição interespecífica e da maior disponibilidade direta de recursos para o coentro, quando cultivado isoladamente. A ausência de diferenças significativas na SUC entre os sistemas sugere que, embora tenha ocorrido alteração na densidade e na estrutura das folhas no consórcio, o volume total de água acumulada por unidade de área permaneceu relativamente constante. A estabilidade do CRA reforça que o coentro manteve equilíbrio hídrico adequado em ambos os sistemas.

Por outro lado, a maior MFA observada no consórcio ocorreu possivelmente pela adaptação do coentro às condições de competição por luz e nutrientes (Tabela 6). Em sistemas consorciados, a sobreposição de copas reduz a quantidade e a qualidade da luz, promovendo ajustes na morfologia foliar, aumentando a eficiência fotossintética por unidade de área e estimulando maior deposição de tecidos estruturais, o que aumenta a eficiência fotossintética (Huber et al., 2021). Essas diferenças entre os sistemas indicam que o consórcio pode modificar a dinâmica de crescimento e a organização funcional das folhas de coentro, promovendo maior investimento em biomassa por área foliar e menor umidade imediata dos tecidos. Esse ajuste pode representar uma estratégia adaptativa para o uso mais eficiente dos recursos sob interação interespecífica, sem comprometer o status hídrico relativo das plantas.

As quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (Q) e as densidades populacionais do coentro (D) influenciaram significativamente os teores de clorofila *a*, *b* e total, sem interação significativa entre os fatores (Q x D) (Tabela 7).

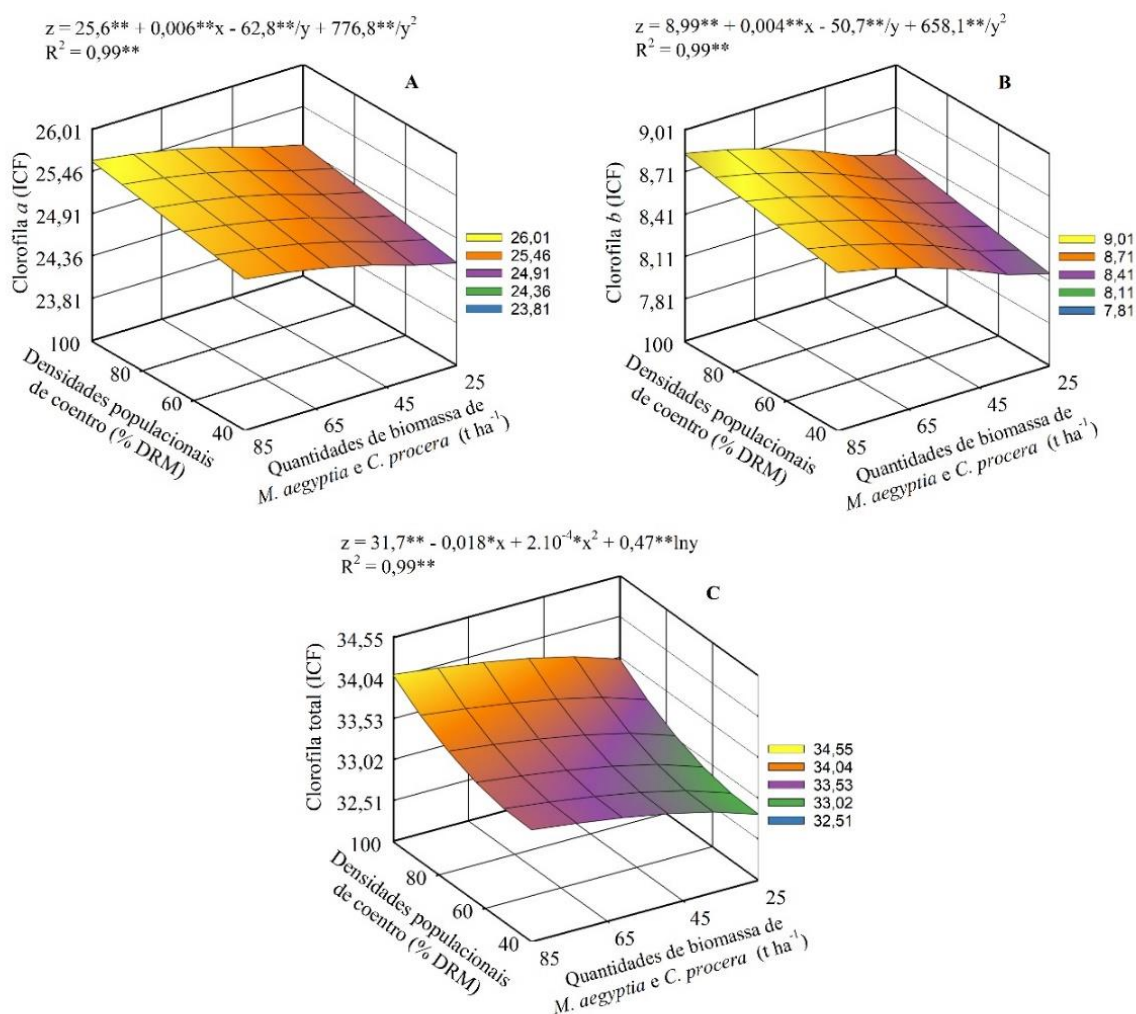
Tabela 7 – Valores de F e médias para os teores de clorofila *a*, *b* e total de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Fonte de variação	GL	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total
Blocos	3	0,10 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2,43 ^{ns}
de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	12,11 ^{**}	21,10 ^{**}	7,66 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	4,05 ^{**}	4,15 [*]	11,78 ^{**}
Q x D	9	0,04 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,57 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	0,00 ^{ns}	47,01 ^{**}	3,00 ^{ns}
Superfície resposta				
Regressão		373,03 ^{**}	262,84 ^{**}	37,79 ^{**}
Erro		0,0011	0,0008	0,0167
Sistemas de cultivo		Clorofila <i>a</i> (ICF)	Clorofila <i>b</i> (ICF)	Clorofila total (ICF)
Consorciado		25,12a [†]	8,52b	33,41a
Monocultivo		25,12a	9,17a	33,74a
CV (%)		1,28	2,16	1,09

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Nos modelos ajustados de superfícies resposta ($p < 0,05$; $R^2 > 0,99$), os valores máximos observados de 25,57 ICF para clorofila *a*, de 8,88 ICF para clorofila *b* e de 34,09 ICF para clorofila total foram obtidos na combinação de 85 t ha⁻¹ de *M. aegyptia* e *C. procera* com 100% da DRM de coentro (Figura 9A-C). O incremento nos índices de clorofila com o aumento das quantidades de biomassa dos adubos verdes e das densidades populacionais, pode estar relacionado às melhorias nas propriedades físicas do solo e às alterações no microclima do dossel (Figura 9A-C).

Figura 9 – Teor de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofila total (C) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Esse efeito pode ter sido potencializado pela complementaridade entre os adubos verdes utilizados, cujas diferentes relações C:N influenciam a velocidade de decomposição da

biomassa, favorecem a liberação gradual e contínua de nutrientes no solo, contribuindo para a biossíntese de pigmentos fotossintéticos (Ferreira et al., 2024; Liu Huabo et al., 2025). Além do maior suprimento de nutrientes essenciais à estrutura do anel de porfirina da clorofila (N e Mg), a melhoria das condições edáficas pode ter contribuído para a estabilidade estrutural dos cloroplastos e para a síntese de proteínas associadas ao aparato fotossintético, ampliando a capacidade fotossintética da folhosa (Taiz et al., 2024; Liu Huabo et al., 2025).

Adicionalmente, o comportamento observado sugere que o aumento da densidade populacional do coentro, aliado à presença da beterraba no sistema consorciado, contribuiu para a formação de um ambiente com sombreamento e maior heterogeneidade luminosa no interior do dossel. Nessas condições, a maior competição interespecífica e, conseqüentemente, redução na qualidade espectral da radiação podem ter estimulado respostas de aclimação fotossintética, induzindo mudanças morfofisiológicas, visando otimizar a captação de luz e aumentar os teores dos pigmentos fotossintéticos. Esse ajuste, refletiu em maior crescimento da planta, o que pode ter ampliado a eficiência de captura de fótons e da assimilação de carbono (Croft et al., 2020; Zhuang; Wang; Jin, 2025).

Ao comparar os sistemas de cultivo (M vs C) (Tabela 7), observou-se nos resultados que os teores de clorofila *a* e total foram estatisticamente iguais nos dois sistemas. Já a clorofila *b* teve diferença significativa, com médias mais elevadas no monocultivo em comparação ao consórcio. Embora a clorofila *b* seja geralmente estimulada por sombreamento, esse resultado pode estar relacionado ao maior desenvolvimento foliar e à uniformidade luminosa do monocultivo, que favorecem o acúmulo absoluto do pigmento. No consórcio, a heterogeneidade luminosa e a competição interespecífica podem ter limitado a síntese ou favorecido a redistribuição dos pigmentos, resultando em menores teores de clorofila *b*, mantendo a clorofila total estável. Assim, a diferença observada reflete mais a interação entre arquitetura do dossel, heterogeneidade luminosa e crescimento foliar do que apenas a intensidade luminosa direta.

3.3 Cultura da alface

Os parâmetros morfofisiológicos (CRA, UF, MFA e SUC) tiveram efeito significativo para as quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (Q) e nas densidades populacionais da alface (D) sem interação significativa sobre todos os atributos morfofuncionais avaliados (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores de F e médias para conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA) e suculência foliar (SUC) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

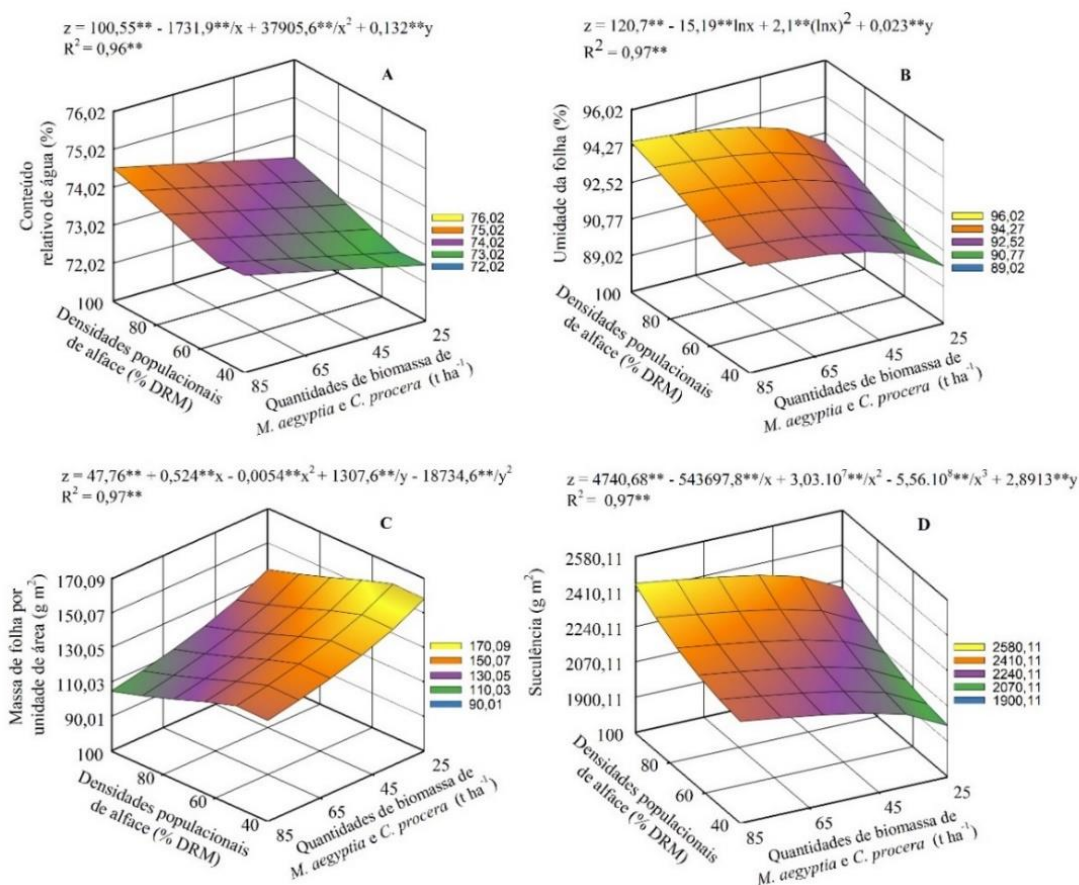
Fonte de variação	GL	CRA	UF	MFA	SUC
Blocos	3	0,48 ^{ns}	3,02 ^{ns}	3,68 ^{ns}	2,28 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	16,49 ^{**}	32,68 ^{**}	6,48 ^{**}	18,65 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	10,48 ^{**}	74,99 ^{**}	15,11 ^{**}	92,34 ^{**}
Q x D	9	0,26 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,01 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	5,70 ^{**}	24,34 ^{**}	10,99 ^{**}	2,26 ^{ns}
Superfície resposta					
Regressão		101,53 ^{**}	153,49 ^{**}	78,60 ^{**}	88,70 ^{**}
Erro		0,7460	0,0298	2,3044	1142,07
Sistemas de cultivo		CRA (%)	UF (%)	MFA (g m²)	SUC (g m²)
Consorciado		91,27b [†]	95,45b	72,90a	1719,60b
Monocultivo		95,17a	96,50a	61,25b	1772,08a
CV (%)		3,70	0,43	9,45	3,93

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Nos modelos ajustados de superfícies de respostas ($p < 0,01$; $R^2 > 0,96$), os maiores valores observados para os parâmetros morfofisiológicos da alface foram de 98,24 % para o conteúdo relativo de água, 97,24 % para a umidade foliar, 83,29 g m² para a massa foliar por unidade de área e 2019,65 g m² para a suculência foliar. Esses resultados foram obtidos com a combinação de 85,00 e 100; 85,00 e 100; 28,65 e 48,46; e 85 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e 100 % de DRM de alface, respectivamente (Figura 10A–D).

O manejo, combinando elevada quantidade dos adubos verdes (85 t ha⁻¹) com alta densidade populacional (100 % da DRM), contribuiu para maximizar o CRA, a UF e a SUC da alface (Figura 10A, B e D), indicando baixo estresse hídrico e elevado potencial do manejo para a manutenção de processos metabólicos para o cultivo em sucessão. Esses resultados demonstram que essa estratégia de manejo assegurou condições favoráveis ao status hídrico foliar, permitindo que a planta mantenha a turgescência dos tecidos, essencial para a expansão foliar e a captura eficiente de luz, resultando em folhas mais suculentas, incrementando o potencial produtivo.

Figura 10 – Conteúdo relativo de água (A), umidade foliar (B), massa foliar por unidade de área (C) e suculência foliar (D) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

A alta percentagem de água nas folhas de alface (90-95 %) torna a cultura especialmente dependente de condições contínuas de água (Atero-Calvo et al., 2025). Além disso, suas folhas possuem grandes espaços intercelulares e elevada área foliar específica (Tokarz et al., 2025), características que tornam o CRA sensível às variações no regime hídrico do sistema. Essa anatomia foliar favorece a retenção de água e permite que mantenham a turgescência, essencial para a manutenção da estrutura dos tecidos, do transporte de fotoassimilados e das rotas de CO₂ (Taiz et al., 2024). Dessa forma, os valores máximos do CRA sugerem que a combinação entre o maior aporte dos adubos verdes e a elevada densidade contribuiu para a manutenção do status hídrico e da resposta fisiológica da alface.

A UF e a SUC aumentaram progressivamente ao longo dos níveis crescentes dos fatores avaliados (Figura 10B-C), evidenciando a importância do microclima mais úmido gerado pelo consórcio e pelo aumento da população de plantas. O alcance da máxima eficiência desses parâmetros está associado à maior hidratação foliar, sugerindo expansão vacuolar e manutenção

do turgor celular, processos dependentes da adequada disponibilidade hídrica (Franco-Navarro et al., 2025), que sustentam a atividade metabólica e retardam a senescência.

Adicionalmente, o sombreamento do dossel, ocasionado tanto pelas folhas já bem desenvolvidas da beterraba quanto pelas próprias folhas de alface sob alta densidade, aliado à redução da temperatura foliar, pode ter contribuído para a menor perda transpiratória, favorecendo a retenção de água nos tecidos e maior eficiência no uso da água, aumentando a turgência das folhas (Ghorbanzadeh et al., 2021; Pierre et al., 2024). Ademais, mesmo em alta densidade, a configuração do sistema consorciado adotado, com arquiteturas radiculares complementares, pode ter aumentado a partição espacial da água no solo, reduzindo a competição direta e promovendo maior eficiência no uso hídrico.

Além disso, a decomposição da biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* pode ter contribuído para a melhoria estrutural do solo, aumentando a disponibilidade de água para as plantas. Assim, o aumento do CRA, da UF e da SUC pode ter ocorrido pelo aumento da disponibilidade hídrica colaborando para a manutenção da integridade dos tecidos, por meio do controle da pressão do turgor celular. Esses efeitos impulsionam a expansão da parede celular que funciona como mecanismo tamponante frente às variações diárias do potencial hídrico do sistema, favorecem a continuidade do fluxo de água no sistema solo-planta e a estabilidade hídrica celular (Wang; Yuan; Wang, 2024).

A acentuada resposta do CRA, UF e SUCA às maiores quantidades dos adubos verdes combinada com a maior densidade populacional (Figura 10A, B e D), possivelmente ocorreu devido à liberação gradual de nutrientes, em especial do nitrogênio, que colabora para o maior desenvolvimento radicular, aumentando a capacidade de extração de água (Pélissier; Mote; Beeckman, 2021), reforçando a hidratação e a turgescência celular. Nos consórcios em sucessão, esse efeito é ainda mais relevante, uma vez que a cultura subsequente se beneficia das modificações físicas e biológicas promovidas pela cultura antecedente, diminuindo estresses hídricos e fisiológicos, inerentes à competição.

O comportamento observado na MFA, reduzindo com as crescentes quantidades dos adubos verdes e densidades populacionais, reflete sua estratégia funcional intrínseca, indicando a formação de folhas fisiologicamente mais ativas sob condições hídricas e nutricionais, com menor investimento em tecidos estruturais das folhas (Ribeiro et al., 2023). O suprimento adequado de nutrientes, especialmente do nitrogênio, e o sombreamento favorecem maior expansão foliar e aumento da área específica da folha, resultando em tecidos menos densos. Esse afinamento favorece as altas taxas fotossintéticas, contudo, aumenta a dependência de um manejo hídrico adequado (Huber et al., 2021).

Diferenças significativas foram observadas entre o monocultivo e o sistema consorciado (M vs C) (Tabela 8). O monocultivo teve as maiores médias de CRA e de UF, enquanto o consórcio teve a maior MFA. A SUC não diferiu entre os sistemas. Para a alface houve redução mais evidente do status hídrico relativo no consórcio; isso pode ser justificado pelo sistema radicular mais superficial e pelas folhas com elevada demanda transpiratória, tornando-a mais sensível à competição por água com a beterraba, especialmente em ambiente semiárido. Mesmo com as melhorias nas condições do solo promovidas pela adubação verde e do microclima pela densidade, a presença da cultura principal provavelmente intensificou a competição na extração de água do sistema, reduzindo a hidratação imediata dos tecidos da alface.

O aumento da MFA no consórcio pode estar associado a um processo de espessamento compensatório dos tecidos foliares, decorrente de crescimento mais lento e maior deposição estrutural, caracterizando uma resposta estrutural adaptativa da alface sob competição por recursos. Embora a CRA e a UF tenham sido reduzidas, a ausência de diferenças na suculência foliar indica que a proporção de tecidos aquíferos permaneceu estável, evidenciando alteração no status hídrico momentâneo, sem mudanças relevantes na estrutura anatômica foliar (Li et al., 2023; Amitrano et al., 2025).

A Tabela 9 mostra os valores de F e as médias dos teores de clorofila *a*, *b* e total da alface consorciada com a beterraba.

Tabela 9 – Valores de F e médias para os teores de clorofila *a*, *b* e total de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

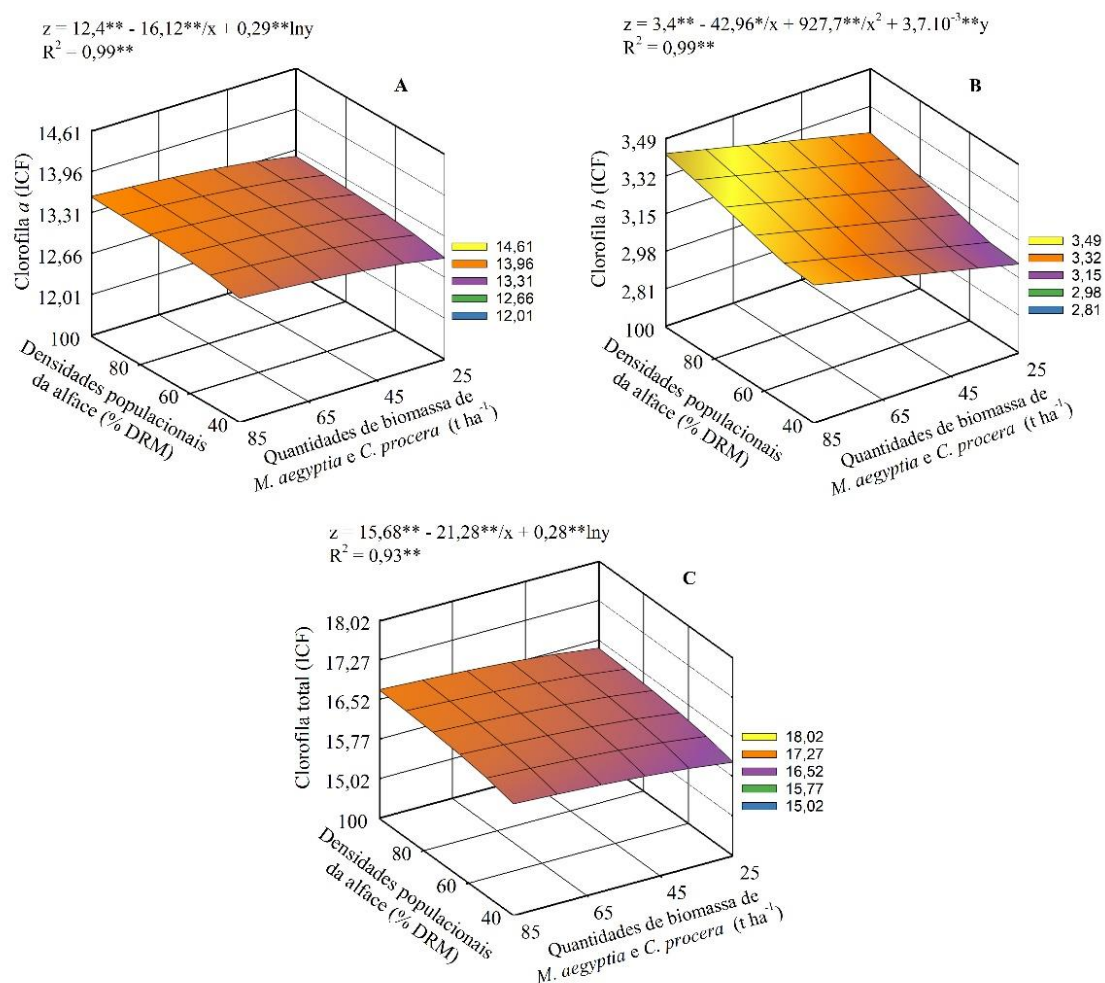
Fonte de variação	GL	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total
Blocos	3	0,80 ^{ns}	2,54 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Quantidades de biomassa de <i>M. aegyptia</i> e <i>C. procera</i> (Q)	3	16,24 ^{**}	13,39 ^{**}	10,95 ^{**}
Densidades populacionais das folhosas (D)	3	7,59 ^{**}	7,30 ^{**}	9,91 ^{**}
Q x D	9	0,03 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Monocultivo (M) vs Consorciado (C)	1	0,80 ^{ns}	5,01 [*]	1,55 ^{ns}
Superfície resposta				
Regressão		836,78 ^{**}	281,28 ^{**}	86,40 ^{**}
Erro		0,0003	0,0002	0,0029
Sistemas de cultivo		Clorofila <i>a</i> (ICF)	Clorofila <i>b</i> (ICF)	Clorofila total (ICF)
Consortiado		13,32a [†]	3,23b	16,43a
Monocultivo		13,25a	3,35a	16,32a
CV (%)		1,19	3,15	1,06

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$; ns = $p > 0,05$. [†]Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste F no nível de 5% de probabilidade.

Houve efeito significativo dos fatores quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (Q) e densidades populacionais da alface (D) sobre os teores de clorofila *a*, *b* e total, enquanto a interação entre esses fatores não foi significativa (Tabela 9).

As estimativas obtidas pelas superfícies de resposta ($p < 0,01$; $R^2 > 0,93$) evidenciaram que a combinação de 85 t ha⁻¹ de *M. aegyptia* e *C. procera* com 100% da DRM de alface resultou nos maiores valores de clorofila *a* (13,57 ICF), clorofila *b* (3,38 ICF) e clorofila total (16,76 ICF) (Figura 11A-C). Esse padrão sugere que o incremento simultâneo da adubação verde e do adensamento populacional favoreceu o fortalecimento do aparato fotossintético.

Figura 11 – Teor de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofila total (C) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). ** = $p < 0,01$; * = $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Por ter sido transplantada em sucessão, a alface passou a se desenvolver sob um dossel previamente estruturado, caracterizado por maior interceptação de radiação no nível superior e redução progressiva nas camadas inferiores do dossel. A maior densidade populacional da

folhosa intensificou a sobreposição foliar e a competição por luz, todavia, folhas sombreadas podem manter ou aumentar a assimilação ao aproveitar a radiação difusa e os pulsos intermitentes de luz (Durand et al., 2022), o que pode ter contribuído para os incrementos observados nos teores de pigmentos (clorofilas *a*, *b* e total).

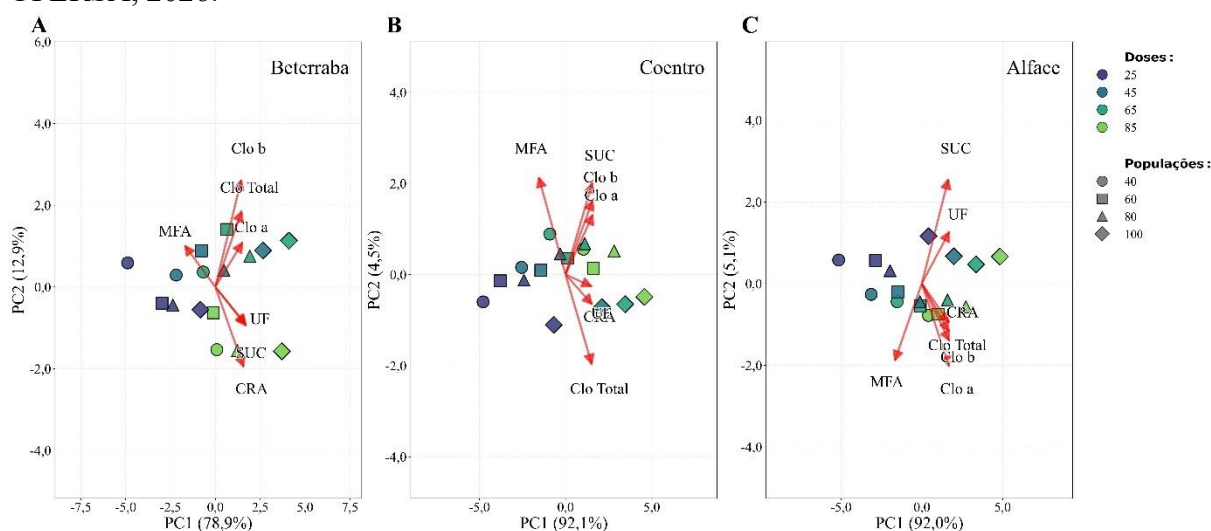
Além disso, as altas densidades populacionais frequentemente promovem maior altura e expansão foliar, posicionando o crescimento das plantas em áreas mais expostas à luz, aumentando tanto a interceptação luminosa quanto a taxa fotossintética (Huber et al., 2021; Wang; Wei; Jeong, 2021). Dessa forma, o aumento simultâneo das clorofilas *a* e *b* em condições de maior adensamento (100% da DRM) indica uma possível ampliação do sistema coletor de luz e é compatível com reorganizações nos complexos antena, favorecendo o aproveitamento da radiação disponível (Taiz et al., 2024; Zhuang; Wang; Jin, 2025).

Adicionalmente, a adubação verde em maior quantidade (85 t ha^{-1}) pode ter contribuído para um melhor funcionamento metabólico das folhas, ao favorecer condições edáficas mais equilibradas e maior atividade biológica do solo, o que pode resultar em absorção mais eficiente de nutrientes envolvidos na formação dos complexos pigmento-proteína, como N e o K (Jama-Rodzeńska et al., 2022; Xu et al., 2024). O N, além de compor aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, regula enzimas fotossintéticas, ATPase e a cadeia de transporte de elétrons, influenciando a assimilação de carbono e o acúmulo de carboidratos. O K, por sua vez, regula a condutância estomática e atua como coativador de enzimas do transporte de açúcares, favorecendo a fotossíntese (Taiz et al., 2024; Shah et al., 2024). Assim, os aumentos dos teores de clorofila *a* e *b* e, conseqüentemente, da clorofila total, com o incremento progressivo à medida que aumentaram as quantidades dos adubos verdes, sugerem ampliação da eficiência fotossintética frente ao ambiente de cultivo, refletindo na maior quantidade de pigmentos nos tecidos foliares, mesmo em condições de sombreamento.

Na comparação entre os sistemas de cultivo (M vs C) observou-se diferença significativa apenas para a clorofila *b*, sendo a maior no monocultivo (Tabela 9). A redução da clorofila *b* no consórcio pode estar relacionada à heterogeneidade luminosa promovida pela presença da beterraba, resultando em ajustes na composição dos pigmentos fotossintéticos. A competição intra e interespecífica no sistema consorciado pode ter modificado o ritmo de expansão foliar e a alocação de recursos metabólicos, promovendo reorganização do aparato coletor de luz, sem comprometer a eficiência fotossintética global. A manutenção da estabilidade da clorofila total entre os sistemas indica que o consórcio não comprometeu a capacidade fotossintética da cultura, mas promoveu ajustes funcionais sutis na eficiência de captação e na utilização da energia luminosa.

Na análise de componentes principais (PCA) para a cultura da beterraba o primeiro componente principal (PC1) explicou 78,9% da variabilidade, indicando forte influência das quantidades dos adubos verdes e da densidade populacional na determinação dos parâmetros morfofisiológicos analisados (Figura 12A).

Figura 12 – Análise de componentes principais dos parâmetros morfofisiológicos do sistema consorciado da beterraba, coentro e alface em sucessão em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.



Fonte: Elaborado pela autora (2026). Legenda: Conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA), suculência foliar (SUC), clorofila *a* (Clo *a*), clorofila *b* (Clo *b*) e clorofila total (Clo total).

As variáveis de clorofila *a*, *b* e total tiveram correlação positiva entre si e posicionaram-se próximas aos tratamentos com maiores quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (65 e 85 t ha⁻¹), demonstrando que a adição dos adubos verdes exerceu influência expressiva sobre a manutenção da integridade fotossintética das folhas da raiz tuberosa.

A MFA e a SUC tiveram relação positiva com as maiores densidades populacionais, sugerindo ajuste morfofisiológico das plantas sob condições de maior competição intraespecífica. O maior número de plantas na área favoreceu o aproveitamento do espaço e, possivelmente, a eficiência na captura de luz, sem, entretanto, comprometer a turgescência foliar. Esse comportamento pode estar associado à maior retenção hídrica proporcionada pelo sistema consorciado. A UF e o CRA mostraram tendência negativa nos tratamentos com menores quantidades dos adubos verdes e baixa densidade populacional, indicando que a redução da cobertura vegetal e da ciclagem de nutrientes comprometeu a conservação da água nos tecidos, refletindo menor SUC. Esses resultados reforçam que a adubação orgânica e

associada à densidade populacional contribuiu para a manutenção de condições fisiológicas favoráveis para a cultura da beterraba cultivada em sistema consorciado (Figura 12A).

Para a cultura do coentro, a PC1 explicou 92,1% da variabilidade, destacando que a maior parte das respostas fisiológicas esteve associada principalmente à adubação verde (Figura 12B). O alinhamento dos pigmentos fotossintéticos com as quantidades mais elevadas (65 e 85 t ha⁻¹) dos adubos verdes evidencia efeito direto da disponibilidade de nutrientes na melhoria da capacidade fotossintética das folhas. A SUC e a MFA também se associaram positivamente aos tratamentos com maiores quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, refletindo maior acúmulo estrutural e melhor retenção de água nos tecidos foliares. Por outro lado, a UF teve leve deslocamento em direção aos tratamentos com menores quantidades dos adubos verdes, sugerindo maior suscetibilidade à perda hídrica sob condições de menor aporte orgânico, confirmando o papel da adubação verde na atenuação de estresses hídricos e térmicos no dossel em sistemas consorciados (Figura 12B).

Na cultura da alface, cultivada em sucessão ao coentro, o PC1 explicou 92,0% da variabilidade, indicando forte influência dos resíduos dos adubos verdes sobre os atributos fisiológicos e estruturais da folhosa (Figura 12C). A SUC destacou-se positivamente nos tratamentos com maior quantidade de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (65 e 85 t ha⁻¹), indicando a elevada capacidade de armazenamento de água em tecidos foliares, característica fisiológica típica da cultura. O CRA teve tendência de aumento nos tratamentos com maior quantidade dos adubos verdes, sugerindo que a melhoria das condições edáficas e da retenção de umidade no solo favoreceu a manutenção do status hídrico. A UF e as clorofilas (Clo *a*, Clo *b*, Clo total) tiveram correlação positiva com as quantidades elevadas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, embora de menor magnitude do que SUC (Figura 12 C). Os resultados sugerem que a alface se beneficiou dos efeitos residuais do coentro, pela melhoria das propriedades do solo e da disponibilidade de nutrientes, favorecendo a manutenção do status hídrico e da fotossíntese foliar.

Em conjunto, os resultados da PCA confirmam que a integração entre a adubação verde e o arranjo populacional foi determinante para a modulação das condições edáficas e microclimáticas do dossel, promovendo respostas morfofisiológicas que aumentaram a eficiência no uso de água e da radiação fotossintética ativa, sustentando o desempenho vegetativo das culturas no sistema consorciado em ambiente semiárido.

4 CONCLUSÕES

1. A maior quantidade dos adubos verdes (85 t ha^{-1}) combinada com 100% da DRM das folhosas influenciou positivamente os parâmetros morfofisiológicos do consórcio de beterraba, coentro e alface em sucessão em ambiente semiárido, favorecendo a manutenção do *status* hídrico e da fotossíntese foliar;

2. Considerando que os resultados se referem a condições experimentais específicas, recomenda-se a realização de novos estudos em diferentes condições edafoclimáticas.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, U. et al. A comprehensive review of supernatural coriander herb (*Coriandrum sativum*): phytochemical insights, pharmacological potential and future perspective. **Phytochemistry Reviews**, p. 1-47, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-025-10142-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11101-025-10142-5#citeas>.
- ÁLVAREZ, S.; ACOSTA-MOTOS, J. R. Miscellaneous sets of abiotic stresses and plant strategies to cope with them. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2727, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112727>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/11/2727>.
- AMITRANO, C. et al. Leaf anatomical traits shape lettuce physiological response to vapor pressure deficit and light intensity. **Planta**, v. 262, n. 48, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-025-04774-2>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00425-025-04774-2>.
- ARGIOLAS, A. et al. Osmolyte cooperation affects turgor dynamics in plants. **Scientific reports**, v. 6, n. 30139, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep30139>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep30139>.
- ATERO-CALVO, S. et al. Potential for drought stress alleviation in lettuce (*Lactuca sativa* L.) with humic substance-based biostimulant applications. **Plants**, v. 14, p. 2386, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14152386>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12349542>.
- AWAIS, M.; WANG, X.; ASHRAF, M. U. Mitigation and adaptation strategies in climate-smart agriculture: A review for sustainable production. **Climate Smart Agriculture**, v. 3, p. 100097, 2026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950409026000018>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csag.2026.100097>
- AZEVEDO, M. C. et al. Agro-bioeconomic feasibility in beet and cowpea strip-intercropping under green manuring and cowpea population density1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 30, n. 4, p. e289051, 2026. Disponível em: <https://www.agriambi.com.br/revista/v30n04/v30n04a01.pdf>.
- BECK, H. E. et al. Data descriptor: present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1 km resolution. **Scientific Data**, v. 5, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>.
- BEZERRA NETO, F. et al. **Adubação verde em cultivos agroecológicos em ambiente semiárido**. Curitiba: Appris. 2024.

- CHAVES, A. P. et al. Bio-agroeconomic returns in beet-cowpea intercropping by optimization of population densities and spatial arrangements. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, p. e55146, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.55146>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/55146>.
- CROFT, H. et al. Mapping within-field leaf chlorophyll content in agricultural crops for nitrogen management using Landsat-8 imagery. **Precision Agriculture**, v. 21, n. 4, p. 856-880, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09698-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-019-09698-y>.
- DURAND, M. et al. Sunflecks in the upper canopy: dynamics of light-use efficiency in sun and shade leaves of *Fagus sylvatica*. **New Phytologist**, v. 235, n. 4, p. 1365-1378, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.18222>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.18222>.
- FERREIRA, R. C. et al. Biomass use of *Merremia aegyptia* and *Calotropis procera* in coriander cultivation in semiarid environment. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 595-605, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252025v35n310rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/7MTMTPHgbhchnrVws9qbxvf/?format=html&lang=en>.
- FERREIRA, R. C. et al. Effects of soil amendments with green biomass on quality indices of coriander. **Revista Caatinga**, v. 37, p. e12418, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v37i12418rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/VhGbxLcCvhS5qSbsVTfhxmD/?lang=en>.
- FRANCO-NAVARRO, J. D. et al. Advancements in water-saving strategies and crop adaptation to drought: A comprehensive review. **Physiologia Plantarum**, v. 177, n. 4, p. e70332, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.70332>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ppl.70332>.
- GHORBANZADEH, P. et al. Dependency of growth, water use efficiency, chlorophyll fluorescence, and stomatal characteristics of lettuce plants to light intensity. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 5, p. 2191-2207, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10269-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-020-10269-z>.
- HUANG, Z. et al. Effects of planting density on morphological and photosynthetic characteristics of leaves in different positions on *Cunninghamia lanceolata* saplings. **Forests**, v. 12, n. 7, p. 853, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12070853>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/12/7/853>.
- HUBER, M. et al. Light signalling shapes plant–plant interactions in dense canopies. **Plant, Cell & Environment**, v. 44, n. 4, p. 1014-1029, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13912>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pce.13912>.
- IRIGOYEN, J. J.; EINERICH, D. W.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago*

sativa) plants. **Physiologia Plantarum**, v. 84, n. 1, p. 55-60, 1992. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>

JAMA-RODZEŃSKA, A. et al. Effect of different quantities of phosgreen fertilization on chlorophyll, K, and Ca content in butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in peat substrate. **Agriculture**, v. 12, n. 6, p. 788, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12060788>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/6/788>.

KIM, H.; LIN, M.; MITCHELL, C. A. Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes. **Environmental and experimental botany**, v. 157, p. 228-240, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.019>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847218311456?casa_token=oorZaLvDM5AAAAAA:eaPbZ54ugcoDfi5bzBKbktPLx21yA8pxQTJSp05PYBldkDmnEvS0zt0PkHwxr-QJAv9DT5y3uHg.

LABIMC. Laboratório de Instrumentação Meteorologia e Climatologia. **Estações Meteorológica Automática (EMA)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), 2025. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/dados-emas>. Acesso em: 02 fev. 2025.

LI, H. et al. Water-saving strategies in intercropping systems: Integrated effects of water regulation and planting patterns on root-canopy coordination and agricultural water productivity. **Industrial Crops and Products**, v. 233, p. 121419, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121419>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669025009653?via%3Dihub>

LI, J. et al. Drought resistance index screening and evaluation of lettuce under water deficit conditions on the basis of morphological and physiological differences. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1228084. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1228084>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1228084/full>.

LINO, F. K. K. S. et al. Maximizing agro-bioeconomic benefits in intercropped systems of radish and lettuce in the semi-arid environment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 121-131, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p121-131>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6bHdCfTPwxnMTKn3t3NCDTy/?format=html&lang=en>.

LINO, V. A. S. et al. Bio-economic return from the green fertilizing and plant population in strip-intercropping of beet and rocket. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e20910817112-e20910817112, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17112. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/17112>.

LIU, HUABO et al. Effects of different combinations of organic fertilizers on the yield and quality of four leafy vegetables. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 25994, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.1038/s41598-025-09671-y>. Disponível em:
<https://www.nature.com/articles/s41598-025-09671-y#citeas>.

LIU, HUAQING et al. Intercropping increases plant water availability and water use efficiency: A synthesis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 379, p. 109360, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109360>. Disponível em:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016788092400478X>

LIU, Q. et al. Responses of leaf morphology, NSCs contents and C:N:P stoichiometry of *Cunninghamia lanceolata* and *Schima superba* to shading. **BMC Plant Biology**, v. 20, n. 1, p. 354, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02556-4>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1186/s12870-020-02556-4>?

LIU, W.; MUZOLF-PANEK, M.; KLEIBER, T. Effect of nitrogen nutrition and planting date on the yield and physicochemical parameters of flowering Chinese cabbage. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2869, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112869>. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2073-4395/12/11/2869>.

LUCENA, I. E. S. L. et al. Transpiração e conteúdo relativo de água do feijão-caupi consorciado com plantas forrageiras sob limitação hídrica. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 6, p. e10225-e10225, 2025. DOI:
<https://doi.org/10.55905/oelv23n6-047>. Disponível em:
<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/10225/6449>.

LUO, D. et al. Plasticity of mesophyll cell density and cell wall thickness and composition play a pivotal role in regulating plant growth and photosynthesis under shading in rapeseed. **Annals of Botany**, v. 132, n. 5, p. 963-978, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcad140>. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/132/5/963/7280544#437509649>.

MATA, D. A. et al. Fertilidade do solo no semiárido: características e desafios. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 9, p. e4278, 2024. DOI:
<https://doi.org/10.7769/gesec.v15i9.4278>. Disponível em:
<https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4278>.

MAHAJAN, S. et al. Impression of contemporary heat stress complexities in agricultural crops: a review. **Plant Growth Regulation**, p. 1-19, 2025. DOI:
<https://doi.org/10.1007/s10725-025-01382-8>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10725-025-01382-8>

NASAR, J. et al. Nitrogen fertilization coupled with iron foliar application improves the photosynthetic characteristics, photosynthetic nitrogen use efficiency, and the related enzymes of maize crops under different planting patterns. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 988055, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.988055>. Disponível em:
<https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.988055/full>.

OLIVEIRA NETO, D. H. et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. **Horticultura**

Brasileira, v. 29, p.330-334, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/cXm7BGFJ4WnWHLnRJtNmhgs/?lang=pt>.

PAULA, F. S. et al. Production of fertilized lettuce with roostertree in different amounts and incorporation times. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 23, n. 5, p. 804-810, 2017. Disponível em: <https://agrojournal.org/23/05-17.pdf>.

PÉLISSIER, P.; MOTTE, H.; BEECKMAN, T. Lateral root formation and nutrients: nitrogen in the spotlight. **Plant Physiology**, v. 187, n. 3, p. 1104-1116, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab145>. Disponível: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33768243/>.

PEREIRA, L. E. T. et al. Critical concentration and management of nitrogen fertilization in the establishment of *Brachiaria* hybrid Mavuno. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 4, p. e20207625, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210052>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/GXnLQrfHhqXg9wVpNCRpzGC/?format=html&lang=en>.

PIERRE, J. F. et al. Effect of different maize (*Zea mays*)/cowpea (*Vigna unguiculata*) Intercropping patterns and N supply on light interception, physiology and productivity of cowpea. **Agricultural Research**, v. 13, n. 2, p. 204-215, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40003-024-00699-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40003-024-00699-6#Sec14>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2023.

PUTTI, F. F. et al. Estimation of lettuce shoot nitrogen via a portable spectrophotometer. **Discover Agricula**, v. 3, n. 25, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00170-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44279-025-00170-2>.

RIBEIRO, J. E. S. et al. Morphophysiological characteristics in *Erythroxylum pauferrense* Plowman plants under water stress. **Ciência Florestal**, v. 33, p. e65886, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509865886>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/VKrtLQjkzyLvMZ4W3nbTgQN/?format=html&lang=en>

SAHOO, S. K. et al. Physiological and biochemical mechanisms in underground vegetable crops for growth and development. In: LAL, M. K. et al. (Ed.). **Abiotic Stress in Underground Vegetables**. Academic Press, 2025. p. 39-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23961-8.00003-6>.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SAS INSTITUTE Inc. **SAS/IML® 14.1 User's Guide**. Version 9.0. Cary: SAS Institute Inc. 2015.

- SHAH, I. H. et al. Exploring the role of nitrogen and potassium in photosynthesis implications for sugar: accumulation and translocation in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 327, p. 112832, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112832>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423823010002?casa_token=luoCI413yScAAAAA:ueN0jBWDen8WnapiLnEuxPavs0hnxX9GpFx5ZRB4727JracSwGBazSY110jantDzu0SRFx29WZs.
- SHOUKAT, M. R. et al. Multiscale responses to combined drought and salinity stress in Apocynum: a model for climate-smart dryland restoration. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1664532, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1664532>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2025.1664532/full>.
- SILVA, A. A. et al. Potassium supplementation promotes osmotic adjustment and increases water use efficiency in sugarcane under water deficit. **Sugar Tech**, v. 23, n. 5, p. 1075-1084, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00997-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-021-00997-1#citeas>.
- SILVA, G. A. et al. Productive and monetary efficiency of radish and coriander intercropping under organic management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 56, p. e202391762, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20250036>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/XzjkbDjqjQ75X5676dYp6sJ/?format=html&lang=en>.
- SILVA, J. P. P. et al. Agro-economic optimization of radish cultivation fertilized with quantidades of roostertree in a semi-arid environment. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 4, p. 802-813, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n408rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/vgFY66RQJJvcNnyhFX4JgD/?format=html&lang=en>.
- SILVA, P. F. et al. Chlorophyll content in beet cv. *Early Wonder* under nitrogen fertilization. **Revista Ceres**, v. 66, n. 6, p. 460-469, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966060007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/LznjKjJ8GfB4jLdDqf7vscq/?format=html&lang=en>.
- SYSTAT SOFTWARE Inc. **Table Curve 3D** Academic Edition. San Jose, CA, 2021.
- TAIZ, L. et al. **Plant physiology and development**. 7. ed. New York: Oxford University Press. 2024.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.
- TIAN, S. et al. Organic fertilization promotes crop productivity through changes in soil aggregation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 165, p. 108533, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108533>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071721004077?casa_token=ANVaSAiyMv0AAAAA:1rhIyAdPL-rjzZIxqVC0hth6ekttiFMR-hq5YWG009S8fUQKKhbX4iIFipC9qssErBymQUeDRv8.

TOKARZ, B. et al. The Effect of Head Lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) Cultivation Under Glass with a Light Spectrum-Modifying Luminophore on Crop Traits. **Agronomy**, v. 15, n. 9, p. 2090, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15092090>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/9/2090>

WANG, C.; YUAN, S.; WANG, H. The impact of water storage capacity on plant dynamics in arid environments: A stoichiometric modeling approach. **Mathematical Biosciences**, n. 369, p. 109147, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2024.109147>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025556424000075>

WANG, M.; WEI, H.; JEONG, B. R. Lighting direction affects leaf morphology, stomatal characteristics, and physiology of head lettuce (*Lactuca sativa* L.). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 6, p. 3157, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22063157>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/6/3157>.

WEI, Y.; WANG, S.; YU, D. The role of light quality in regulating early seedling development. **Plants**, v. 12, n. 14, p. 2746, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12142746>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/14/2746>.

WEN, Y. et al. Long-term organic farming improves the red soil quality and microbial diversity in subtropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 381, p. 109410, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109410>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880924005280?casa_token=hoPjNKvH-v4AAAAA:D27c1GldjdimT70UWxffJBpd9Dmw4ZcM6vUnPwDZXrVCEp5xMPONDJULnOjP6sUV7O_gbpBuEeQ.

WRIGHT, A. J.; FRANCA, R. M. Plant traits, microclimate temperature and humidity: A research agenda for advancing nature-based solutions to a warming and drying climate. **Journal of Ecology**, v. 112, n. 11, p. 2462-2470, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14313>. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2745.14313>.

WYKA, T. P. et al. Drought-induced anatomical modifications of barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves: An allometric perspective. **Environmental and Experimental Botany**, v. 166, p. 103798, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103798>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847219303399?casa_token=niiN-b5L-doAAAAA:iK2sYnI9wTJPs5Ly5RXkLD1ea7rrIgiOiKwwFdkOsFRmkWjZ3cXdT7Hv90QW5hTIdWTjiY96cPE.

XIAO, L. et al. Efeitos da qualidade da luz no desenvolvimento das plantas e metabolismo dos frutos e sua regulação por reguladores de crescimento no tomate. **Scientia Horticultura**, v. 300, p. 111076, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111076>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423822002011>.

XU, X. et al. Optimizing organic fertilization towards sustainable vegetable production evaluated by long-term field measurement and multi-level fuzzy comprehensive model.

Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 368, p. 109008, 2024. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109008>. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880924001269?casa_token=rg3Sry701EwAAAAA:g9iCMqF8V6CsO6QVYxb9lhsyQcNtHnxaYT2IMLkXL5AHREgJnMpv9LtojUNj76NgKUeU3gN2n4Y#bib49.

YIN, W. et al. Water utilization in intercropping: A review. **Agricultural Water**

Management, v. 241, p. 106335, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377420303620>.

ZHAO, D. et al. Morpho-physiological adaptations to drought stress in nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing plants. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 12, p. 1407882, 2024.

DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1407882>. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2024.1407882>.

ZHUANG, J.; WANG, Q.; JIN, J. Estimate electron transport rate from chlorophyll a fluorescence by integrating the effects of light quantity and quality. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 237, p. 110718, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110718>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169925008245?via%3Dihub>.

CONCLUSÕES GERAIS

De modo geral, a aplicação de 85 t ha⁻¹ de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, combinada com 100% da DRM das folhosas, proporcionou a máxima eficiência produtiva do coentro e da alface. Mesmo que essa combinação não tenha sido ideal para a máxima produtividade de raízes comerciais de beterraba, assegurou elevada eficiência agrobiomonetária do sistema. Apesar da elevada quantidade de 85 t ha⁻¹ dos adubos verdes, os efeitos da decomposição e o residual da biomassa contribuíram para a redução da competição por recursos, favorecendo o desenvolvimento da cultura em sucessão e ampliando a eficiência global do sistema.

Adicionalmente, embora a capacidade fotossintética e os parâmetros de qualidade pós-colheita tenham apresentado respostas diferenciadas entre as culturas, o manejo com maiores quantidades dos adubos verdes e maior densidade populacional promoveu melhora significativa do status hídrico das hortaliças. Tal efeito foi evidenciado pela maior retenção de água e manutenção do turgor foliar, demonstrando que ajustes precisos desses fatores são essenciais para a maximização da qualidade e estabilidade fisiológica em hortaliças consorciadas.

Em síntese, considerando as condições específicas desse experimento, conclui-se que o cultivo consorciado de beterraba, coentro e alface, em sucessão e adubado com espécies espontâneas da Caatinga quando associado ao manejo adequado das densidades populacionais, aumenta a produtividade e a estabilidade fisiológica das culturas. Além disso, garante eficiência monetária do sistema e a produção de alimentos seguros, configurando uma alternativa viável e resiliente para as regiões semiáridas.

APÊNDICE

Tabela 1 – Médias de altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NFP), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de beterraba consorciada com folhosas em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	AP (cm)			NFP		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	36,45	35,31	35,88	7,27	7,91	7,59
40	45	43,01	42,29	42,65	7,59	8,72	8,16
40	65	45,08	45,94	45,51	7,81	9,17	8,49
40	85	49,60	49,60	49,60	8,23	8,97	8,60
60	25	38,23	37,76	38,00	7,53	7,89	7,71
60	45	43,05	43,20	43,12	8,03	8,27	8,15
60	65	45,11	47,73	46,42	8,31	8,72	8,52
60	85	50,19	52,01	51,10	8,66	8,66	8,66
80	25	38,89	37,55	38,22	7,72	8,55	8,13
80	45	43,50	44,73	44,11	8,13	9,44	8,78
80	65	45,88	47,09	46,48	8,52	9,91	9,21
80	85	50,68	51,12	50,90	8,73	9,55	9,14
100	25	40,63	37,84	39,23	7,97	8,88	8,42
100	45	43,62	43,62	43,62	8,22	8,69	8,45
100	65	46,17	46,07	46,12	8,64	9,16	8,90
100	85	50,71	50,60	50,66	8,80	8,75	8,77
Monocultivo		41,44	43,60	42,52	8,44	9,20	8,82
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	MSPA (t ha ⁻¹)			MSR (t ha ⁻¹)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	5,63	5,47	5,55	7,25	6,58	6,91
40	45	7,11	6,48	6,80	9,16	9,24	9,20
40	65	8,07	8,07	8,07	10,32	11,33	10,82
40	85	8,77	8,85	8,81	10,69	11,89	11,29
60	25	6,17	5,74	5,96	7,21	12,48	9,85
60	45	7,51	7,29	7,40	8,67	11,13	9,90
60	65	8,71	8,05	8,38	8,89	10,97	9,93
60	85	9,45	8,88	9,17	9,73	8,53	9,13
80	25	6,72	6,34	6,53	7,11	9,02	8,06
80	45	8,07	8,07	8,07	8,28	10,41	9,35
80	65	9,00	8,85	8,93	8,67	11,34	10,00
80	85	10,20	10,06	10,13	9,41	12,90	11,15
100	25	7,49	7,38	7,43	7,08	7,76	7,42
100	45	8,87	7,96	8,41	8,00	7,55	7,78
100	65	9,77	9,59	9,68	8,63	9,07	8,85
100	85	11,36	10,81	11,09	9,09	7,79	8,44
Monocultivo		9,14	8,20	8,67	8,34	11,54	9,94

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo das folhosas (%); ²biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 2 – Médias de produtividade de raízes graúdas, extra AA, extra A, extra e produtividade comercial (PC) e total de raízes (PT) de beterraba consorciada com folhosas em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	Graúda (t ha ⁻¹)			Extra AA (t ha ⁻¹)			Extra A (t ha ⁻¹)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	4,76	4,25	4,51	7,83	4,47	6,15	2,98	3,70	3,34
40	45	6,37	9,23	7,80	9,56	8,42	8,99	3,25	5,31	4,28
40	65	8,37	15,83	12,10	11,59	10,14	10,87	4,38	4,58	4,48
40	85	10,26	21,81	16,03	10,35	10,88	10,62	2,64	4,58	3,61
60	25	5,42	6,81	6,11	9,70	7,12	8,41	3,42	5,30	4,36
60	45	9,31	11,94	10,63	11,48	7,22	9,35	3,53	5,45	4,49
60	65	11,60	20,18	15,89	13,41	10,00	11,71	4,44	4,71	4,57
60	85	15,17	23,21	19,19	11,62	8,19	9,91	3,26	4,78	4,02
80	25	6,64	5,40	6,02	10,17	5,70	7,94	3,52	5,03	4,27
80	45	9,45	11,50	10,47	11,19	8,82	10,00	4,14	5,23	4,68
80	65	12,62	14,18	13,40	13,36	7,54	10,45	4,75	5,47	5,11
80	85	16,52	21,15	18,83	12,14	9,73	10,93	3,88	4,05	3,96
100	25	6,39	6,24	6,32	10,61	5,77	8,19	3,36	4,92	4,14
100	45	8,07	8,23	8,15	12,18	11,08	11,63	3,80	5,81	4,80
100	65	8,86	13,74	11,30	13,33	8,79	11,06	4,16	4,55	4,35
100	85	12,41	19,29	15,85	12,01	10,92	11,47	3,77	5,53	4,65
Monocultivo		11,25	20,70	15,98	11,99	13,37	12,68	7,31	5,05	6,18
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	Extra (t ha ⁻¹)			PC (t ha ⁻¹)			PT (t ha ⁻¹)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	4,09	2,53	3,31	22,09	18,60	20,34	19,65	14,97	17,31
40	45	4,18	3,35	3,76	24,82	29,33	27,08	23,36	26,31	24,83
40	65	4,59	2,99	3,79	30,66	35,81	33,23	28,93	33,55	31,24
40	85	4,25	3,07	3,66	29,90	42,27	36,09	27,50	40,32	33,91
60	25	4,19	4,26	4,23	24,54	25,57	25,06	22,73	23,48	23,10
60	45	4,62	3,94	4,28	30,27	30,01	30,14	28,94	28,56	28,75
60	65	5,10	3,48	4,29	37,15	39,98	38,57	34,55	38,37	36,46
60	85	5,05	3,32	4,18	37,93	41,84	39,88	35,10	39,50	37,30
80	25	4,27	4,05	4,16	26,49	23,18	24,83	24,59	20,18	22,38
80	45	4,63	4,18	4,40	30,86	31,86	31,36	29,41	29,72	29,56
80	65	5,59	3,76	4,67	38,11	34,06	36,09	36,32	30,96	33,64
80	85	5,14	3,38	4,26	39,41	41,24	40,32	37,67	38,31	37,99
100	25	3,50	4,12	3,81	25,57	23,36	24,47	23,86	21,05	22,45
100	45	4,35	3,61	3,98	30,40	30,07	30,23	28,39	28,72	28,56
100	65	5,46	4,22	4,84	33,52	33,71	33,61	31,81	31,30	31,55
100	85	4,79	2,91	3,85	34,78	40,80	37,79	32,99	38,65	35,82
Monocultivo		4,99	3,39	4,19	39,39	47,08	43,23	35,54	42,51	39,02

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo das folhosas (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 3 – Médias de altura de plantas (AP), número de haste por planta (NHP), relação folha/haste (RFH), número de molhos m² (NM²), massa seca da parte aérea (MSPA) e rendimento de massa verde (RMV) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	AP (cm)			NHP			RFH		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	9,02	10,80	9,91	5,01	4,61	4,81	1,12	1,07	1,09
40	45	11,82	11,83	11,82	5,26	5,26	5,26	1,20	1,15	1,18
40	65	13,27	12,15	12,71	5,36	5,53	5,44	1,32	1,23	1,28
40	85	15,58	13,08	14,33	6,04	5,73	5,88	1,11	1,26	1,19
60	25	9,93	11,69	10,81	5,26	5,24	5,25	1,22	1,20	1,21
60	45	12,01	12,54	12,28	5,71	5,56	5,64	1,23	1,24	1,24
60	65	13,65	13,20	13,42	5,89	5,73	5,81	1,33	1,28	1,31
60	85	16,41	14,33	15,37	6,89	5,85	6,37	1,15	1,25	1,20
80	25	10,82	12,25	11,54	5,59	5,04	5,31	1,24	1,22	1,23
80	45	12,81	13,39	13,10	6,08	5,38	5,73	1,29	1,24	1,26
80	65	13,66	14,21	13,93	6,09	5,78	5,93	1,51	1,27	1,39
80	85	16,45	15,29	15,87	6,96	6,49	6,73	1,17	1,25	1,21
100	25	10,43	13,43	11,93	4,60	4,78	4,69	1,21	1,20	1,20
100	45	12,56	14,93	13,74	5,65	5,44	5,54	1,26	1,25	1,26
100	65	13,55	15,53	14,54	5,89	5,76	5,83	1,40	1,29	1,34
100	85	14,60	16,50	15,55	6,59	6,40	6,49	1,02	1,24	1,13
Monocultivo		12,38	15,11	13,75	6,56	5,81	6,19	1,31	1,23	1,27
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	NM ²			MSPA (t ha ⁻¹)			RMV (t ha ⁻¹)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	0,80	0,80	0,80	0,23	0,22	0,23	0,80	0,80	0,80
40	45	1,00	1,19	1,10	0,32	0,31	0,32	1,00	1,19	1,10
40	65	1,10	1,30	1,20	0,33	0,31	0,32	1,10	1,30	1,20
40	85	1,24	1,43	1,33	0,43	0,33	0,38	1,24	1,43	1,33
60	25	0,92	0,99	0,95	0,24	0,22	0,23	0,92	0,99	0,95
60	45	1,24	1,31	1,28	0,34	0,29	0,32	1,24	1,31	1,28
60	65	1,42	1,47	1,44	0,35	0,38	0,36	1,42	1,47	1,44
60	85	1,54	1,57	1,56	0,45	0,34	0,40	1,54	1,57	1,56
80	25	1,13	1,17	1,15	0,25	0,21	0,23	1,13	1,17	1,15
80	45	1,43	1,51	1,47	0,35	0,29	0,32	1,43	1,51	1,47
80	65	1,68	1,67	1,67	0,36	0,37	0,37	1,68	1,67	1,67
80	85	2,11	2,03	2,07	0,47	0,33	0,40	2,11	2,03	2,07
100	25	1,29	1,13	1,21	0,27	0,21	0,24	1,29	1,13	1,21
100	45	1,63	1,64	1,63	0,38	0,30	0,34	1,63	1,64	1,63
100	65	1,92	1,99	1,95	0,40	0,34	0,37	1,92	1,99	1,95
100	85	2,55	2,59	2,57	0,50	0,35	0,43	2,55	2,59	2,57
Monocultivo		3,05	3,39	3,22	0,51	0,30	0,40	3,05	3,39	3,22

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de coentro (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 4 – Médias de altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NFP), diâmetro transversal da planta (DTP) massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de folhas (PF) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	AP (cm)			NFP			DTP (cm)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	6,50	8,25	7,37	11,40	17,40	14,40	14,55	15,13	14,84
40	45	8,10	10,60	9,35	11,44	18,75	15,09	16,93	16,23	16,58
40	65	9,38	12,35	10,86	14,75	21,55	18,15	18,77	18,25	18,51
40	85	12,77	13,60	13,19	16,40	22,95	19,68	20,86	19,53	20,19
60	25	6,82	9,63	8,22	11,48	19,40	15,44	11,44	15,78	13,61
60	45	8,38	10,80	9,59	11,50	21,50	16,50	17,88	17,25	17,56
60	65	11,03	12,43	11,73	15,40	23,30	19,35	20,60	20,40	20,50
60	85	13,24	13,30	13,27	17,70	25,20	21,45	22,58	22,35	22,46
80	25	7,15	10,38	8,76	11,55	21,55	16,55	13,53	15,33	14,43
80	45	8,85	12,53	10,69	13,45	22,95	18,20	18,66	18,25	18,45
80	65	11,14	15,23	13,18	15,90	23,80	19,85	19,26	19,55	19,40
80	85	10,69	20,10	15,39	17,75	25,45	21,60	21,09	21,30	21,20
100	25	7,73	11,75	9,74	11,25	22,05	16,65	13,78	15,43	14,60
100	45	9,43	13,33	11,38	12,80	24,00	18,40	16,73	17,20	16,96
100	65	12,60	15,68	14,14	15,00	25,10	20,05	22,02	18,60	20,31
100	85	13,54	22,68	18,11	16,70	26,35	21,53	21,80	21,23	21,51
Monocultivo		15,27	20,18	17,72	24,50	27,45	25,98	21,80	21,18	21,49
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	MSPA (t ha ⁻¹)			PF (t ha ⁻¹)					
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média			
40	25	0,35	0,98	0,66	3,02	3,17	3,10			
40	45	0,45	1,50	0,98	4,12	4,11	4,12			
40	65	0,74	1,70	1,22	5,01	5,13	5,07			
40	85	0,78	1,20	0,99	5,93	7,17	6,55			
60	25	0,37	1,50	0,94	3,65	4,04	3,84			
60	45	0,50	1,58	1,04	4,52	5,68	5,10			
60	65	0,65	2,05	1,35	6,61	7,97	7,29			
60	85	0,75	1,90	1,33	7,28	10,48	8,88			
80	25	0,38	0,80	0,59	3,84	4,59	4,22			
80	45	0,52	1,13	0,82	5,39	6,20	5,79			
80	65	0,66	1,30	0,98	7,04	9,42	8,23			
80	85	0,85	1,70	1,28	8,06	14,72	11,39			
100	25	0,39	0,88	0,63	4,60	5,17	4,89			
100	45	0,58	1,10	0,84	6,22	7,01	6,62			
100	65	0,75	1,28	1,01	8,09	10,14	9,12			
100	85	0,85	1,38	1,11	9,44	15,74	12,59			
Monocultivo		1,03	1,70	1,36	11,12	19,67	15,40			

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de alface (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 5 – Médias da variável canônica Z (Z), índice de produtividade do sistema (IPS) e razão de equivalência monetária (REM) do consórcio de beterraba com folhosas em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	Z			IPS			REM		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	5,37	4,53	4,95	29,21	22,30	25,76	1,30	0,40	0,85
40	45	6,63	7,27	6,95	36,20	36,08	36,14	1,60	0,61	1,11
40	65	8,11	9,13	8,62	44,25	45,40	44,83	1,95	0,76	1,36
40	85	8,28	11,34	9,81	45,48	56,17	50,83	1,99	0,96	1,48
60	25	6,28	6,61	6,44	34,18	32,74	33,46	1,52	0,56	1,04
60	45	7,97	8,41	8,19	43,38	41,45	42,42	1,93	0,73	1,33
60	65	9,99	11,31	10,65	54,67	55,77	55,22	2,40	0,98	1,69
60	85	10,43	12,62	11,52	57,22	61,73	59,48	2,51	1,13	1,82
80	25	6,81	6,28	6,54	37,08	30,80	33,94	1,66	0,56	1,11
80	45	8,50	8,93	8,71	46,51	43,93	45,22	2,06	0,78	1,42
80	65	10,62	10,57	10,60	58,19	51,41	54,80	2,57	0,97	1,77
80	85	11,48	14,34	12,91	63,16	69,18	66,17	2,80	1,35	2,07
100	25	7,04	6,67	6,86	38,64	32,66	35,65	1,72	0,60	1,16
100	45	8,73	9,12	8,93	48,08	44,67	46,37	2,13	0,82	1,47
100	65	10,29	11,06	10,68	56,92	53,65	55,28	2,50	1,03	1,76
100	85	11,33	15,06	13,19	63,05	72,45	67,75	2,79	1,44	2,11

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo das folhosas (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 6 – Médias da relação equivalente de terra (RET), razão de área equivalente no tempo (RAET), vantagem monetária corrigida (VMc) e índice de eficiência produtiva (IEP) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	RET			RAET		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	1,09	0,75	0,92	0,85	0,56	0,70
40	45	1,36	1,18	1,27	1,04	0,91	0,97
40	65	1,63	1,43	1,53	1,26	1,12	1,19
40	85	1,71	1,74	1,72	1,29	1,36	1,32
60	25	1,27	1,05	1,16	0,99	0,81	0,90
60	45	1,63	1,35	1,49	1,26	1,02	1,14
60	65	2,03	1,74	1,89	1,55	1,34	1,45
60	85	2,15	1,93	2,04	1,62	1,46	1,54
80	25	1,41	1,05	1,23	1,09	0,77	0,93
80	45	1,78	1,46	1,62	1,35	1,09	1,22
80	65	2,21	1,70	1,95	1,67	1,24	1,45
80	85	2,48	2,25	2,36	1,84	1,62	1,73
100	25	1,51	1,09	1,30	1,13	0,80	0,97
100	45	1,89	1,52	1,70	1,40	1,11	1,26
100	65	2,25	1,84	2,05	1,64	1,31	1,47
100	85	2,61	2,47	2,54	1,86	1,73	1,79

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	VMc (R\$)			IEP		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	10609,18	-28600,92	-8995,87	0,88	0,82	0,85
40	45	48829,64	27228,93	38029,29	0,88	0,89	0,88
40	65	97758,44	76191,41	86974,92	0,88	0,90	0,89
40	85	106030,18	153900,78	129965,48	0,84	0,97	0,90
60	25	37623,34	7582,57	22602,96	0,92	0,91	0,91
60	45	101614,54	61687,47	81651,01	0,92	0,92	0,92
60	65	193934,74	164731,31	179333,03	0,93	0,97	0,95
60	85	214422,07	227572,26	220997,16	0,91	0,98	0,94
80	25	60848,87	8041,53	34445,20	0,93	0,90	0,92
80	45	132442,13	85355,98	108899,06	0,93	0,94	0,93
80	65	239195,52	154028,56	196612,04	0,95	0,95	0,95
80	85	302438,91	362784,89	332611,90	0,95	0,99	0,97
100	25	76475,96	14518,30	45497,13	0,93	0,92	0,92
100	45	152880,69	99465,98	126173,33	0,94	0,94	0,94
100	65	237810,75	192118,42	214964,59	0,93	0,96	0,94
100	85	323121,60	448179,49	385650,55	0,92	1,00	0,96

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo das folhosas (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 7 – Médias do índice de superação das folhosas sobre a tuberosa (ISf), índice de superação da beterraba sobre as folhosas (ISb), perda ou ganho real de rendimento (PRR) e vantagem do consórcio (VC) de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	ISf			ISb		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	-0,14	-0,09	-0,12	0,14	0,09	0,12
40	45	-0,15	-0,19	-0,17	0,15	0,19	0,17
40	65	-0,19	-0,26	-0,22	0,19	0,26	0,22
40	85	-0,13	-0,29	-0,21	0,13	0,29	0,21
60	25	-0,16	-0,17	-0,16	0,16	0,17	0,16
60	45	-0,20	-0,18	-0,19	0,20	0,18	0,19
60	65	-0,20	-0,25	-0,22	0,20	0,25	0,22
60	85	-0,18	-0,20	-0,19	0,18	0,20	0,19
80	25	-0,17	-0,11	-0,14	0,17	0,11	0,14
80	45	-0,17	-0,18	-0,18	0,17	0,18	0,18
80	65	-0,20	-0,12	-0,16	0,20	0,12	0,16
80	85	-0,17	-0,09	-0,13	0,17	0,09	0,13
100	25	-0,13	-0,11	-0,12	0,13	0,11	0,12
100	45	-0,12	-0,15	-0,14	0,12	0,15	0,14
100	65	-0,09	-0,11	-0,10	0,09	0,11	0,10
100	85	-0,04	-0,06	-0,05	0,04	0,06	0,05
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	VC			PRR		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	-8,17	-12,10	-10,13	-0,83	-1,50	-1,16
40	45	-4,75	-7,71	-6,23	-0,29	-0,64	-0,46
40	65	-2,04	-5,36	-3,70	0,25	-0,13	0,06
40	85	-0,22	-1,97	-1,09	0,43	0,47	0,45
60	25	-5,99	-9,29	-7,64	-0,46	-0,90	-0,68
60	45	-1,45	-5,31	-3,38	0,26	-0,30	-0,02
60	65	3,11	-1,21	0,95	1,06	0,48	0,77
60	85	4,91	1,86	3,38	1,30	0,85	1,07
80	25	-3,77	-8,06	-5,91	-0,18	-0,89	-0,54
80	45	1,06	-3,56	-1,25	0,56	-0,08	0,24
80	65	5,94	0,52	3,23	1,41	0,40	0,91
80	85	10,63	8,31	9,47	1,95	1,49	1,72
100	25	-1,85	-7,68	-4,76	0,02	-0,82	-0,40
100	45	3,31	-2,13	0,59	0,78	0,03	0,41
100	65	8,21	3,09	5,65	1,50	0,68	1,09
100	85	14,79	12,63	13,71	2,22	1,95	2,09

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo das folhosas (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 8 – Médias da renda bruta (RB), renda líquida (RL), taxa de retorno (TR) e índice de lucratividade (IL) do consórcio de beterraba com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	RB (R\$ t ha ⁻¹)			RL (R\$ t ha ⁻¹)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	86603,91	71179,48	78891,69	64570,86	49146,43	56858,64
40	45	106792,97	109561,74	108177,36	79069,80	81838,57	80454,18
40	65	130064,06	136495,82	133279,94	96741,66	103173,42	99957,54
40	85	132958,59	171862,39	152410,49	93875,37	132779,17	113327,27
60	25	101114,06	100378,27	100746,17	78131,61	77395,82	77763,72
60	45	128843,44	130228,88	129536,16	100170,86	101556,30	100863,58
60	65	160298,44	175102,70	167700,57	126026,64	140830,91	133428,77
60	85	167489,06	201596,88	184542,97	127456,44	161564,25	144510,35
80	25	110458,59	99707,72	105083,15	86870,14	76119,27	81494,71
80	45	137749,22	139554,09	138651,65	108470,65	110275,51	109373,08
80	65	171370,31	173326,35	172348,33	136492,51	138448,55	137470,53
80	85	186646,88	241908,50	214277,69	146008,25	201269,88	173639,07
100	25	114686,25	106519,99	110603,12	90431,20	82264,94	86348,07
100	45	142043,91	145963,25	144003,58	112098,73	116018,08	114058,40
100	65	167041,41	183791,47	175416,44	131497,01	148247,07	139872,04
100	85	186173,44	257644,87	221909,15	144868,22	216339,65	180603,93
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	TR			IL (%)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	3,93	3,23	3,58	74,55	69,04	71,79
40	45	3,85	3,95	3,90	74,04	74,67	74,35
40	65	3,90	4,10	4,00	74,38	75,56	74,97
40	85	3,40	4,40	3,90	70,60	77,26	73,93
60	25	4,40	4,37	4,38	77,27	77,08	77,18
60	45	4,49	4,54	4,52	77,74	77,97	77,86
60	65	4,68	5,11	4,89	78,62	80,39	79,51
60	85	4,18	5,04	4,61	76,10	80,14	78,12
80	25	4,68	4,23	4,45	78,64	76,33	77,48
80	45	4,70	4,77	4,74	78,74	79,02	78,88
80	65	4,91	4,97	4,94	79,65	79,87	79,76
80	85	4,59	5,95	5,27	78,23	83,20	80,71
100	25	4,73	4,39	4,56	78,85	77,20	78,02
100	45	4,74	4,87	4,81	78,91	79,48	79,19
100	65	4,70	5,17	4,94	78,72	80,64	79,68
100	85	4,51	6,24	5,37	77,80	83,96	80,88

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo das folhosas (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 9 – Médias do pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT e açúcares solúveis totais (AST) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	pH			SS (°Brix)			AT (%)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	6,18	6,13	6,15	9,93	9,90	9,91	0,144	0,147	0,146
40	45	6,20	6,18	6,19	10,10	10,43	10,26	0,138	0,143	0,140
40	65	6,15	6,10	6,13	9,88	10,00	9,94	0,152	0,151	0,151
40	85	6,10	6,00	6,05	9,58	9,33	9,45	0,156	0,158	0,157
60	25	6,15	6,15	6,15	10,40	10,00	10,20	0,147	0,140	0,143
60	45	6,18	6,20	6,19	11,03	10,98	11,00	0,139	0,132	0,135
60	65	6,10	6,13	6,11	10,07	10,20	10,14	0,142	0,142	0,142
60	85	6,08	6,08	6,08	9,45	9,88	9,66	0,145	0,147	0,146
80	25	6,15	6,15	6,15	10,00	10,08	10,04	0,151	0,147	0,149
80	45	6,18	6,20	6,19	10,38	10,43	10,40	0,143	0,142	0,143
80	65	6,15	6,13	6,14	9,98	9,98	9,98	0,149	0,153	0,151
80	85	6,08	6,08	6,08	9,75	9,90	9,83	0,153	0,158	0,155
100	25	6,15	6,15	6,15	9,93	9,80	9,86	0,153	0,156	0,154
100	45	6,18	6,18	6,18	10,33	10,30	10,31	0,146	0,140	0,143
100	65	6,13	6,13	6,13	9,83	9,40	9,61	0,154	0,153	0,153
100	85	6,00	6,05	6,03	9,35	9,25	9,30	0,166	0,162	0,164
Monocultivo		6,10	6,13	6,11	10,13	10,20	10,16	0,143	0,144	0,143
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	SS/AT			AST (%)					
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média			
40	25	69,23	67,23	68,23	8,89	8,61	8,75			
40	45	73,43	73,03	73,23	9,16	8,98	9,07			
40	65	65,15	66,31	65,73	9,21	8,69	8,95			
40	85	61,43	59,60	60,51	9,00	8,18	8,59			
60	25	70,99	71,17	71,08	9,31	9,00	9,16			
60	45	79,48	83,47	81,48	9,67	9,59	9,63			
60	65	70,96	71,87	71,42	9,37	9,07	9,22			
60	85	65,39	67,46	66,42	8,60	8,88	8,74			
80	25	66,37	68,40	67,38	9,42	9,11	9,27			
80	45	72,58	73,35	72,97	9,55	9,64	9,60			
80	65	67,00	65,07	66,04	8,97	9,02	8,99			
80	85	64,14	62,74	63,44	8,56	8,85	8,70			
100	25	65,38	62,86	64,12	8,76	8,49	8,63			
100	45	71,17	73,87	72,52	8,84	9,07	8,96			
100	65	63,85	61,66	62,75	8,69	8,45	8,57			
100	85	56,32	57,17	56,75	8,57	8,34	8,46			
Monocultivo		71,15	71,19	71,17	9,61	8,70	9,16			

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo das folhosas (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 10 – Médias da betacianina (Bc), luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	Bc (mg 100 ⁻¹)			L*		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	38,82	41,23	40,03	11,59	11,53	11,56
40	45	38,98	41,55	40,26	12,10	12,08	12,09
40	65	39,47	42,06	40,76	12,68	12,97	12,82
40	85	39,29	41,76	40,53	12,37	12,04	12,20
60	25	40,77	42,02	41,40	12,23	11,46	11,84
60	45	42,71	42,78	42,74	12,44	12,33	12,39
60	65	43,09	43,73	43,41	12,73	12,88	12,80
60	85	42,66	42,09	42,38	12,57	12,46	12,52
80	25	45,33	43,63	44,48	12,35	11,94	12,14
80	45	46,69	44,53	45,61	12,63	12,56	12,59
80	65	47,64	45,86	46,75	12,94	12,72	12,83
80	85	47,14	44,77	45,95	12,76	12,41	12,59
100	25	46,04	44,95	45,50	12,42	12,05	12,23
100	45	48,62	45,47	47,04	12,60	12,61	12,60
100	65	50,88	46,49	48,69	13,07	12,84	12,95
100	85	50,19	46,00	48,09	12,84	12,68	12,76
Monocultivo		41,29	43,26	42,27	14,89	13,06	13,97
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	a*			b*		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	37,54	36,56	37,05	17,98	18,40	18,19
40	45	40,82	38,64	39,73	17,24	18,22	17,73
40	65	43,54	40,33	41,93	16,93	18,77	17,85
40	85	41,97	39,47	40,72	17,14	17,78	17,46
60	25	41,73	37,59	39,66	17,04	17,74	17,39
60	45	42,91	39,27	41,09	16,86	18,30	17,58
60	65	44,33	42,41	43,37	16,69	17,67	17,18
60	85	44,01	41,75	42,88	16,60	17,37	16,98
80	25	42,28	39,51	40,89	16,98	17,59	17,28
80	45	44,56	41,33	42,95	16,46	17,69	17,08
80	65	43,35	44,59	43,97	17,36	16,60	16,98
80	85	45,18	42,40	43,79	16,41	17,03	16,72
100	25	43,38	42,53	42,95	16,64	16,46	16,55
100	45	44,45	43,63	44,04	16,47	16,79	16,63
100	65	47,51	45,27	46,39	15,96	16,47	16,22
100	85	45,95	43,41	44,68	16,22	16,98	16,60
Monocultivo		42,67	42,89	42,78	20,43	17,74	19,08

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidades populacional recomendada para o monocultivo das folhosas (%); ²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 11 – Médias do pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais (AST) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	pH			SS (°Brix)			AT (%)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	5,63	6,15	5,89	4,80	4,75	4,78	0,17	0,23	0,20
40	45	5,73	6,20	5,96	4,90	5,20	5,05	0,16	0,23	0,20
40	65	5,78	6,30	6,04	5,13	5,28	5,20	0,16	0,22	0,19
40	85	5,73	6,23	5,98	4,88	5,15	5,01	0,17	0,23	0,20
60	25	5,73	6,18	5,95	4,80	4,88	4,84	0,18	0,24	0,21
60	45	5,75	6,25	6,00	4,88	5,13	5,00	0,17	0,23	0,20
60	65	5,80	6,33	6,06	5,08	5,20	5,14	0,16	0,22	0,19
60	85	5,75	6,25	6,00	4,90	5,03	4,96	0,17	0,23	0,20
80	25	5,75	6,20	5,98	4,78	4,58	4,68	0,18	0,24	0,21
80	45	5,78	6,28	6,03	4,83	5,03	4,93	0,18	0,23	0,21
80	65	5,83	6,35	6,09	5,00	5,13	5,06	0,17	0,23	0,20
80	85	5,78	6,25	6,01	4,90	5,00	4,95	0,17	0,23	0,20
100	25	5,78	6,18	5,98	4,70	4,50	4,60	0,19	0,24	0,22
100	45	5,80	6,30	6,05	4,75	4,73	4,74	0,18	0,24	0,21
100	65	5,83	6,38	6,10	4,93	4,85	4,89	0,16	0,23	0,20
100	85	5,80	6,25	6,03	4,75	4,68	4,71	0,17	0,23	0,20
Monocultivo		5,83	6,28	6,05	5,30	4,73	5,01	0,18	0,22	0,20
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	SS/AT			AST (%)					
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média			
40	25	28,47	20,24	24,35	1,36	1,59	1,48			
40	45	30,14	22,72	26,43	1,38	1,62	1,50			
40	65	32,18	23,92	28,05	1,42	1,71	1,56			
40	85	29,29	22,85	26,07	1,39	1,60	1,49			
60	25	27,14	20,52	23,83	1,31	1,52	1,42			
60	45	28,52	22,23	25,37	1,38	1,57	1,48			
60	65	32,88	23,26	28,07	1,40	1,68	1,54			
60	85	29,02	22,06	25,54	1,36	1,58	1,47			
80	25	26,75	19,05	22,90	1,29	1,48	1,38			
80	45	27,44	21,56	24,50	1,35	1,53	1,44			
80	65	29,91	22,66	26,28	1,38	1,61	1,50			
80	85	29,14	21,69	25,41	1,32	1,55	1,43			
100	25	24,77	18,61	21,69	1,22	1,44	1,33			
100	45	26,30	19,97	23,13	1,32	1,49	1,41			
100	65	30,11	21,33	25,72	1,36	1,56	1,46			
100	85	28,30	20,07	24,18	1,24	1,47	1,35			
Monocultivo		29,77	21,13	25,45	1,16	1,56	1,36			

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de coentro (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 12 – Médias da luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	L*			a*			b*		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	41,24	33,67	37,46	-17,19	-9,29	-13,24	24,37	11,65	18,01
40	45	41,61	33,72	37,67	-17,34	-9,39	-13,36	24,22	11,51	17,86
40	65	41,91	33,89	37,90	-17,57	-9,47	-13,52	24,09	11,42	17,76
40	85	42,00	33,97	37,99	-17,61	-9,58	-13,60	23,99	11,36	17,67
60	25	41,39	33,74	37,56	-17,33	-9,31	-13,32	24,28	11,44	17,86
60	45	41,72	33,82	37,77	-17,57	-9,42	-13,49	24,19	11,39	17,79
60	65	41,98	33,91	37,95	-17,65	-9,51	-13,58	24,00	11,31	17,66
60	85	42,07	34,00	38,03	-17,73	-9,57	-13,65	23,90	11,24	17,57
80	25	41,48	33,82	37,65	-17,41	-9,47	-13,44	24,14	11,31	17,72
80	45	41,83	33,87	37,85	-17,64	-9,56	-13,60	24,01	11,24	17,62
80	65	42,03	33,97	38,00	-17,72	-9,61	-13,66	23,95	11,13	17,54
80	85	42,13	34,06	38,09	-17,85	-9,87	-13,86	23,89	11,06	17,48
100	25	41,52	33,98	37,75	-17,48	-9,58	-13,53	23,98	11,24	17,61
100	45	41,94	34,04	37,99	-17,70	-9,66	-13,68	23,88	11,17	17,52
100	65	42,15	34,11	38,13	-17,88	-9,86	-13,87	23,76	11,00	17,38
100	85	42,22	34,20	38,21	-17,92	-9,92	-13,92	23,66	10,85	17,25
Monocultivo		42,16	30,24	36,20	-17,40	-9,76	-13,58	23,38	11,02	17,20

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de coentro (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 13 – Médias do pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares solúveis totais (AST) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	pH			SS (°Brix)			AT (%)		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	5,30	6,19	5,74	2,45	2,70	2,58	0,12	0,17	0,15
40	45	5,43	6,23	5,83	2,60	2,73	2,66	0,12	0,16	0,14
40	65	5,78	6,25	6,01	2,68	2,75	2,71	0,11	0,16	0,14
40	85	5,73	6,23	5,98	2,55	2,70	2,63	0,12	0,16	0,14
60	25	5,48	6,20	5,84	2,48	2,68	2,58	0,12	0,17	0,15
60	45	5,58	6,25	5,91	2,53	2,70	2,61	0,12	0,17	0,14
60	65	5,65	6,30	5,98	2,63	2,73	2,68	0,12	0,16	0,14
60	85	5,63	6,25	5,94	2,53	2,65	2,59	0,12	0,17	0,14
80	25	5,48	6,23	5,85	2,40	2,65	2,53	0,13	0,17	0,15
80	45	5,60	6,28	5,94	2,55	2,68	2,61	0,12	0,17	0,14
80	65	5,68	6,30	5,99	2,63	2,70	2,66	0,12	0,17	0,14
80	85	5,65	6,25	5,95	2,53	2,65	2,59	0,12	0,17	0,14
100	25	5,55	6,28	5,91	2,33	2,60	2,46	0,13	0,17	0,15
100	45	5,63	6,30	5,96	2,53	2,63	2,58	0,12	0,17	0,15
100	65	5,65	6,33	5,99	2,65	2,65	2,65	0,12	0,17	0,14
100	85	5,63	6,30	5,96	2,48	2,58	2,53	0,12	0,17	0,15
Monocultivo		5,43	6,25	5,84	2,33	2,53	2,43	0,13	0,16	0,15
Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	SS/AT			AST (%)					
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média			
40	25	20,05	16,06	18,05	2,27	2,58	2,43			
40	45	22,60	16,64	19,62	2,36	2,61	2,49			
40	65	23,42	17,06	20,24	2,45	2,67	2,56			
40	85	22,14	16,68	19,41	2,21	2,60	2,40			
60	25	20,12	15,83	17,97	2,24	2,55	2,40			
60	45	21,63	16,17	18,90	2,30	2,59	2,44			
60	65	22,62	16,58	19,60	2,34	2,64	2,49			
60	85	21,61	15,93	18,77	2,25	2,57	2,41			
80	25	19,16	15,60	17,38	2,20	2,53	2,36			
80	45	21,03	15,93	18,48	2,25	2,56	2,41			
80	65	22,11	16,23	19,17	2,31	2,60	2,45			
80	85	20,99	15,85	18,42	2,23	2,57	2,40			
100	25	18,12	15,08	16,60	2,15	2,51	2,33			
100	45	20,53	15,38	17,95	2,22	2,54	2,38			
100	65	21,83	15,77	18,80	2,28	2,57	2,43			
100	85	20,24	15,23	17,74	2,18	2,53	2,36			
Monocultivo		17,91	15,52	16,72	2,12	2,36	2,24			

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de alface (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 14 – Médias da luminosidade (L*), eixo a (a*) e eixo b (b*) de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	L*			a*			b*		
		C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média	C ₁	C ₂	Média
40	25	53,20	53,17	53,18	-17,48	-17,64	-17,56	29,63	31,38	30,50
40	45	53,68	53,36	53,52	-17,52	-17,84	-17,68	28,13	31,06	29,59
40	65	53,78	53,48	53,63	-17,59	-17,98	-17,78	27,91	30,92	29,41
40	85	53,84	53,59	53,72	-17,63	-18,05	-17,84	27,14	30,64	28,89
60	25	53,63	53,36	53,50	-17,51	-17,86	-17,68	29,81	31,67	30,74
60	45	53,73	53,44	53,59	-17,54	-18,10	-17,82	28,15	31,32	29,73
60	65	53,94	53,55	53,74	-17,60	-18,31	-17,95	27,67	30,93	29,30
60	85	54,12	53,64	53,88	-17,64	-18,52	-18,08	27,20	30,37	28,79
80	25	53,88	53,42	53,65	-17,53	-18,02	-17,77	28,52	31,47	29,99
80	45	54,38	53,53	53,96	-17,59	-18,29	-17,94	28,16	31,06	29,61
80	65	54,51	53,65	54,08	-17,61	-18,45	-18,03	27,87	30,79	29,33
80	85	54,84	53,72	54,28	-17,72	-18,60	-18,16	27,60	30,29	28,94
100	25	54,02	53,58	53,80	-17,54	-18,24	-17,89	28,47	31,36	29,91
100	45	54,32	53,69	54,00	-17,62	-18,62	-18,12	28,19	30,92	29,55
100	65	54,83	53,76	54,30	-17,71	-18,95	-18,33	27,67	30,42	29,04
100	85	54,97	53,90	54,44	-17,88	-19,03	-18,45	27,53	30,27	28,90
Monocultivo		56,33	54,58	55,45	-17,98	-18,89	-18,43	28,50	31,45	29,97

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de alface (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 15 – Médias do conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA), suculência foliar (SUC), clorofilas *a*, *b* e total de beterraba consorciada com folhosas (coentro e alface) em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	CRA	UF	MFA	SUC	Clo <i>a</i>	Clo <i>b</i>	Clo total
		(%)	(%)	(g m ²)	(g m ²)	-----	ICF	-----
40	25	72,53	89,26	166,67	1915,00	24,39	8,67	33,08
40	45	72,73	91,52	141,67	2104,17	23,57	8,93	34,74
40	65	73,06	92,26	133,33	2179,17	24,19	9,22	35,21
40	85	73,87	92,95	125,00	2237,50	25,23	8,58	34,38
60	25	72,75	91,19	145,83	2079,17	23,86	8,53	33,86
60	45	72,86	91,91	140,00	2185,00	25,26	9,28	34,98
60	65	73,25	92,36	133,33	2208,33	25,64	9,78	35,77
60	85	73,56	92,44	130,42	2252,08	24,96	8,98	34,63
80	25	73,17	91,29	145,83	2091,67	24,51	8,86	33,52
80	45	73,36	92,80	125,00	2195,83	25,36	9,53	35,06
80	65	73,94	93,01	123,33	2222,50	26,78	9,84	35,49
80	85	74,16	93,51	120,83	2350,00	25,24	9,08	34,41
100	25	73,45	92,11	137,50	2191,67	25,43	8,97	33,91
100	45	73,69	93,53	120,83	2370,83	26,95	10,17	35,35
100	65	74,02	94,20	109,58	2402,92	27,31	10,61	35,88
100	85	74,64	94,78	99,58	2442,08	26,08	9,44	35,31
Monocultivo		70,43	94,43	99,17	2411,25	26,22	9,66	34,80

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de alface (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 16 – Médias do conteúdo relativo de água (CRA), unidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA), suculência foliar (SUC), clorofilas *a*, *b* e total de coentro consorciado com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFRSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	CRA	UF	MFA	SUC	Clo <i>a</i>	Clo <i>b</i>	Clo total
		(%)	(%)	(g m ²)	(g m ²)	----- ICF -----		
40	25	82,81	83,91	120,00	762,50	24,58	8,18	32,94
40	45	83,19	86,41	113,33	866,67	24,84	8,30	33,09
40	65	83,54	87,56	107,92	912,08	25,12	8,50	33,14
40	85	83,96	89,56	91,25	935,00	25,25	8,70	33,36
60	25	83,01	84,81	119,58	808,33	24,73	8,24	33,03
60	45	83,58	87,59	104,58	885,83	24,90	8,41	33,15
60	65	84,16	88,38	99,17	901,25	25,18	8,57	33,31
60	85	84,57	89,73	89,17	921,25	25,34	8,68	33,53
80	25	83,28	86,49	110,83	856,25	24,85	8,29	33,16
80	45	83,96	88,19	102,92	915,83	25,11	8,49	33,28
80	65	84,25	89,03	97,08	938,75	25,35	8,64	33,46
80	85	84,82	90,60	85,83	977,50	25,46	8,76	33,67
100	25	83,66	89,40	85,00	859,58	24,94	8,36	33,23
100	45	84,54	90,53	83,33	942,92	25,27	8,58	33,90
100	65	84,99	91,40	76,25	952,92	25,44	8,74	34,04
100	85	85,29	92,05	72,08	984,17	25,58	8,83	34,21
Monocultivo		70,43	89,40	90,50	78,75	856,25	25,11	9,17

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de alface (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 17 – Médias do conteúdo relativo de água (CRA), umidade foliar (UF), massa foliar por unidade de área (MFA), suculência foliar (SUC), clorofilas *a*, *b* e total de alface consorciada com beterraba em função de diferentes quantidades de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* e densidades populacionais de alface. Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

Densidade populacional ¹	Adubos verdes ²	CRA	UF	MFA	SUC	Clo <i>a</i>	Clo <i>b</i>	Clo total
		(%)	(%)	(g m ²)	(g m ²)	----- ICF -----		
40	25	84,15	93,64	83,33	1459,17	12,96	3,04	15,93
40	45	86,05	94,14	79,58	1486,67	13,16	3,11	16,23
40	65	89,76	94,78	77,50	1572,50	13,24	3,18	16,34
40	85	92,82	95,41	71,25	1602,50	13,34	3,29	16,49
60	25	85,71	94,58	80,00	1627,92	13,09	3,08	16,27
60	45	87,86	94,82	78,33	1649,04	13,29	3,15	16,38
60	65	91,71	95,32	75,00	1667,92	13,38	3,22	16,43
60	85	93,49	95,64	73,75	1732,92	13,44	3,29	16,53
80	25	86,49	94,82	78,75	1667,50	13,16	3,15	16,35
80	45	91,29	95,32	76,67	1710,00	13,34	3,23	16,47
80	65	93,99	95,95	70,83	1783,75	13,42	3,32	16,56
80	85	95,21	96,29	67,08	1822,08	13,53	3,36	16,64
100	25	91,52	96,08	68,33	1817,08	13,23	3,19	16,42
100	45	93,30	96,43	64,17	1854,58	13,39	3,28	16,54
100	65	95,96	96,76	63,33	1974,17	13,51	3,34	16,61
100	85	97,17	97,19	58,33	2085,83	13,58	3,41	16,73
Monocultivo		70,43	95,17	96,50	61,25	1772,08	13,24	3,34

Fonte: Elaborado pela autora (2026). ¹Densidade populacional recomendada para o monocultivo de alface (%);

²Biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* (t ha⁻¹).

Tabela 18 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 25 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 40% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 16.909,68	
A.1 Insumos				R\$ 3.740,00	16,97
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	15,52
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	16	R\$ 20,00	R\$ 320,00	1,45
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	550	R\$ 10,00	R\$ 5.500,00	24,96
A.2 Mão-de-obra				R\$ 12.030,00	54,60
A.2.1 Custos com adubo verde (12,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 3.450,00	15,66
Corte	d/h*	32	R\$ 70,00	R\$ 2.240,00	10,17
Transporte	Frete	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00	0,73
Trituração	d/h*	8	R\$ 70,00	R\$ 560,00	2,54
Secagem	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,59
Ensacamento	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,64
A.2.2 Custos com adubo verde (12,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 3.240,00	14,71
Corte	d/h*	30	R\$ 70,00	R\$ 2.100,00	9,53
Transporte	Frete	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00	0,73
Trituração	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,22
Secagem	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,59
Ensacamento	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,64
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 5.340,00	24,24
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,32
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,64
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,64
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,91
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,22
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,64
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,27
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	3,18
Plantio do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,27
Transplântio da alface	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,95
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,91
Desbaste do coentro	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,64
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,22
Colheita do coentro	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,64
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,91
Colheita da alface	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,64
Transporte das colheitas	d/h*	9	R\$ 80,00	R\$ 720,00	3,27
A.3. Energia elétrica				R\$ 118,05	0,54
Forrageira	Kw/h	162,72	R\$ 0,49	R\$ 79,73	0,36
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,17
A.4 Outras despesas				R\$ 158,88	0,72
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 15.888,05	R\$ 158,88	0,72
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	3,92
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,45
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	1,13
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	2,33
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	16,18
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	10,15
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	7,14
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,04
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,63
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,06
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,11
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	1,09
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,87

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,09
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,11
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,05
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	5,99
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	20.474,99	92,93
C.1. (A) + (B)					R\$	20.474,99	92,93
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	7,07
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,45
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	6,62
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	22.033,05	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	22.033,05	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem **h/t=hora/trator.

Tabela 19 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 25 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 60% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 17.859,08	
A.1 Insumos				R\$ 3.900,00	16,97
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	14,88
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	24	R\$ 20,00	R\$ 480,00	2,09
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	825	R\$ 10,00	R\$ 8.250,00	35,90
A.2 Mão-de-obra				R\$ 12.810,00	55,74
A.2.1 Custos com adubo verde (12,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 3.450,00	15,01
Corte	d/h*	32	R\$ 70,00	R\$ 2.240,00	9,75
Transporte	Frete	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00	0,70
Trituração	d/h*	8	R\$ 70,00	R\$ 560,00	2,44
Secagem	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,52
Ensacamento	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,61
A.2.2 Custos com adubo verde (12,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 3.240,00	14,10
Corte	d/h*	30	R\$ 70,00	R\$ 2.100,00	9,14
Transporte	Frete	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00	0,70
Trituração	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,13
Secagem	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,52
Ensacamento	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,61
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 6.120,00	26,63
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,30
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,61
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,61
Confeção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,83
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,13
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,61
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,22
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	3,05
Plantio do coentro	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,83
Transplântio da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,83
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,83
Desbaste do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,22
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,13
Colheita do coentro	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,91
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,83
Colheita da alface	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,22
Transporte das colheitas	d/h*	10	R\$ 80,00	R\$ 800,00	3,48
A.3. Energia elétrica				R\$ 118,05	0,51
Forrageira	Kw/h	162,72	R\$ 0,49	R\$ 79,73	0,35
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,17
A.4 Outras despesas				R\$ 168,28	0,73
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 16.828,05	R\$ 168,28	0,73
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	3,75
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,44
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	1,09
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	2,23
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	15,51
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	9,73
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	6,84
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,04
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,60
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,05
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,11
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	1,05
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,84

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,08
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,11
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,04
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	5,74
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	21.424,39	93,22
C.1. (A) + (B)					R\$	21.424,39	93,22
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	6,78
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,44
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	6,34
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	22.982,45	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	22.982,45	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 20 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 25 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 80% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 18.465,08	
A.1 Insumos				R\$ 4.060,00	17,21
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	14,50
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	32	R\$ 20,00	R\$ 640,00	2,71
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	1100	R\$ 10,00	R\$ 11.000,00	46,63
A.2 Mão-de-obra				R\$ 13.250,00	56,17
A.2.1 Custos com adubo verde (12,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 3.450,00	14,63
Corte	d/h*	32	R\$ 70,00	R\$ 2.240,00	9,50
Transporte	Frete	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00	0,68
Trituração	d/h*	8	R\$ 70,00	R\$ 560,00	2,37
Secagem	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,48
Ensacamento	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,59
A.2.2 Custos com adubo verde (12,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 3.240,00	13,74
Corte	d/h*	30	R\$ 70,00	R\$ 2.100,00	8,90
Transporte	Frete	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00	0,68
Trituração	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,08
Secagem	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,48
Ensacamento	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,59
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 6.560,00	27,81
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,30
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,59
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,59
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,78
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,08
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,59
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,19
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,97
Plantio do coentro	d/h*	8	R\$ 70,00	R\$ 560,00	2,37
Transplântio da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,78
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,78
Desbaste do coentro	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,48
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,08
Colheita do coentro	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,89
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,78
Colheita da alface	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,48
Transporte das colheitas	d/h*	12	R\$ 80,00	R\$ 960,00	4,07
A.3. Energia elétrica				R\$ 118,05	0,50
Forrageira	Kw/h	162,72	R\$ 0,49	R\$ 79,73	0,34
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,16
A.4 Outras despesas				R\$ 174,28	0,74
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 17.428,05	R\$ 174,28	0,74
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	3,66
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,42
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	1,06
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	2,17
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	15,11
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	9,48
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	6,67
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,03
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,59
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,05
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,11
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	1,02
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,82

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,08
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,11
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,04
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	5,60
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)						R\$	22.030,39
C.1. (A) + (B)						R\$	22.030,39
D. Custos de Oportunidade (CO)						R\$	1.558,06
D.1 Remuneração da terra						R\$	100,00
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)						R\$	1.458,06
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS						R\$	23.588,45
E.1. CV + CF + CO						R\$	23.588,45

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 21 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 25 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 100% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 19.131,68	
A.1 Insumos				R\$ 4.220,00	17,40
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	14,10
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	40	R\$ 20,00	R\$ 800,00	3,30
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	1375	R\$ 10,00	R\$ 13.750,00	56,69
A.2 Mão-de-obra				R\$ 13.750,00	56,69
A.2.1 Custos com adubo verde (12,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 3.450,00	14,22
Corte	d/h*	32	R\$ 70,00	R\$ 2.240,00	9,24
Transporte	Frete	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00	0,66
Trituração	d/h*	8	R\$ 70,00	R\$ 560,00	2,31
Secagem	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,44
Ensacamento	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,58
A.2.2 Custos com adubo verde (12,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 3.240,00	13,36
Corte	d/h*	30	R\$ 70,00	R\$ 2.100,00	8,66
Transporte	Frete	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00	0,66
Trituração	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,02
Secagem	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,44
Ensacamento	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,58
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 7.060,00	29,11
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,29
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,58
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,58
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,73
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,02
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,58
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,15
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,89
Plantio do coentro	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,89
Transplântio da alface	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,02
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,73
Desbaste do coentro	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,73
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	2,02
Colheita do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,15
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,73
Colheita da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,73
Transporte das colheitas	d/h*	13	R\$ 80,00	R\$ 1.040,00	4,29
A.3. Energia elétrica				R\$ 118,05	0,49
Forrageira	Kw/h	162,72	R\$ 0,49	R\$ 79,73	0,33
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,16
A.4 Outras despesas				R\$ 180,88	0,75
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 18.088,05	R\$ 180,88	0,75
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	3,56
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,41
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	1,03
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	2,11
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	14,70
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	9,22
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	6,49
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,03
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,57
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,05
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,10
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,99
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,79

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,08
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,10
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,04
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	5,44
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	22.696,99	93,58
C.1. (A) + (B)					R\$	22.696,99	93,58
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	6,42
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,41
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	6,01
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	24.255,05	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	24.255,05	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 22 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 45 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 40% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 22.599,81	
A.1 Insumos				R\$ 3.740,00	13,49
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	12,34
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	16	R\$ 20,00	R\$ 320,00	1,15
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	550	R\$ 10,00	R\$ 5.500,00	19,84
A.2 Mão-de-obra				R\$ 17.600,00	63,48
A.2.1 Custos com adubo verde (22,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 6.200,00	22,36
Corte	d/h*	57	R\$ 70,00	R\$ 3.990,00	14,39
Transporte	Frete	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00	1,15
Trituração	d/h*	14	R\$ 70,00	R\$ 980,00	3,53
Secagem	d/h*	9	R\$ 70,00	R\$ 630,00	2,27
Ensacamento	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,01
A.2.2 Custos com adubo verde (22,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 5.850,00	21,10
Corte	d/h*	54	R\$ 70,00	R\$ 3.780,00	13,63
Transporte	Frete	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00	1,15
Trituração	d/h*	12	R\$ 70,00	R\$ 840,00	3,03
Secagem	d/h*	9	R\$ 70,00	R\$ 630,00	2,27
Ensacamento	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,01
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 5.550,00	20,02
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,25
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,50
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,50
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,51
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,77
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,50
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,77
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,52
Plantio do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	1,01
Transplântio da alface	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,76
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,51
Desbaste do coentro	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,50
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,77
Colheita do coentro	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,50
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,51
Colheita da alface	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,50
Transporte das colheitas	d/h*	9	R\$ 80,00	R\$ 720,00	2,60
A.3. Energia elétrica				R\$ 181,84	0,66
Forrageira	Kw/h	292,90	R\$ 0,49	R\$ 143,52	0,52
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,14
A.4 Outras despesas				R\$ 215,22	0,78
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 21.521,84	R\$ 215,22	0,78
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	3,11
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,36
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,90
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,85
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	12,86
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	8,06
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	5,67
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,03
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,50
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,04
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,09
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,87
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,69

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,07
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,09
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,04
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	4,76
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)						R\$	26.165,11
C.1. (A) + (B)						R\$	26.165,11
D. Custos de Oportunidade (CO)						R\$	1.558,06
D.1 Remuneração da terra						R\$	100,00
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)						R\$	1.458,06
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS						R\$	27.723,17
E.1. CV + CF + CO						R\$	27.723,17

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 23 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 45 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 60% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 23.549,21	
A.1 Insumos				R\$ 3.900,00	13,60
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	11,93
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	24	R\$ 20,00	R\$ 480,00	1,67
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	825	R\$ 10,00	R\$ 8.250,00	28,77
A.2 Mão-de-obra				R\$ 18.380,00	64,10
A.2.1 Custos com adubo verde (22,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 6.200,00	21,62
Corte	d/h*	57	R\$ 70,00	R\$ 3.990,00	13,92
Transporte	Frete	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00	1,12
Trituração	d/h*	14	R\$ 70,00	R\$ 980,00	3,42
Secagem	d/h*	9	R\$ 70,00	R\$ 630,00	2,20
Ensacamento	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,98
A.2.2 Custos com adubo verde (22,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 5.850,00	20,40
Corte	d/h*	54	R\$ 70,00	R\$ 3.780,00	13,18
Transporte	Frete	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00	1,12
Trituração	d/h*	12	R\$ 70,00	R\$ 840,00	2,93
Secagem	d/h*	9	R\$ 70,00	R\$ 630,00	2,20
Ensacamento	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,98
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 6.330,00	22,08
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,24
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,49
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,49
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,46
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,71
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,49
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,71
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,44
Plantio do coentro	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,46
Transplântio da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,46
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,46
Desbaste do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,98
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,71
Colheita do coentro	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,73
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,46
Colheita da alface	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,98
Transporte das colheitas	d/h*	10	R\$ 80,00	R\$ 800,00	2,79
A.3. Energia elétrica				R\$ 181,84	0,63
Forrageira	Kw/h	292,90	R\$ 0,49	R\$ 143,52	0,50
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,13
A.4 Outras despesas				R\$ 224,62	0,78
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 22.461,84	R\$ 224,62	0,78
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	3,01
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,35
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,87
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,79
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	12,43
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	7,80
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	5,49
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,03
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,48
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,04
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,09
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,84
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,67

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,07
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,09
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,03
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	4,60
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	27.114,51	94,57
C.1. (A) + (B)					R\$	27.114,51	94,57
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	5,43
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,35
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	5,09
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	28.672,57	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	28.672,57	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 24 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 45 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 80% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 24.155,21	
A.1 Insumos				R\$ 4.060,00	13,87
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	11,68
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	32	R\$ 20,00	R\$ 640,00	2,19
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	1100	R\$ 10,00	R\$ 11.000,00	37,57
A.2 Mão-de-obra				R\$ 18.820,00	64,28
A.2.1 Custos com adubo verde (22,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 6.200,00	21,18
Corte	d/h*	57	R\$ 70,00	R\$ 3.990,00	13,63
Transporte	Frete	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00	1,09
Trituração	d/h*	14	R\$ 70,00	R\$ 980,00	3,35
Secagem	d/h*	9	R\$ 70,00	R\$ 630,00	2,15
Ensacamento	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,96
A.2.2 Custos com adubo verde (22,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 5.850,00	19,98
Corte	d/h*	54	R\$ 70,00	R\$ 3.780,00	12,91
Transporte	Frete	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00	1,09
Trituração	d/h*	12	R\$ 70,00	R\$ 840,00	2,87
Secagem	d/h*	9	R\$ 70,00	R\$ 630,00	2,15
Ensacamento	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,96
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 6.770,00	23,12
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,24
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,48
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,48
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,43
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,67
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,48
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,67
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,39
Plantio do coentro	d/h*	8	R\$ 70,00	R\$ 560,00	1,91
Transplântio da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,43
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,43
Desbaste do coentro	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,20
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,67
Colheita do coentro	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,72
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,43
Colheita da alface	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,20
Transporte das colheitas	d/h*	12	R\$ 80,00	R\$ 960,00	3,28
A.3. Energia elétrica				R\$ 181,84	0,62
Forrageira	Kw/h	292,90	R\$ 0,49	R\$ 143,52	0,49
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,13
A.4 Outras despesas				R\$ 230,62	0,79
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 23.061,84	R\$ 230,62	0,79
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,95
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,34
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,85
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,75
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	12,18
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	7,63
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	5,37
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,03
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,47
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,04
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,09
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,82
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,66

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,07
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,09
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,03
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	4,51
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)						R\$	27.720,51
C.1. (A) + (B)						R\$	27.720,51
D. Custos de Oportunidade (CO)						R\$	1.558,06
D.1 Remuneração da terra						R\$	100,00
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)						R\$	1.458,06
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS						R\$	29.278,57
E.1. CV + CF + CO						R\$	29.278,57

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 25 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 45 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 100% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 24.821,81	
A.1 Insumos				R\$ 4.220,00	14,09
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	11,42
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	40	R\$ 20,00	R\$ 800,00	2,67
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	1375	R\$ 10,00	R\$ 13.750,00	45,92
A.2 Mão-de-obra				R\$ 19.320,00	64,52
A.2.1 Custos com adubo verde (22,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 6.200,00	20,70
Corte	d/h*	57	R\$ 70,00	R\$ 3.990,00	13,32
Transporte	Frete	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00	1,07
Trituração	d/h*	14	R\$ 70,00	R\$ 980,00	3,27
Secagem	d/h*	9	R\$ 70,00	R\$ 630,00	2,10
Ensacamento	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,94
A.2.2 Custos com adubo verde (22,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 5.850,00	19,54
Corte	d/h*	54	R\$ 70,00	R\$ 3.780,00	12,62
Transporte	Frete	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00	1,07
Trituração	d/h*	12	R\$ 70,00	R\$ 840,00	2,81
Secagem	d/h*	9	R\$ 70,00	R\$ 630,00	2,10
Ensacamento	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,94
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 7.270,00	24,28
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,23
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,47
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,47
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,40
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,64
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,47
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,64
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,34
Plantio do coentro	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,34
Transplântio da alface	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,64
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,40
Desbaste do coentro	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,40
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,64
Colheita do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,94
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,40
Colheita da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,40
Transporte das colheitas	d/h*	13	R\$ 80,00	R\$ 1.040,00	3,47
A.3. Energia elétrica				R\$ 181,84	0,61
Forrageira	Kw/h	292,90	R\$ 0,49	R\$ 143,52	0,48
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,13
A.4 Outras despesas				R\$ 237,22	0,79
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 23.721,84	R\$ 237,22	0,79
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,88
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,33
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,83
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,71
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	11,91
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	7,46
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	5,25
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,03
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,46
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,04
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,08
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,80
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,64

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,07
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,08
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,03
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	4,41
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)						R\$	28.387,11
C.1. (A) + (B)						R\$	28.387,11
D. Custos de Oportunidade (CO)						R\$	1.558,06
D.1 Remuneração da terra						R\$	100,00
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)						R\$	1.458,06
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS						R\$	29.945,17
E.1. CV + CF + CO						R\$	29.945,17

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 26 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 65 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 40% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 28.199,03	
A.1 Insumos				R\$ 3.740,00	11,22
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	10,26
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	16	R\$ 20,00	R\$ 320,00	0,96
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	550	R\$ 10,00	R\$ 5.500,00	16,51
A.2 Mão-de-obra				R\$ 23.080,00	69,26
A.2.1 Custos com adubo verde (32,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 8.940,00	26,83
Corte	d/h*	83	R\$ 70,00	R\$ 5.810,00	17,44
Transporte	Frete	5	R\$ 80,00	R\$ 400,00	1,20
Trituração	d/h*	21	R\$ 70,00	R\$ 1.470,00	4,41
Secagem	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,73
Ensacamento	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,05
A.2.2 Custos com adubo verde (32,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 8.380,00	25,15
Corte	d/h*	78	R\$ 70,00	R\$ 5.460,00	16,39
Transporte	Frete	5	R\$ 80,00	R\$ 400,00	1,20
Trituração	d/h*	18	R\$ 70,00	R\$ 1.260,00	3,78
Secagem	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,73
Ensacamento	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,05
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 5.760,00	17,29
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,21
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,42
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,42
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,26
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,47
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,42
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,10
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,10
Plantio do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,84
Transplante da alface	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,63
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,26
Desbaste do coentro	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,42
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,47
Colheita do coentro	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,42
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,26
Colheita da alface	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,42
Transporte das colheitas	d/h*	9	R\$ 80,00	R\$ 720,00	2,16
A.3. Energia elétrica				R\$ 245,62	0,74
Forrageira	Kw/h	423,07	R\$ 0,49	R\$ 207,31	0,62
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,11
A.4 Outras despesas				R\$ 270,66	0,81
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 27.065,62	R\$ 270,66	0,81
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,59
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,30
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,75
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,54
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	10,70
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	6,71
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	4,72
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,02
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,42
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,04
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,08
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,72
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,58

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,06
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,08
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,03
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	3,96
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	31.764,34	95,32
C.1. (A) + (B)					R\$	31.764,34	95,32
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	4,68
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,30
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	4,38
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	33.322,40	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	33.322,40	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 27 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 65 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 60% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 29.148,43	
A.1 Insumos				R\$ 3.900,00	11,38
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	9,98
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	24	R\$ 20,00	R\$ 480,00	1,40
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	825	R\$ 10,00	R\$ 8.250,00	24,07
A.2 Mão-de-obra				R\$ 23.860,00	69,62
A.2.1 Custos com adubo verde (32,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 8.940,00	26,09
Corte	d/h*	83	R\$ 70,00	R\$ 5.810,00	16,95
Transporte	Frete	5	R\$ 80,00	R\$ 400,00	1,17
Trituração	d/h*	21	R\$ 70,00	R\$ 1.470,00	4,29
Secagem	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,66
Ensacamento	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,02
A.2.2 Custos com adubo verde (32,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 8.380,00	24,45
Corte	d/h*	78	R\$ 70,00	R\$ 5.460,00	15,93
Transporte	Frete	5	R\$ 80,00	R\$ 400,00	1,17
Trituração	d/h*	18	R\$ 70,00	R\$ 1.260,00	3,68
Secagem	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,66
Ensacamento	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,02
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 6.540,00	19,08
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,20
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,41
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,41
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,23
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,43
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,41
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,04
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,04
Plantio do coentro	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,23
Transplântio da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,23
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,23
Desbaste do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,82
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,43
Colheita do coentro	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,61
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,23
Colheita da alface	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,82
Transporte das colheitas	d/h*	10	R\$ 80,00	R\$ 800,00	2,33
A.3. Energia elétrica				R\$ 245,62	0,72
Forrageira	Kw/h	423,07	R\$ 0,49	R\$ 207,31	0,60
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,11
A.4 Outras despesas				R\$ 280,06	0,82
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 28.005,62	R\$ 280,06	0,82
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,52
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,29
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,73
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,50
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	10,40
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	6,52
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	4,59
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,02
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,40
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,04
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,07
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,70
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,56

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,06
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,07
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,03
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	3,85
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	32.713,74	95,45
C.1. (A) + (B)					R\$	32.713,74	95,45
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	4,55
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,29
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	4,25
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	34.271,80	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	34.271,80	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 28 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 65 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 80% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 29.754,43	
A.1 Insumos				R\$ 4.060,00	11,64
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	9,81
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	32	R\$ 20,00	R\$ 640,00	1,83
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	1100	R\$ 10,00	R\$ 11.000,00	31,54
A.2 Mão-de-obra				R\$ 24.300,00	69,67
A.2.1 Custos com adubo verde (32,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 8.940,00	25,63
Corte	d/h*	83	R\$ 70,00	R\$ 5.810,00	16,66
Transporte	Frete	5	R\$ 80,00	R\$ 400,00	1,15
Trituração	d/h*	21	R\$ 70,00	R\$ 1.470,00	4,21
Secagem	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,61
Ensacamento	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,00
A.2.2 Custos com adubo verde (32,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 8.380,00	24,03
Corte	d/h*	78	R\$ 70,00	R\$ 5.460,00	15,65
Transporte	Frete	5	R\$ 80,00	R\$ 400,00	1,15
Trituração	d/h*	18	R\$ 70,00	R\$ 1.260,00	3,61
Secagem	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,61
Ensacamento	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,00
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 6.980,00	20,01
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,20
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,40
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,40
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,20
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,40
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,40
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,01
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	2,01
Plantio do coentro	d/h*	8	R\$ 70,00	R\$ 560,00	1,61
Transplântio da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,20
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,20
Desbaste do coentro	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,00
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,40
Colheita do coentro	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,60
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,20
Colheita da alface	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	1,00
Transporte das colheitas	d/h*	12	R\$ 80,00	R\$ 960,00	2,75
A.3. Energia elétrica				R\$ 245,62	0,70
Forrageira	Kw/h	423,07	R\$ 0,49	R\$ 207,31	0,59
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,11
A.4 Outras despesas				R\$ 286,06	0,82
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 28.605,62	R\$ 286,06	0,82
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,47
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,29
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,72
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,47
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	10,22
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	6,41
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	4,51
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,02
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,40
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,04
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,07
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,69
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,55

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,06
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,07
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,03
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	3,78
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	33.319,74	95,53
C.1. (A) + (B)					R\$	33.319,74	95,53
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	4,47
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,29
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	4,18
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	34.877,80	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	34.877,80	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 29 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 65 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 100% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 30.421,03	
A.1 Insumos				R\$ 4.220,00	11,87
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	9,62
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	40	R\$ 20,00	R\$ 800,00	2,25
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	1375	R\$ 10,00	R\$ 13.750,00	38,68
A.2 Mão-de-obra				R\$ 24.800,00	69,77
A.2.1 Custos com adubo verde (32,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 8.940,00	25,15
Corte	d/h*	83	R\$ 70,00	R\$ 5.810,00	16,35
Transporte	Frete	5	R\$ 80,00	R\$ 400,00	1,13
Trituração	d/h*	21	R\$ 70,00	R\$ 1.470,00	4,14
Secagem	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,56
Ensacamento	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	0,98
A.2.2 Custos com adubo verde (32,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 8.380,00	23,58
Corte	d/h*	78	R\$ 70,00	R\$ 5.460,00	15,36
Transporte	Frete	5	R\$ 80,00	R\$ 400,00	1,13
Trituração	d/h*	18	R\$ 70,00	R\$ 1.260,00	3,54
Secagem	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,56
Ensacamento	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	0,98
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 7.480,00	21,04
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,20
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,39
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,39
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,18
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,38
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,39
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	1,97
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	1,97
Plantio do coentro	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	1,97
Transplante da alface	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,38
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,18
Desbaste do coentro	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,18
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,38
Colheita do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,79
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,18
Colheita da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,18
Transporte das colheitas	d/h*	13	R\$ 80,00	R\$ 1.040,00	2,93
A.3. Energia elétrica				R\$ 245,62	0,69
Forrageira	Kw/h	423,07	R\$ 0,49	R\$ 207,31	0,58
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,11
A.4 Outras despesas				R\$ 292,66	0,82
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 29.265,62	R\$ 292,66	0,82
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,43
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,28
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,70
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,44
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	10,03
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	6,29
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	4,43
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,02
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,39
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,04
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,07
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,68
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,54

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,05
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,07
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,03
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	3,71
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)						R\$	33.986,34
C.1. (A) + (B)						R\$	33.986,34
D. Custos de Oportunidade (CO)						R\$	1.558,06
D.1 Remuneração da terra						R\$	100,00
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)						R\$	1.458,06
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS						R\$	35.544,40
E.1. CV + CF + CO						R\$	35.544,40

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 30 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 85 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 40% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 33.959,85	
A.1 Insumos				R\$ 3.740,00	9,57
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	8,75
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	16	R\$ 20,00	R\$ 320,00	0,82
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	550	R\$ 10,00	R\$ 5.500,00	14,07
A.2 Mão-de-obra				R\$ 28.720,00	73,48
A.2.1 Custos com adubo verde (42,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 11.690,00	29,91
Corte	d/h*	108	R\$ 70,00	R\$ 7.560,00	19,34
Transporte	Frete	7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	1,43
Trituração	d/h*	27	R\$ 70,00	R\$ 1.890,00	4,84
Secagem	d/h*	17	R\$ 70,00	R\$ 1.190,00	3,04
Ensacamento	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,25
A.2.2 Custos com adubo verde (42,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 11.060,00	28,30
Corte	d/h*	102	R\$ 70,00	R\$ 7.140,00	18,27
Transporte	Frete	7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	1,43
Trituração	d/h*	24	R\$ 70,00	R\$ 1.680,00	4,30
Secagem	d/h*	17	R\$ 70,00	R\$ 1.190,00	3,04
Ensacamento	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,25
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 5.970,00	15,28
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,18
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,36
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,36
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,07
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,25
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,36
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,33
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	1,79
Plantio do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,72
Transplante da alface	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,54
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,07
Desbaste do coentro	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,36
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,25
Colheita do coentro	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,36
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,07
Colheita da alface	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,36
Transporte das colheitas	d/h*	9	R\$ 80,00	R\$ 720,00	1,84
A.3. Energia elétrica				R\$ 309,41	0,79
Forrageira	Kw/h	553,25	R\$ 0,49	R\$ 271,09	0,69
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,10
A.4 Outras despesas				R\$ 327,69	0,84
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 32.769,41	R\$ 327,69	0,84
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,21
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,26
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,64
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,31
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	9,12
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	5,72
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	4,02
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,02
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,36
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,03
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,06
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,62
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,49

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,05
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,06
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,03
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	3,38
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)						R\$	37.525,16
C.1. (A) + (B)						R\$	37.525,16
D. Custos de Oportunidade (CO)						R\$	1.558,06
D.1 Remuneração da terra						R\$	100,00
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)						R\$	1.458,06
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS						R\$	39.083,22
E.1. CV + CF + CO						R\$	39.083,22

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 31 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 85 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 60% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 34.909,25	
A.1 Insumos				R\$ 3.900,00	9,74
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	8,54
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	24	R\$ 20,00	R\$ 480,00	1,20
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	825	R\$ 10,00	R\$ 8.250,00	20,61
A.2 Mão-de-obra				R\$ 29.500,00	73,69
A.2.1 Custos com adubo verde (42,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 11.690,00	29,20
Corte	d/h*	108	R\$ 70,00	R\$ 7.560,00	18,88
Transporte	Frete	7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	1,40
Trituração	d/h*	27	R\$ 70,00	R\$ 1.890,00	4,72
Secagem	d/h*	17	R\$ 70,00	R\$ 1.190,00	2,97
Ensacamento	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,22
A.2.2 Custos com adubo verde (42,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 11.060,00	27,63
Corte	d/h*	102	R\$ 70,00	R\$ 7.140,00	17,84
Transporte	Frete	7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	1,40
Trituração	d/h*	24	R\$ 70,00	R\$ 1.680,00	4,20
Secagem	d/h*	17	R\$ 70,00	R\$ 1.190,00	2,97
Ensacamento	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,22
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 6.750,00	16,86
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,17
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,35
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,35
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,05
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,22
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,35
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,27
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	1,75
Plantio do coentro	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,05
Transplântio da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,05
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,05
Desbaste do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,70
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,22
Colheita do coentro	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,52
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,05
Colheita da alface	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,70
Transporte das colheitas	d/h*	10	R\$ 80,00	R\$ 800,00	2,00
A.3. Energia elétrica				R\$ 309,41	0,77
Forrageira	Kw/h	553,25	R\$ 0,49	R\$ 271,09	0,68
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,10
A.4 Outras despesas				R\$ 337,09	0,84
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 33.709,41	R\$ 337,09	0,84
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,16
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,25
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,62
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,28
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	8,91
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	5,58
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	3,93
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,02
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,35
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,03
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,06
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,60
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,48

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,05
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,06
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,02
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	3,30
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	38.474,56	96,11
C.1. (A) + (B)					R\$	38.474,56	96,11
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	3,89
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,25
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	3,64
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	40.032,62	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	40.032,62	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 32 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 85 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 80% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 35.515,25	
A.1 Insumos				R\$ 4.060,00	9,99
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	8,42
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	32	R\$ 20,00	R\$ 640,00	1,57
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	1100	R\$ 10,00	R\$ 11.000,00	27,07
A.2 Mão-de-obra				R\$ 29.940,00	73,67
A.2.1 Custos com adubo verde (42,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 11.690,00	28,77
Corte	d/h*	108	R\$ 70,00	R\$ 7.560,00	18,60
Transporte	Frete	7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	1,38
Trituração	d/h*	27	R\$ 70,00	R\$ 1.890,00	4,65
Secagem	d/h*	17	R\$ 70,00	R\$ 1.190,00	2,93
Ensacamento	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,21
A.2.2 Custos com adubo verde (42,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 11.060,00	27,22
Corte	d/h*	102	R\$ 70,00	R\$ 7.140,00	17,57
Transporte	Frete	7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	1,38
Trituração	d/h*	24	R\$ 70,00	R\$ 1.680,00	4,13
Secagem	d/h*	17	R\$ 70,00	R\$ 1.190,00	2,93
Ensacamento	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,21
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 7.190,00	17,69
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,17
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,34
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,34
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,03
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,21
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,34
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,24
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	1,72
Plantio do coentro	d/h*	8	R\$ 70,00	R\$ 560,00	1,38
Transplântio da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,03
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,03
Desbaste do coentro	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	0,86
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,21
Colheita do coentro	d/h*	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00	0,52
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,03
Colheita da alface	d/h*	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00	0,86
Transporte das colheitas	d/h*	12	R\$ 80,00	R\$ 960,00	2,36
A.3. Energia elétrica				R\$ 309,41	0,76
Forrageira	Kw/h	553,25	R\$ 0,49	R\$ 271,09	0,67
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,09
A.4 Outras despesas				R\$ 343,09	0,84
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 34.309,41	R\$ 343,09	0,84
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,12
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,25
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,62
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,26
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	8,77
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	5,50
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	3,87
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,02
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,34
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,03
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,06
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,59
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,47

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,05
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,06
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,02
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	3,25
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)						R\$	39.080,56
C.1. (A) + (B)						R\$	39.080,56
D. Custos de Oportunidade (CO)						R\$	1.558,06
D.1 Remuneração da terra						R\$	100,00
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)						R\$	1.458,06
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS						R\$	40.638,62
E.1. CV + CF + CO						R\$	35.515,25

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 33 – Custos de produção por hectare do consórcio de beterraba e coentro com alface em sucessão adubado com 85 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera* na população de 100% da DRM das folhosas, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT
			Un.	TOTAL	
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$ 36.181,85	
A.1 Insumos				R\$ 4.220,00	10,22
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$ 190,00	R\$ 3.420,00	8,28
Sementes de coentro (Verdão)	Kg	40	R\$ 20,00	R\$ 800,00	1,94
Mudas de alface (Jade)	Bandeja	1375	R\$ 10,00	R\$ 13.750,00	33,29
A.2 Mão-de-obra				R\$ 30.440,00	73,70
A.2.1 Custos com adubo verde (42,5 t ha ⁻¹ de <i>M. aegyptia</i>)				R\$ 11.690,00	28,30
Corte	d/h*	108	R\$ 70,00	R\$ 7.560,00	18,30
Transporte	Frete	7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	1,36
Trituração	d/h*	27	R\$ 70,00	R\$ 1.890,00	4,58
Secagem	d/h*	17	R\$ 70,00	R\$ 1.190,00	2,88
Ensacamento	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,19
A.2.2 Custos com adubo verde (42,5 t ha ⁻¹ de <i>C. procera</i>)				R\$ 11.060,00	26,78
Corte	d/h*	102	R\$ 70,00	R\$ 7.140,00	17,29
Transporte	Frete	7	R\$ 80,00	R\$ 560,00	1,36
Trituração	d/h*	24	R\$ 70,00	R\$ 1.680,00	4,07
Secagem	d/h*	17	R\$ 70,00	R\$ 1.190,00	2,88
Ensacamento	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,19
A.2.2 Custos com demais serviços				R\$ 7.690,00	18,62
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	0,17
Aração	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,34
Gradagem	h/t**	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,34
Confecção de canteiros	h/t**	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,02
Solarização dos canteiros	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,19
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00	0,34
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	13	R\$ 70,00	R\$ 910,00	2,20
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	1,69
Plantio do coentro	d/h*	10	R\$ 70,00	R\$ 700,00	1,69
Transplântio da alface	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,19
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,02
Desbaste do coentro	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,02
Capina	d/h*	7	R\$ 70,00	R\$ 490,00	1,19
Colheita do coentro	d/h*	4	R\$ 70,00	R\$ 280,00	0,68
Colheita da beterraba	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,02
Colheita da alface	d/h*	6	R\$ 70,00	R\$ 420,00	1,02
Transporte das colheitas	d/h*	13	R\$ 80,00	R\$ 1.040,00	2,52
A.3. Energia elétrica				R\$ 309,41	0,75
Forrageira	Kw/h	553,25	R\$ 0,49	R\$ 271,09	0,66
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	78,20	R\$ 0,49	R\$ 38,32	0,09
A.4 Outras despesas				R\$ 349,69	0,85
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$ 34.969,41	R\$ 349,69	0,85
A.5 Manutenção e Conservação				R\$ 862,75	2,09
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$ 10.000,00	R\$ 100,00	0,24
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$ 5.000,00	R\$ 250,00	0,61
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$ 7.325,00	R\$ 512,75	1,24
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$ 3.565,31	8,63
B.1 Depreciação				R\$ 2.235,31	5,41
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	3,81
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,02
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,34
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,03
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,06
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,58
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,47

Conexões	60	R\$	390,00	3	R\$	19,50	0,05
Galpão	600	R\$	5.000,00	3	R\$	25,00	0,06
B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,02
Imposto Territorial rural	ha		1	R\$	10,00	R\$	10,00
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.320,00	3,20
Aux. Administração	Salário		1	R\$	1.366,00	R\$	1.366,00
C. Custos Operacionais Totais (COT)						R\$	39.747,16
C.1. (A) + (B)						R\$	39.747,16
D. Custos de Oportunidade (CO)						R\$	1.558,06
D.1 Remuneração da terra						R\$	100,00
Arrendamento	ha		1	R\$	100,00	R\$	100,00
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)						R\$	1.458,06
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%		0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06
E. CUSTOS TOTAIS						R\$	41.305,22
E.1. CV + CF + CO						R\$	41.305,22

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 34 – Custos de produção por hectare de beterraba em monocultivo adubado com 51 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT	
			Un.	TOTAL		
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)					R\$ 22.686,14	
A.1 Insumos					R\$ 3.420,00	12,49
Sementes de beterraba (Early Wonder)	Kg	18	R\$	190,00	R\$ 3.420,00	12,49
A.2 Mão-de-obra					R\$ 18.000,00	65,75
A.2.1 Custos com adubo verde (flor-de-seda)					R\$ 6.840,00	24,98
Corte (25,5 t ha ⁻¹)	d/h*	60	R\$	70,00	R\$ 4.200,00	15,34
Transporte	Frete	5	R\$	80,00	R\$ 400,00	1,46
Trituração	d/h*	14	R\$	70,00	R\$ 980,00	3,58
Secagem	d/h*	10	R\$	70,00	R\$ 700,00	2,56
Ensacamento	d/h*	8	R\$	70,00	R\$ 560,00	2,05
Custos com adubo verde (jitirana)					R\$ 7.260,00	26,52
Corte (25,5 t ha ⁻¹)	d/h*	64	R\$	70,00	R\$ 4.480,00	16,36
Transporte	Frete	5	R\$	80,00	R\$ 400,00	1,46
Trituração	d/h*	16	R\$	70,00	R\$ 1.120,00	4,09
Secagem	d/h*	10	R\$	70,00	R\$ 700,00	2,56
Ensacamento	d/h*	8	R\$	70,00	R\$ 560,00	2,05
A.2.2 Custos com demais serviços					R\$ 3.900,00	14,25
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$	70,00	R\$ 70,00	0,26
Aração	h/t**	1	R\$	70,00	R\$ 70,00	0,26
Gradagem	h/t**	1	R\$	70,00	R\$ 70,00	0,26
Confecção de canteiros	h/t**	2	R\$	70,00	R\$ 140,00	0,51
Solarização dos canteiros	d/h*	6	R\$	70,00	R\$ 420,00	1,53
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$	70,00	R\$ 140,00	0,51
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	7	R\$	70,00	R\$ 490,00	1,79
Plantio da beterraba	d/h*	10	R\$	70,00	R\$ 700,00	2,56
Desbaste da beterraba	d/h*	6	R\$	70,00	R\$ 420,00	1,53
Capina	d/h*	8	R\$	70,00	R\$ 560,00	2,05
Colheita	d/h*	6	R\$	70,00	R\$ 420,00	1,53
Transporte da colheita	Frete	5	R\$	80,00	R\$ 400,00	1,46
A.3 Energia elétrica					R\$ 187,32	0,68
Forrageira	Kw/h	325,44	R\$	0,49	R\$ 159,47	0,58
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	56,84	R\$	0,49	R\$ 27,85	0,10
A.4 Outras despesas					R\$ 216,07	0,79
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$	21.607,32	R\$ 216,07	0,79
A.5 Manutenção e Conservação					R\$ 862,75	3,15
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$	10.000,00	R\$ 100,00	0,37
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$	5.000,00	R\$ 250,00	0,91
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$	7.325,00	R\$ 512,75	1,87
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT	
B. CUSTOS FIXOS (CF)					R\$ 3.132,98	11,44
B.1 Depreciação					R\$ 1.710,98	6,25
Bobina de plástico	72	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.048,67	3,83	
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,03	
bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	3	R\$ 138,80	0,51	
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	3	R\$ 12,45	0,05	
Poço	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,09	
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	3	R\$ 241,00	0,88	
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	3	R\$ 192,35	0,70	
Conexões	60	R\$ 390,00	3	R\$ 19,50	0,07	
Galpão	600	R\$ 5.000,00	3	R\$ 25,00	0,09	

B.2 Impostos e taxas					R\$	10,00	0,04
Imposto Territorial rural	ha	1	R\$	10,00	R\$	10,00	0,04
B.3 Mão-de-obra fixa					R\$	1.412,00	5,16
Aux. Administração	Salário	1	R\$	1.366,00	R\$	1.412,00	5,16
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	25.819,12	94,31
C.1. (A) + (B)					R\$	25.819,12	94,31
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	5,69
D.1 Remuneração da terra					R\$	100,00	0,37
Arrendamento	ha	1	R\$	100,00	R\$	100,00	0,37
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	5,33
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%	0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06	5,33
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	27.377,18	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	27.377,18	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 35 – Custos de produção por hectare de coentro em monocultivo adubado com 50 t ha⁻¹ de quantidades equitativas de biomassa de *M. aegyptia* e *C. procera*, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT	
			Un.	TOTAL		
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)					R\$ 19.747,04	
A.1 Insumos					R\$ 800,00	3,23
Sementes de coentro (Verdão)	500 g	40	R\$	20,00	R\$ 800,00	3,23
A.2 Mão-de-obra					R\$ 17.710,00	71,57
A.2.1 Custos com adubo verde (flor-de-seda)					R\$ 6.840,00	27,64
Corte (25 t ha ⁻¹)	d/h*	60	R\$	70,00	R\$ 4.200,00	16,97
Transporte	Frete	5	R\$	80,00	R\$ 400,00	1,62
Trituração	d/h*	14	R\$	70,00	R\$ 980,00	3,96
Secagem	d/h*	10	R\$	70,00	R\$ 700,00	2,83
Ensacamento	d/h*	8	R\$	70,00	R\$ 560,00	2,26
Custos com adubo verde (jitirana)					R\$ 7.260,00	29,34
Corte (25 t ha ⁻¹)	d/h*	64	R\$	70,00	R\$ 4.480,00	18,11
Transporte	Frete	5	R\$	80,00	R\$ 400,00	1,62
Trituração	d/h*	16	R\$	70,00	R\$ 1.120,00	4,53
Secagem	d/h*	10	R\$	70,00	R\$ 700,00	2,83
Ensacamento	d/h*	8	R\$	70,00	R\$ 560,00	2,26
A.2.2 Custos com demais serviços					R\$ 3.610,00	14,59
Limpeza do terreno	h/t**	1	R\$	70,00	R\$ 70,00	0,28
Aração	h/t**	1	R\$	70,00	R\$ 70,00	0,28
Gradagem	h/t**	1	R\$	70,00	R\$ 70,00	0,28
Confecção de canteiros	h/t**	2	R\$	70,00	R\$ 140,00	0,57
Solarização dos canteiros	d/h*	6	R\$	70,00	R\$ 420,00	1,70
Retirada dos plásticos	d/h*	2	R\$	70,00	R\$ 140,00	0,57
Distribuição e incorporação do adubo	d/h*	7	R\$	70,00	R\$ 490,00	1,98
Plantio do coentro	d/h*	10	R\$	70,00	R\$ 700,00	2,83
Desbaste do coentro	d/h*	6	R\$	70,00	R\$ 420,00	1,70
Capina	d/h*	7	R\$	70,00	R\$ 490,00	1,98
Colheita	d/h*	4	R\$	70,00	R\$ 280,00	1,13
Transporte da colheita	Frete	4	R\$	80,00	R\$ 320,00	1,29
A.3 Energia elétrica					R\$ 187,32	0,76
Forrageira	Kw/h	325,44	R\$	0,49	R\$ 159,47	0,64
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	56,84	R\$	0,49	R\$ 27,85	0,11
A.4 Outras despesas					R\$ 186,97	0,76
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$	18.697,32	R\$ 186,97	0,76
A.5. Manutenção e Conservação					R\$ 862,75	3,49
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$	10.000,00	R\$ 100,00	0,40
5% a.a. sobre valor da máquina forrageira	%	0,05	R\$	5.000,00	R\$ 250,00	1,01
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$	7.325,00	R\$ 512,75	2,07
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses	Depreciação	% sobre CT	
B. CUSTOS FIXOS (CF)					R\$ 3.439,28	13,90
B.1. Depreciação					R\$ 2.017,28	8,15
Bobina de plástico	48	R\$ 75.504,00	1	R\$ 1.573,00	6,36	
Forrageira	120	R\$ 1.970,00	0,5	R\$ 8,21	0,03	
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	2	R\$ 92,53	0,37	
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	2	R\$ 8,30	0,03	
Poço	600	R\$ 5.000,00	2	R\$ 16,67	0,07	
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	2	R\$ 160,67	0,65	
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	2	R\$ 128,23	0,52	
Conexões	60	R\$ 390,00	2	R\$ 13,00	0,05	
Galpão	600	R\$ 5.000,00	2	R\$ 16,67	0,07	

B.2. Impostos e taxas					R\$	10,00	0,04
Imposto Territorial rural	ha	1	R\$	10,00	R\$	10,00	0,04
B.3. Mão-de-obra fixa					R\$	1.412,00	5,71
Aux. Administração	Salário	1	R\$	1.366,00	R\$	1.412,00	5,71
C. Custos Operacionais Totais (COT)					R\$	23.186,32	93,70
C.1. (A) + (B)					R\$	23.186,32	93,70
D. Custos de Oportunidade (CO)					R\$	1.558,06	6,30
D.1. Remuneração da terra					R\$	100,00	0,40
Arrendamento	ha	1	R\$	100,00	R\$	100,00	0,40
D.2. Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)					R\$	1.458,06	5,89
Infraestrutura, máquinas e equipamentos	%	0,06	R\$	24.301,00	R\$	1.458,06	5,89
E. CUSTOS TOTAIS					R\$	24.744,38	100,00
E.1. CV + CF + CO					R\$	24.744,38	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator

Tabela 36 – Custos de produção por hectare de alface em monocultivo em sucessão ao coentro, nos cultivos de 2023 (C₁) e 2024 (C₂). Mossoró – RN, UFERSA, 2026.

COMPONENTES	Un.	Qte	Preço (R\$)		% sobre CT		
			Un.	TOTAL			
A. CUSTOS VARIÁVEIS (CV)				R\$	16.515,58		
A.1 Insumos				R\$	13.750,00	70,17	
Mudas de alface (Jade)	Bandejas	1375	R\$	10,00	R\$	13.750,00	70,17
A.2 Custos com demais serviços				R\$	1.720,00	8,78	
Transplântio	d/h*	7	R\$	70,00	R\$	490,00	2,50
Capina	d/h*	7	R\$	70,00	R\$	490,00	2,50
Colheita	d/h*	6	R\$	70,00	R\$	420,00	2,14
Transporte da colheita	Frete	4	R\$	80,00	R\$	320,00	1,63
A.3 Energia elétrica				R\$	27,85	0,14	
Bombeamento da água de irrigação	Kw/h	56,84	R\$	0,49	R\$	27,85	0,14
A.4 Outras despesas				R\$	154,98	0,79	
1% sobre (A.1), (A.2) e (A.3)	%	0,01	R\$	15.497,85	R\$	154,98	0,79
A.5 Manutenção e Conservação				R\$	862,75	4,40	
1% a.a. sobre valor das construções (galpão e poço)	%	0,01	R\$	10.000,00	R\$	100,00	0,51
7% a.a. sobre valor do sistema de irrigação	%	0,07	R\$	7.325,00	R\$	512,75	2,62
	Vida útil (Mês)	Valor (R\$)	Meses		Depreciação	% sobre CT	
B. CUSTOS FIXOS (CF)				R\$	1.640,03	8,37	
B.1 Depreciação				R\$	218,03	1,11	
Bomba submersa	60	R\$ 2.776,00	1	R\$	46,27	0,24	
Tubos 2"	120	R\$ 498,00	1	R\$	4,15	0,02	
Poço	600	R\$ 5.000,00	1	R\$	8,33	0,04	
Mangueiras	60	R\$ 4.820,00	1	R\$	80,33	0,41	
Microaspersores	60	R\$ 3.847,00	1	R\$	64,12	0,33	
Conexões	60	R\$ 390,00	1	R\$	6,50	0,03	
Galpão	600	R\$ 5.000,00	1	R\$	8,33	0,04	
B.2. Impostos e taxas				R\$	10,00	0,05	
Imposto Territorial rural	ha	1	R\$	10,00	R\$	10,00	0,05
B.3. Mão-de-obra fixa				R\$	1.412,00	7,21	
Aux. Administração	Salário	1	R\$	1.366,00	R\$	1.412,00	7,21
C. Custos Operacionais Totais (COT)				R\$	18.155,61	92,65	
C.1. (A) + (B)				R\$	18.155,61	92,65	
D. Custos de Oportunidade (CO)				R\$	1.439,86	7,35	
D.1 Remuneração da terra				R\$	100,00	0,51	
Arrendamento	ha	1	R\$	100,00	R\$	100,00	0,51
D.2 Remuneração do Capital Fixo (6% a.a.)				R\$	1.339,86	6,84	
Infraestrutura, equipamentos	máquinas e %	0,06	R\$	22.331,00	R\$	1.339,86	6,84
E. CUSTOS TOTAIS				R\$	19.595,47	100,00	
E.1 CV + CF + CO				R\$	19.595,47	100,00	

Fonte: Elaborado pela autora (2026). *d/h=dia/homem; **h/t=hora/trator