

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E PALMA
FORRAGEIRA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO SEMIÁRIDO TROPICAL**

NATÁLIA COSTA DE LIMA CAVALCANTE

Zootecnista

RECIFE - PE

FEVEREIRO – 2020

NATÁLIA COSTA DE LIMA CAVALCANTE

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E PALMA
FORRAGEIRA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO SEMIÁRIDO TROPICAL**

Tese apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Zootecnia da
Universidade Federal Rural de
Pernambuco para obtenção do
título de Doutora em Zootecnia.

Comitê de orientação:

Prof. PhD. José Carlos Batista Dubeux Júnior - Orientador

Profa. Dra. Mércia Virginia Ferreira dos Santos - Coorientadora

Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha - Coorientador

RECIFE - PE

FEVEREIRO - 2020

NATÁLIA COSTA DE LIMA CAVALCANTE

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E PALMA
FORRAGEIRA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO SEMIÁRIDO TROPICAL**

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 27 de fevereiro de 2018.

Orientador:

Prof. PhD. José Carlos Batista Dubeux Júnior

University of Florida – UFAL

Comissão examinadora:

Profa. Dra. Vânia Soares de Carvalho

Instituto Federal de Pernambuco – IFPE

Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE

Dra. Maria da Conceição Silva

Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA

Dr. Toni Carvalho de Souza

IF- Baiano

RECIFE – PE

FEVEREIRO – 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE

Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

Cxxx Cavalcante, Natália Costa de Lima.

Sistemas Agroflorestais de leguminosas arbóreas e palma forrageira sob adubação orgânica no Semiárido Tropical/ Natália Costa de Lima Cavalcante. – Recife, 2020.

86 f.; il.

Orientador(a): José Carlos Batista Dubeux Júnior.

Coorientador(a): Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Márcio Vieira da Cunha.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2020.

Inclui referências.

1. Adubação orgânica 2. Gliricídia 3. Leucena 4. Palma forrageira 5. Produtividade 6. Solos I. Dubeux Júnior, José Carlos Batista, orient. II. Santos, Mércia Virginia Ferreira dos, coorient. III. Cunha, Márcio Vieira da, coorient. V. Título

CDD

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

NATÁLIA COSTA DE LIMA CAVALCANTE - Filha de Everaldo Trajano de Lima e Maria José Costa Silva de Lima, nasceu em Recife - PE, no dia 25 de junho de 1987. Iniciou a graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco, em março de 2005, recebendo o título de Zootecnista em fevereiro de 2011. No mesmo ano iniciou o mestrado acadêmico pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, área de concentração em Forragicultura, obtendo o título de Mestre em Zootecnia em fevereiro de 2013. Em 2016 iniciou as atividades no Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, pela mesma Universidade, área de concentração em Forragicultura. Em fevereiro de 2020, submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

De tudo o que se tem ouvido, o fim é: Teme a Deus, e guarda os seus mandamentos;
porque isto é o dever de todo o homem.

Eclesiastes 12:13

DEDICO

A Deus, pois toda obra provém de Sua vontade. E a minha filha Maria Flor por ser uma criança doce e gentil que me faz ver o mundo de maneira mais agradável.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus poderoso e misericordioso. pela minha vida e maior dos apoios para todos os momentos.

Aos meus pais, Everaldo e Maria José. pela educação e sustento, além de todo apoio por todos esses anos vividos. Me sinto profundamente grata por acreditarem tanto em mim e acharem que posso ir mais além.

A meu esposo, Eugênio Moreira Cavalcante por todo entendimento durante mais essa etapa da minha formação. Por me ajudar com ideias e mão de obra, além de me acolher em todos os momentos difíceis e me firmar no objetivo.

À minha filha, Maria Flor, que é uma criança excepcional e muito me ajudou com sua meiguice e força interior com lembranças sobre as aulas e até mesmo quando anotava toda estatística no seu caderninho. Eu agradeço por você entender quando você queria brincar mais um pouco, mas a mamãe precisava trabalhar.

À minha irmã, Emmeline Lima e sua família, pelo apoio imensurável em simplesmente todos os momentos, chorando e cantando. Eu jamais teria conseguido sem você minha irmã.

Ao meu irmão, Williams Trajano por ter estado ao meu lado no momento em que eu mais precisava da sua ajuda. A você e sua família, que ao sentirem que eu precisava se dispuseram a estar comigo e enfrentar tarefas totalmente novas.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, pela oportunidade.

Ao Instituto Agrônomico de Pernambuco, pela disponibilidade da área experimental, estadia e apoio. Agradeço a todos os funcionários que se dispuseram a me ajudar no campo ou em assuntos burocráticos.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, José Carlos Batista Dubeux Júnior, por tanta paciência e compreensão. Sua orientação foi um presente para mim e peço desculpas pelas falhas. Obrigada por ter me feito entender com seu exemplo e conselhos as minhas obrigações.

À Mércia Virginia, pela coorientação, apoio e conselhos que me colocaram no foco em todos os momentos. Sou grata a Deus por sua vida e por entender minhas dificuldades e me chamar a razão para seguir sempre.

Ao professor Márcio Vieira por ter aceitado sem vacilar o papel de coorientador. Apesar de não ser planejado desde o início, foi uma oportunidade ímpar ter sido aluna e aprender. Obrigada por ter se preocupado em me participar dos processos, me ensinando com paciência e bondade.

À doce memória do Prof. Mário Lira, pela sempre orientação e ideias brilhantes. Também pelo sorriso e força que me cativavam e me inspiravam. Será sempre um exemplo de pessoa e orientador para mim.

Ao professor Alexandre Carneiro por estar sempre presente e sempre avaliando o direcionamento da pesquisa, me mostrando formas de pensar que eu não alcançava.

Ao Dr. Erinaldo Viana, por todo apoio em relação as visitas de campo e sugestões para resolução de detalhes da pesquisa, bem como apoio motivacional constante, estando sempre disposto a me receber e aconselhar.

Aos amigos do grupo de pesquisa de forragicultura, Williane Diniz, Thaise Peixoto, Ana Maria Herrera, Renann Afonso, Juliana Vicente e demais colegas que me ajudaram ou compartilharam experiências.

A todos àqueles que de alguma forma, em algum momento, contribuíram para mais essa etapa da minha formação me incentivando e apontando o caminho.

SUMÁRIO

	Página
Lista de tabelas	Xii
Lista de figuras	Xiv
Resumo geral	Xv
Abstract	Xvi
Considerações iniciais	1
Capítulo 1 – Referencial Teórico	4
Referências Bibliográficas	16
Capítulo 2 – Fracionamento físico da matéria orgânica e características químicas de solos sob Sistema Agroflorestal de leguminosas arbóreas e palma forrageira no Semiárido Tropical	25
Resumo	26
Abstract	27
Introdução	28
Material e Métodos	29
Resultados e Discussão	33
Conclusões	42
Referências	43
Capítulo 3 – Produção de matéria seca e características morfológicas de palma forrageira e leguminosas sob Sistema Agroflorestal no Semiárido Tropical	48
Resumo	49
Abstract	50

Introdução	50
Material e Métodos	52
Resultados e Discussão	55
Conclusões	64
Referências	65
Considerações Finais	69

LISTA DE TABELAS

	Página
Capítulo 2 – Fracionamento físico da matéria orgânica e características químicas de solos sob Sistema Agroflorestral de leguminosas arbóreas e palma forrageira no Semiárido Tropical	
Tabela 1. Teores de matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) de cada fonte de esterco, em março de 2015.	31
Tabela 2. Teores de fósforo (P), sódio (Na) e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 0-5 cm, em Caruaru, PE.	33
Tabela 3. Teores de potencial hidrogeniônico (pH), potássio (K), acidez potencial (H+Al) e saturação por bases (V) do solo sob SAF de palma IPA-Sertânia e de leguminosas na profundidade de 0-5 cm, Caruaru, PE.	35
Tabela 4. Teores de cálcio (Ca) e soma de bases (SB) do solo sob SAF de palma IPA-Sertânia e leguminosas na profundidade de 0-5 cm, Caruaru-PE.	35
Tabela 5. Teores fósforo (P) e sódio (Na) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, em Caruaru, PE.	36
Tabela 6. Teores de potencial hidrogeniônico (pH), alumínio (Al), saturação por alumínio (m) e carbono orgânico (C) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, em Caruaru, PE.	37
Tabela 7. Teores de magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions (CTC) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, em Caruaru, PE.	38
Tabela 8. Teores de matéria orgânica (MO) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, em Caruaru, PE.	38
Tabela 9. Teores de Sódio (Na) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 0-5 cm, em Caruaru, PE.	39
Tabela 10. Teores de acidez potencial (H+Al) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 0-5 cm, em Caruaru, PE.	40

Tabela 11.	Teores de alumínio (Al) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, em Caruaru, PE.	40
Tabela 12.	Teores de magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, em Caruaru, PE.	41
Tabela 13.	Quantidade de matéria orgânica (MO) fração pesada no solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 0-5 cm, em Caruaru, PE.	42
Capítulo 3 –	Produção de matéria seca e características morfológicas de palma forrageira e leguminosas sob Sistema Agroflorestal no Semiárido Tropical	
Tabela 1.	Altura (m) da palma forrageira em monocultivo e sob sistemas agroflorestais com leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior.	56
Tabela 2.	Largura (m) da palma forrageira em monocultivo e sob sistemas agroflorestais com leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior.	57
Tabela 3.	PMS ($t\ ha^{-1}\ 2\ anos^{-1}$) da palma forrageira solteira e sob sistemas agroflorestais com leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior.	58
Tabela 4.	Diâmetro da base e número de fustes de leucena e gliricídia sob sistemas agroflorestais com palma forrageira.	64

LISTA DE FIGURAS

	Página
Capítulo 2 – Fracionamento físico da matéria orgânica e características químicas de solos sob Sistema Agroflorestal de leguminosas arbóreas e palma forrageira no Semiárido Tropical	
Figura 1. Croqui da área experimental delimitando as parcelas principais e subparcelas.	31
Capítulo 3 – Produção de matéria seca e características morfológicas de palma forrageira e leguminosas sob Sistema Agroflorestal no Semiárido Tropical	
Figura 1. Precipitação pluvial mensal (mm) na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco, em Caruaru, no período de agosto de 2017 a dezembro de 2018.	53
Figura 2. Altura (m) da palma forrageira sob sistemas agroflorestais em diferentes distâncias das filas de leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior.	59
Figura 3. Largura (m) da palma forrageira sob sistemas agroflorestais em diferentes distâncias das filas de leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior.	60
Figura 4. Produção de MS ($t\ ha^{-1}\ 2\ anos^{-1}$) da palma forrageira sob sistemas agroflorestais em diferentes distâncias das filas de leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior.	62

SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E PALMA FORRAGEIRA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO SEMIÁRIDO TROPICAL

RESUMO GERAL

Objetivou-se avaliar sistemas agroflorestais (SAFs) com palma forrageira e leguminosas sob efeito residual de diferentes adubações orgânicas. Foram comparados dois sistemas de consórcio e um monocultivo: i) cultivo da palma forrageira cv. IPA Sertânia isolado (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck); ii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.]; iii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.]. O delineamento foi blocos casualizados, com quatro repetições, sendo cada parcela formada pelos diferentes sistemas de cultivo. A área experimental tem histórico de adubação desde 2012 com quatro tipos de esterco diferentes (cama de frango, esterco caprino, esterco bovino e esterco ovino) e, embora esse fator tenha sido modificado para uniformização de toda área com esterco bovino apenas, essas subparcelas foram consideradas nas análises devido a possíveis fatores residuais. Foram coletadas amostras compostas de solo em dois pontos nas parcelas em consórcio (entre a palma e entre a fila dupla das leguminosas) e nas parcelas com palma solteira apenas entre a palma. A coleta foi realizada nas profundidades de 0-5cm e 5-20cm. Os dados foram analisados de duas maneiras: 1. Apenas as parcelas em consórcio com os pontos de coleta entre a palma e a leguminosa; e 2. Todas as parcelas, nos pontos de coleta de palma. Foram mensuradas e coletadas para avaliação da produção de matéria seca (PMS) cinco plantas de palma por subparcela, em três diferentes distâncias: 0, 2 e 4 m de distância da fila dupla central das leguminosas. As árvores foram mensuradas quanto a largura, altura, número de fustes, diâmetro da base. Três árvores foram coletadas para estimar a produção de MS de folhas e ramos finos, para cada espécie de leguminosa. Os dados obtidos para palma forrageira foram analisados de duas formas: 1. Comparando os sistemas em consórcio e a palma solteira; 2. Comparando apenas os sistemas em consórcio e considerando as distâncias das leguminosas. Os dados relacionados as leguminosas foram analisados comparando apenas os sistemas em consórcio. Na análise do solo sob os consórcios, observou-se menor quantidade de fósforo no solo próximo as leguminosas, com médias de 87.5 mg dm^{-3} e entre a palma com média de $134,4 \text{ mg dm}^{-3}$. Foram observados maiores valores de acidificação do solo das leguminosas, em maior expressão pela leucena, com valores de pH de $5,3 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e para gliricídia valores de $5,1 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$. Para análise do solo da palma em monocultivo vs sistema agroflorestal, observou-se diferença para sódio entre os esterco, sendo a área que recebeu cama de frango superior ($0.24 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) aquela que recebeu esterco ovino (e $0.13 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$), ambos não diferindo do esterco bovino ($0.19 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) e esterco caprino ($0.21 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$). Quanto as frações de matéria orgânica, não houve diferença significativa para fração leve, apresentando valores médios de $78,9 \text{ mg kg}^{-1}$ para palma + leucena, $57,8 \text{ mg kg}^{-1}$ para palma + gliricídia e $62,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para palma solteira. Para a fração pesada da matéria orgânica foi observada diferença significativa, onde as parcelas adubadas com cama de frango apresentaram maior peso na fração pesada, do que o esterco bovino, não diferindo dos esterco caprino e ovino. As características morfológicas e produtivas da palma forrageira sob consórcio com leguminosas foram influenciadas pelos sistemas adotados, distâncias da fila dupla de leguminosas e fontes de esterco, sendo apresentadas maiores alturas, larguras e produção para as menores distâncias das leguminosas. Em relação as leguminosas, considerando folhas e ramos finos, houve produção de $0,99 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$

para a leucena e 1,06 t MS ha⁻¹ano⁻¹ para gliricídia. A altura das plantas apresentou média de 4,12 m para leucena e 4,06 m para gliricídia e largura da planta de 1,87 m para leucena e 2,25 m para gliricídia. Conclui-se que os SAF contribuem com aporte de nitrogênio, porém demandam maior fertilidade do solo para suportar o maior crescimento dessas plantas (especialmente no que diz respeito ao P e K) e apresentaram solos com maiores concentrações de sais de sódio e íons acidificantes que a palma em cultivo isolado. Tanto a leucena, quanto a gliricídia não apresentaram diferenças morfológicas e produtivas nos períodos avaliados, podendo ambas serem utilizadas em SAFs com palma forrageira no semiárido tropical.

Palavras chaves: consórcio, leguminosas, morfologia, palma forrageira, sistemas agroflorestais.

ABSTRACT

With the objective of evaluating forage cactus SAFs and residual effect of different organic fertilizers through chemical analysis and fractionation of soil organic matter, this work compares two intercropping systems and one monoculture, namely: i) isolated forage cactus cv. IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck); ii) forage cactus cultivation cv. IPA Sertânia interspersed with double rows of gliricidia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.]; iii) forage cactus cultivation cv. IPA Sertânia interspersed with double rows of leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) From Wit.]. The design was a randomized block with four replications per treatment, each plot (27 m x 16 m) formed by different cultivation systems. The experimental area has a history of fertilization with four different manure types (chicken litter, goat manure, cattle manure and sheep manure) and, although this factor was modified to standardize the whole area with cattle manure only, these subplots were considered in the analysis due to possible residual factors. Soil composite samples were collected at two points in the intercropping plots (between the palm and between the double row of legumes) and in the single palm plots just between the palm. The collection was carried out at depths of 0-5 cm and 5-20 cm, from which chemical analyzes and physical fractionation of soil organic matter were performed. The data were analyzed from two aspects: 1. considering only the plots in consortium with the collection points between forage cactus and legume; and 2. considering all plots at the forage cactus collection points. Cactus height and width were measured and samples collected for dry matter analysis (DM). Five cactus plants per subplot were sampled at three different distances: 0, 2 and 4 m from the legume central double row. Tree legume measurements included width, height, number of stems, and base diameter. Three trees of each legume species in the different subplots were collected for DM analyses of thin leaves and branches. The data obtained for forage cactus were analyzed under two aspects: 1. Comparing the intercropping systems and the single forage cactus; 2. Comparing only intercropping systems and considering legume distances. The legume data were analyzed comparing only the intercropping systems. Minor differences were observed between the cropping systems related to the adopted plant needs. In the soil analysis under the consortia a lower amount of phosphorus was observed in the soil near the legumes with average of 87.5 mg dm⁻³ and between the forage cactus with average of 134.4 mg dm⁻³. It was observed a process of acidification of the soil of legumes, in greater expression by leucena, with pH values of 5.3 cmol_c dm⁻³ and for gliricidia values of 5.1 cmol_c dm⁻³. For the analysis of forage cactus soil in monoculture vs agroforestry system it was observed a difference for the sodium values between the used manure, being the chicken litter superior (0.24 cmol_c dm⁻³) to the sheep manure (and 0.13 cmol_c dm⁻³), both

did not differ from cattle manure ($0.19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) and goat manure ($0.21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), showing possible soil salinization capacity by these manures. Among the fractions of organic matter, there was no significant difference for light fraction presenting average values of 78.9 mg kg^{-1} for forage cactus+ leucena treatment, 57.8 mg kg^{-1} for forage cactus + gliricidia and 62.5 mg kg^{-1} for single forage cactus. That the used manures worked as soil balance factors, even in different treatments. For the heavy fraction of organic matter, a significant difference was observed, where the manure fertilized plots presented higher weight in the heavy fraction than the cattle manure, not differing from the goat and sheep manure. Morphological and productive characteristics of forage cactus in AFSs were interfered with the adopted system, legume double row distances and manure sources, with greater height, width and DM production observed near legume trees, considering thin leaves and branches, leucena produced $0.99 \text{ t DM ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ and gliricidia $1.06 \text{ t DM ha}^{-1}\text{year}^{-1}$. Tree height averaged 4.12 m for leucena and 4.06 m for gliricidia, and plant width of 1.87 m for leucena and 2.25 m for gliricidia. It is concluded that the AFS contribute with nitrogen supply, but demand greater soil fertility to support the greater growth of these plants (especially with regard to P and K) and presented soils with higher concentrations of sodium salts and acidifying ions than the palm in isolated cultivation. The chemical composition of manure influenced the chemical characteristics of the soil, being associated with the amount of fertilizer used and its residual effects. Both leucena and gliricidia showed no differences in the evaluated periods, both of which can be adopted in forage cactus AFSs in tropical semiarid.

Keywords: agroforestry systems, consortium, forage palm, legumes, morphology.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) podem contribuir em termos de diversidade agrossistêmica e outros serviços ambientais, além de combinarem produtividade com a minimização dos impactos ambientais negativos da produção agropecuária. Os SAFs são os modelos de exploração agropecuária que mais se aproximam ecologicamente de ecossistemas naturais, que produzem forragem e outros alimentos, possibilitam a exploração de madeira controlada, podem aumentar a biodiversidade, produzem combustíveis e medicamentos, além de oferecerem proteção eólica e hídrica. Esses sistemas de cultivo (SAFs) possibilitam a recuperação de áreas degradadas, de forma a representar uma alternativa para o uso dos recursos naturais, aumentando ou mantendo a produtividade da terra, favorecendo a decomposição de resíduos de plantas no sistema, estimulando a ciclagem de nutrientes e proteção da matéria orgânica do solo, tanto através dos resíduos de material vegetal senescente, quanto por veiculação das excretas animais.

No entanto, existem alguns fatores limitantes ao uso de SAFs, tais quais: competitividade entre componentes vegetais, podendo impactar a produção, além de alelopatia, uma vez que podem ser liberados compostos químicos de um componente vegetal que sejam tóxicos a outro. O conhecimento de agricultores e técnicos sobre SAFs é limitado, sendo o custo de implantação e monitoramento mais elevados se comparados aos do monocultivo. Diante desta problemática, a escolha de plantas adaptadas ao sistema de produção e as condições edafoclimáticas do local, bem como manejo adotado são de extrema importância para o sucesso de SAFs.

Nesse sentido, os SAFs tornam-se sistemas promissores para produção nas terras áridas e semiáridas do mundo, onde a produção agrícola, forragem, produção de madeira e outros serviços ecossistêmicos são limitados pela água. No semiárido tropical as formas predominantes de uso da terra são caracterizadas pela dependência do uso da água e por degradação da vegetação e do solo, que podem contribuir não só para a redução da disponibilidade hídrica, como esgotamento de fontes de energia de lenta reposição.

Os SAFs com palma forrageira se configuram como uma estratégia eficiente por oferecerem uma produção diversificada e contínua ao longo do ano, minimizando a degradação do solo. Além disso, a palma forrageira é uma planta extremamente resistente às condições edafoclimáticas do semiárido tropical, por ser uma cultura com mecanismo

fisiológico especial, o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Tal metabolismo permite que a planta feche seus estômatos nas horas mais quentes do dia, evitando a perda excessiva de água através do processo de transpiração, realizando o processo de absorção de CO₂ geralmente a noite, quando as temperaturas são normalmente mais baixas.

Essa cactácea tem alta eficiência de uso de água e alta digestibilidade e teor de carboidratos solúveis, todavia apresenta baixo teor de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), devendo ser associada a outro alimento proteico e fibroso. As leguminosas arbóreas são alternativas para serem usadas como elemento complementar, não só do ponto de vista da nutrição animal, mas também do ponto de vista agrônomo, pois são capazes de amortizar os efeitos negativos da alta variabilidade da precipitação pluviométrica, aumentar ou estabilizar a disponibilidade de forragem.

Algumas leguminosas arbóreas têm características adaptativas que permitem seu estabelecimento em regiões semiáridas, como a leucena [(*Leucaena leucocephala* Lam.) de Wit.] e a gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.]. Essas apresentam alto teor de proteína bruta nas folhas e elevada produção de biomassa, além de possuírem capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico (N₂).

A diversificação na produção traz inúmeros benefícios, como já mencionado. No entanto, é muito importante proporcionar às culturas condições para o seu melhor desenvolvimento, contribuindo para uma produção agrícola sustentável e economicamente viável, através da maximização de seu potencial produtivo.

Por outro lado, a serapilheira produzida pelas leguminosas, apesar de alto valor biológico, possui processos de decomposição e uniformidade variáveis. Logo, ao considerar a alta exigência nutricional da palma forrageira, a adubação é estratégia de manejo fundamental para aumentar a eficiência da produção de forragem.

Vários estudos já atestam a resposta positiva da palma à adubação e demonstraram o incremento na produção de matéria seca com adubação orgânica. Esses adubos quando adicionados a terra podem ter efeito imediato ou residual, a depender do grau de decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes, que está interligado não apenas com sua composição química, mas também com fatores climáticos e bióticos do solo, além de fatores característicos do próprio material, como a espécie do animal que o originou.

Alguns autores consideram ainda que as leguminosas arbóreas mesmo com os benefícios já descritos, podem interferir negativamente na produção da palma, devido ao sombreamento e competitividade dos componentes vegetais.

A hipótese da presente pesquisa é que os SAFs com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio associados ao cultivo da palma forrageira são alternativas viáveis de produção para ambientes semiáridos tropicais, promovendo ciclagem de nutrientes e microclima que pode aumentar a produtividade dessas culturas, quando comparado ao sistema de monocultivo.

Logo, faz-se importante avaliar estes sistemas do ponto de vista da fertilidade do solo e dinâmica da matéria orgânica, assim como sua produtividade e características morfológicas das plantas.

CAPÍTULO 1

Referencial Teórico

SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E PALMA FORRAGEIRA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO SEMIÁRIDO TROPICAL

1. SAFs EM REGIÕES TROPICAIS SEMIÁRIDAS

Uma das primeiras definições de SAF foi apresentada por Nair (1993), em que os SAFs são descritos como uma forma de uso da terra onde espécies perenes (lenhosas) são cultivadas juntamente com agricultura e/ou pecuária, obtendo-se benefícios dessas interações ecológicas que podem resultar em benefícios econômicos.

Os SAFs são modelos de exploração da terra conhecidos por serem um dos que mais se aproxima ecologicamente da floresta natural, tendo como principais benefícios, a possibilidade de exploração madeireira controlada, produção de forragem e alimentos e produtos, aumento da viabilidade da produção, aumento da biodiversidade, tanto florística como faunística, produção de combustíveis e medicamentos, proteção contra erosões eólicas e hídricas (ARCO-VERDE e AMARO, 2015).

Além disso, o uso de SAFs está associado a recuperação de áreas degradadas, problemática presente no semiárido tropical. Esse sistema pode representar uma alternativa para o uso dos recursos naturais, aumentando ou mantendo a produtividade da terra, favorecendo a decomposição de resíduos de plantas no sistema, estimulando a ciclagem de nutrientes e proteção da matéria orgânica do solo, tanto através dos resíduos de material vegetal senescente, quanto por veiculação das excretas animais (MBOW et al., 2014).

As denominadas terras secas ou áridas incluem todas as regiões terrestres onde a produção agrícola, de forragem, de madeira e outros serviços ecossistêmicos são limitados pela água. Formalmente, a definição abrange todas as terras onde o clima é classificado como subúmido seco, semiárido, árido e hiperárido (ADDEL et al., 2005). Essas áreas são caracterizadas por ambientes onde a perda de água por evaporação é muito maior do que a entrada por precipitação, as temperaturas são altas e disponibilidade geral de nutrientes no solo é baixa (MONTANO et al., 2016).

As formas predominantes de uso da terra no Semiárido tropical (agricultura de sequeiro, pecuária extensiva, exploração de madeira), caracterizadas pela dependência do uso da água e por parte da degradação da vegetação e do solo, têm contribuído para a redução da disponibilidade hídrica, levando ao esgotamento de fontes de energia de muito

lenta reposição (SALIN, et al., 2012). Por isso, essas regiões são zonas susceptíveis à desertificação e degradação do solo (IWATA et al., 2012).

Nesse sentido, os SAFs têm sido apontados como alternativa de grande relevância, por apresentarem benefícios ambientais, econômicos e sociais que contribuem com o desenvolvimento. Atualmente, essas técnicas vêm sendo utilizadas de forma eficaz, em relação à necessidade de produção de alimentos para o homem, na forma de associação entre cultivos agrícolas e florestais (ARAÚJO FILHO et al., 2010).

Os SAFs são praticados em diferentes partes do semiárido no mundo (NAIR, 1989; BOFFA, 1999; MORENO E PULIDO, 2009; ROJAS ET AL., 2016). No Oriente Médio e no Mediterrâneo, o SAF mais difundido é nas florestas de carvalho de Espanha e Portugal, estimado em mais de 3 milhões de hectares (MOSQUERA-LOSADA et al., 2012). Neste sistema, os carvalhos naturais amplamente espaçados são tradicionalmente usados principalmente para criação de porcos e gado e colheita de uma variedade de produtos de madeira (por exemplo: madeira, carvão, tanino e cortiça). A ovelha é o principal animal de pastejo, embora cabras, gado e porcos também sejam componentes importantes. Florestas abertas em outros países do Mediterrâneo também são usadas como SPS, com carvalhos ou árvores de alfarroba (*Ceratonia siliqua* L.). Vários sistemas consorciados, incluindo o silvopastoreio com oliveiras (*Olea europaea*), são também muito comuns no Mediterrâneo, especialmente na Grécia (PAPANASTASIS et al., 2009) e Portugal (CASTRO, 2009).

No Chile, as práticas de manejo incluem bancos de forragem, pastagem em plantações, hortas familiares; devido à alta aridez em muitas regiões, apenas algumas espécies de árvores são capazes de sobreviver produzindo forragens e outros alimentos, sendo *Acacia saligna*, *Prosopis tamarugo* e *Prosopis chilensis* as mais comuns. Essas espécies também são comuns em solos afetados por sal e regiões áridas severamente degradadas no Peru, Bolívia e Argentina. Em todas as regiões áridas e semiáridas, essas espécies são usadas em projetos de reflorestamento, bem como uma variedade de outros sistemas de uso da terra, incluindo recuperação de terras degradadas, controle da erosão do solo, e suplementos alimentares humanos, tais como pães e biscoitos (ROJAS et al., 2016).

Na África Oriental e Central, os SAFs são dominados por Acácias nas partes áridas do Quênia, Somália e Etiópia; banco de proteína (corte e transporte) e produção de

forragem também é muito comum. O sistema Parkland (BOFFA, 1999) é o sistema agroflorestal mais comum que também inclui a produção integrada de culturas e animais em associação com árvores polivalentes que produzem forragem e combustível (GARRITY et al., 2010).

No caso do Brasil, a área semiárida ocupa 11,5 % da superfície (IBGE, 2013), onde vivem 22 milhões de habitantes, um dos semiáridos mais populosos do mundo (MALVEZZI, 2007), no qual existem cerca 1,7 milhão de estabelecimentos rurais, sendo 1 milhão de minifúndios com menos de cinco hectares. Neste, o fenômeno da seca é recorrente e causa sérios prejuízos ao setor agropecuário (SILVA e COSTA, 2014).

O espaço geográfico é marcado pelas limitações à produção agrícola, impostas pelas dificuldades do clima (MOURA et al., 2007), que, além da baixa pluviometria (menos que 800 mm por ano), evidencia altas temperaturas (médias entre 23 e 27°C com amplitude diária de mais ou menos 10°C) com luminosidade média de 2.800 horas de luz ano, altos índices de evaporação (2000 mm ano), índice de aridez até 0,50 e risco de seca superior a 60% e a predominância da vegetação de Caatinga (PEREIRA FILHO et al., 2013).

Aguiar et al. (2010) compararam o manejo de SAF na Caatinga a muitas outras práticas comumente aplicadas na região, como cultivo intensivo, corte e queima, coleta de lenha e floresta secundária em povoamentos naturais, e descobriram que o SAF foi um dos melhores sistemas para reduzir a água e perdas de solo, e melhorando o teor de carbono orgânico e nutrientes. Além disso, a vegetação nativa e/ou cobertura morta é descrita para reduzir a perda de água e solo em mais de 70%, em comparação com áreas desflorestadas e solos sem cobertura morta.

Gonçalves e Vivan (2012) destacam que o crescimento da prática de SAF's no Brasil guarda relação direta com ações públicas voltadas para o desenvolvimento rural, redução de pobreza rural e conservação ambiental. Segundo os autores, algumas políticas governamentais, embora não diretamente voltadas para os SAF's, estimulam seu crescimento. Esse é o caso, por exemplo, do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Ao adquirem alimentos de origem agrícola, pecuária ou extrativa (no caso do PAA), esses programas estimulam mercados locais para os produtos originários dos SAF's. Há ainda políticas com estímulo direto aos SAF's, como é o caso do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura

Familiar (Pronaf), mais voltado ao desenvolvimento rural, e do Plano ABC, que busca reduzir emissões de gases de efeito estufa provenientes da agricultura.

2. PALMA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) tem sua origem no México e está associada a economia agrícola do Império Asteca, juntamente com milho e agave, consideradas as espécies vegetais mais antigas cultivadas no território mexicano (NUNES, 2011). Quando os colonizadores chegaram ao México, existiam diversas variedades desta cactácea (REYESAGUERO et al., 2005). No entanto, análises biogeográficas demonstraram que as espécies atuais possuem ancestrais comuns na América do Sul (MAJURE et al., 2012).

As cactáceas são plantas arbustivas, suculentas e ramificadas. Constituem um grupo extremamente diversificado, com um impressionante conjunto de estratégias adaptativas, evolutivas e ecológicas, que lhes conferem uma grande capacidade de desenvolvimento nos diferentes habitats (BARBERA, 2001; REBMAN e PINKAVA, 2001).

O bom rendimento dessa cultura é normalmente observado em áreas com 400 a 800 mm anuais de chuva, umidade relativa acima de 40% e temperatura de 25 a 15°C (LOPES et al., 2012). São espécies que não toleram umidade excessiva e apresentam extraordinária capacidade de extração de água do solo, a ponto de possuir cerca de 90-93% de umidade, o que torna importante para a região do ‘polígono das secas’ (SILVA e SANTOS, 2006).

A palma forrageira aparece como uma alternativa de cultivo, adaptada ao clima semiárido (OLIVEIRA et al., 2010), visto ser uma cultura com mecanismo fisiológico especial, metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), no que se refere à absorção, aproveitamento e perda de água (SANTOS et al., 2012). O metabolismo CAM permite que a planta feche seus estômatos durante o dia, evitando a perda excessiva de água através do processo de transpiração, realizando o processo de absorção de CO₂ a noite, quando as temperaturas são normalmente mais baixas (TAIZ; ZEIGER, 2004). Ou seja, trata-se de uma planta bastante eficiente do ponto de vista do uso de água, a qual permite

adaptar-se as condições de clima do semiárido (SAMPAIO, 2005). Plantas que expressam metabolismo CAM têm despertado muito interesse, principalmente quando vistas pela perspectiva das mudanças climáticas, tanto por sua grande flexibilidade na forma de captar CO₂, como pelos altos níveis de eficiência de uso da água, especialmente em zonas áridas e semiáridas (MALES; GRIFFITHS, 2017).

Segundo Males e Griffiths (2017), uma das características mais marcantes do metabolismo CAM é sua plasticidade em respostas a variações das condições ambientais. A palma é uma planta que responde muito rapidamente a mudança na umidade relativa do ar, por exemplo: com alta umidade noturna do ar há uma maior captação de CO₂, caso a umidade relativa do ar seja reduzida, a captação de CO₂ é reduzida. Os mesmos autores também mostram quão rápida é a resposta de *Nopalea* às mudanças da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos no decorrer do dia.

Esta cultura apresenta uma rede de raízes finas próximas da camada superficial do solo (até 10-20 cm) adaptada para absorver a água de chuvas leves e até do orvalho, caracterizando como mais uma vantagem em locais de índice pluviométrico baixo (GUIMARÃES et al., 2013). Outra característica é a morte e renovação de um percentual das raízes, conforme a falta de água por períodos mais prolongados e o retorno da umidade ao solo (SAMPAIO, 2005). Para Zúñiga-Tarango et al. (1999), de acordo com estudos feitos no México, no geral, as raízes da palma forrageira se desenvolvem na camada de solo de 0-18 cm, onde foram encontradas 96% da massa radicular, registrando-se somente cerca de 3% na faixa de 18 a 36 cm.

Os cultivos de palma forrageira encontram-se distribuídos em todo o mundo, desde o Canadá até a Argentina, do nível do mar até 5.100 m de altitude no Peru, sendo levada do México à Espanha em 1520, e depois para Portugal, África, Ásia e Oceania (HOFFMANN, 2001). Ela tem destacada importância por contribuir com o desenvolvimento das regiões semiáridas através da exploração econômica das várias espécies, com consequências positivas para o meio ambiente e para segurança alimentar (CHIACCHIO et al., 2006). A palma é utilizada para produção de forragem e nutrição animal, na alimentação humana, medicina, indústria de cosméticos, fabricação de adesivos, fibras para artesanato, fabricação de papel, corantes, mucilagens, antitranspirantes, ornamentação, entre outras (SANTOS et al., 2012).

A palma caracteriza-se por ser uma forrageira de alta digestibilidade e alto teor de carboidratos solúveis, todavia apresenta baixo teor de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), devendo ser utilizada associada a outro alimento proteico e fibroso. Destaca-se que, a composição química da palma varia conforme a época do ano, idade da planta, ordem do artículo, cultivar, manejo de adubação, espaçamento de plantio, entre outros fatores (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010).

Esta cultura é capaz de contribuir positivamente na viabilidade econômica de pequenas e médias propriedades, notadamente na alimentação dos rebanhos (GALINDO et al., 2005). O seu cultivo ganha importância com o avanço da desertificação, onde o uso de tecnologias apropriadas e de culturas adequadas possibilita o desenvolvimento sustentável (OLIVEIRA, 2008).

Nesse sentido, os SAFs com palma forrageira se apresentam como estratégia eficiente por oferecerem uma produção diversificada e contínua ao longo do ano, minimizando a degradação do solo e com isso tornando-se um modelo agrícola promissor na aliança entre produção agrícola e conservação ambiental (AYRES e RIBEIRO, 2010). Dentre as arbóreas, as leguminosas são indicadas para o uso em SAFs com palma.

Os cactos podem produzir 4 a 5 vezes mais matéria seca (MS) (DEGU et al., 2009) por milímetro de chuva do que qualquer outro tipo de planta em condições de estresse hídrico, devido ao metabolismo ácido das crassuláceas (GUEVARA et al., 2011).

As leguminosas fornecem proteína barata para ruminantes, além de proporcionar maior ciclagem de nutrientes e retorno para o solo (DIAS et al., 2018)., podendo ser uma alternativa como cultura a ser associada a palma.

Uma vez que o cultivo de palma forrageira em SAFs pode tanto ser complementar nas características agrônômicas quanto na nutrição animal, é importante destacar que os SAFs com leguminosas forrageiras e palma tanto podem complementar as dietas animais oferecendo proteína e fibra, quanto aumentar a disponibilidade de N via fixação biológica de nitrogênio ou a decomposição da serapilheira, raízes e nódulos (MIRANDA et al., 2019).

Os SAFs com palma forrageira podem ajudar a equilibrar o sistema de produção, uma vez que a palma extrai uma grande quantidade de nutrientes (DUBEUX JUNIOR et al., 2006) do solo. Além disso, os cladódios são retirados da área onde são cultivados e

fornecidos aos animais por meio de alimentação via cocho. Como tal, os nutrientes não são substituídos, o que, combinado com erosão, tende a diminuir a produtividade após uso contínuo (RAMOS et al., 2015).

Logo, uma das estratégias viáveis para produção são os sistemas agroflorestais de palma com leguminosa arbórea. Para consórcio específico com a palma é importante que a leguminosa seja adaptada à seca e possa ser utilizada como fonte de forragem e lenha. Este sistema pode ser capaz de amortizar os efeitos negativos da alta variabilidade da precipitação pluviométrica, aumentar ou estabilizar a disponibilidade de forragem (PEREZ-MARIN et al., 2007). O sistema em aléias, por exemplo, consiste no plantio de árvores ou arbustos, geralmente, leguminosas, em fileiras suficientemente espaçadas entre si para permitir o plantio de culturas agrícolas entre elas (SANCHEZ, 1995).

Um dos problemas enfrentados nesse consórcio é que na cultura da palma forrageira o sombreamento do cladódio pode influenciar a interceptação da luz e eficiência fotossintética, comprometendo o desenvolvimento e produtividade da cultura, como observado por Peixoto et al. (2018). Nesse estudo foram avaliadas as características agrônomicas e composição química em relação a diferentes sistemas de plantio da cultura da palma forrageira [*Opuntia ficus-indica* (L.) P. Mill], sendo um desses sistemas com Cajá (*Spondias* ssp.). Houve redução da produção de matéria seca nos sistemas avaliados pelos autores nas plantas sob consórcio quando comparados ao sistema exclusivo de palma forrageira.

Albuquerque e Ribaski (2003) avaliaram o consórcio de palma gigante (*Opuntia ficus-indica*) com algaroba [*Prosopis juliflora* (SW) DC.], em diferentes espaçamentos, e obtiveram efeito negativo com redução da produtividade da palma, segundo os autores, por conta do sombreamento causado pelas árvores. Saraiva (2014), em estudos de sistema agroflorestal de leguminosas com palma forrageira (IPA Sertânia), verificou que a produção da palma no cultivo isolado (4,8 t MS ha⁻¹ ano⁻¹) foi superior a produção da palma nos sistemas consorciados na fase de implantação dos sistemas (colheita com cerca de 2 anos).

Já Miranda et al. (2019), trabalharam com palma forrageira IPA-Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), em cultivo isolado e também consorciada com leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] ou gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.], e adubada com diferentes fontes de esterco e observaram que nos sistemas

consoziados, a maior proximidade com as leguminosas incrementou a produção da palma, embora essas áreas próximas a palma estivessem susceptíveis ao sombreamento.

O sombreamento possui efeitos diretos e indiretos sobre a qualidade, desenvolvimento morfológico e produção das forrageiras, em que o efeito direto se dá pela alteração da intensidade e qualidade da radiação disponível para as plantas e pode reduzir a disponibilidade de fotoassimilados para a formação da parede celular secundária. Entretanto, Tonato et al. (2014) avaliaram o efeito da luminosidade na resposta de espécies forrageiras e observaram que os efeitos do sombreamento sobre os constituintes da parede celular têm sido geralmente pequenos e inconsistentes, geralmente com maiores diferenças entre as espécies forrageiras do que entre os níveis de sombreamento.

Santos et al. (2018) avaliaram o efeito do espaçamento e adubação orgânica, sobre o crescimento e produtividade da palma forrageira em sistema de cultivo de aléias com *Gliricídia sepium*. Os autores observaram que somando-se a forragem produzida pela gliricídia mais a biomassa produzida da palma forrageira, o sistema de cultivo em aléias, produziu anualmente, em média 7,3 t MS ha⁻¹. Isto torna o sistema de cultivo em aléias um excelente banco de proteína, como estratégia para promover maior estabilização na produção de biomassa para alimentação animal (PEREZ-MARIN et al., 2007) e demonstra que a presença da espécie arbórea no sistema aumenta a eficiência de uso dos recursos (água, luz, nutrientes) para a produção de biomassa.

Estas constatações em termos de produção são particularmente importantes para o semiárido onde a produção de biomassa é um dos fatores limitantes para a produção agropecuária. Santos et al. (2018) trabalharam com sistemas de cultivo em aléias, onde a forragem (folhas e galhos) produzida pela gliricídia e pela palma forrageira foi em média 7,3 t ha⁻¹ de matéria seca. Considerando que a produção de matéria seca da Caatinga é de aproximadamente 4 t ha⁻¹ ano⁻¹ (ARAÚJO FILHO e CRISPIM, 2002), mas que apenas 7% (280 kg ha⁻¹) é considerado realmente forragem (LEITE; VASCONCELOS, 2000), o valor encontrado por Santos et al (2018) para a produtividade de matéria seca do sistema em aléias equivale a 26 vezes a produção de matéria seca por hectare de Caatinga.

Em relação a deposição de serapilheira e possibilidade de ciclagem de nutrientes, Miranda et al. (2018) observaram maior produção da palma na menor distância das leguminosas, possivelmente, devido à maior deposição de serapilheira das leguminosas

(SILVA et al., 2013). Esta deposição de serapilheira pelas leguminosas em cultivo com a palma forrageira contribui com elevadas quantidades de matéria orgânica e nutrientes ao solo.

Como já mencionado, a leguminosa pode favorecer o cultivo da palma em SAF por meio da fixação biológica de nitrogênio. Martins et al. (2015), em estudos no semiárido paraibano, observaram que no sistema agroflorestal com capim-buffel e com palma forrageira, a gliricídia fixa simbioticamente altas proporções de N (>50%) e adiciona quantidades maiores de N (40 kg ha^{-1} nas folhas) que no sistema sem árvores (11 kg ha^{-1} nos grãos e 18 kg ha^{-1} na palhada).

Grünwaldt et al. (2018), trabalharam em Mendonza – Argentina com *Opuntia ellisiana* plantada sob *Prosopis* e observaram que o efeito da *Prosopis* melhorou o teor de N dos cladódios. Os autores concluíram que o enriquecimento do sistema pastoril em ambientes áridos pela introdução da *Opuntia* associada à *Prosopis* aumenta tanto a produtividade quanto a qualidade da forragem do sistema.

São pouco os estudos que abordam os SAFs com palma forrageira. Além da combinação dos componentes do sistema como fontes de alimentos excepcionais, há uma maior diversificação em termos de ciclagem de nutrientes, que podem retornar para o solo e serem utilizados no sistema, minimizando necessidade de insumos externos e que muitas vezes podem ser caros. Os SAFs com palma forrageira podem ajudar os agricultores a superar os desafios permanentes de déficit de alimentos. Dessa forma, podem também aumentar o desempenho dos animais, levando a um melhor abastecimento de carne e produtos animais, contribuindo com a produção de alimentos e diminuindo instabilidade na produção agropecuária.

3. ADUBAÇÃO ORGÂNICA SOB PRODUTIVIDADE E CARACTERÍSTICAS DO SOLO

A palma forrageira é uma cultura exigente em fertilidade do solo e os SAFs com leguminosas podem promover benefícios para o desenvolvimento dessa cultura, através da FBN e da ciclagem de nutrientes via serapilheira. No entanto, alguns estudos apontam que seu real potencial de produção só será atingido com o uso de adubos, seja orgânico ou mineral. A adubação mineral, em razão dos riscos causados pela variabilidade do

regime de chuvas na região, é uma prática pouco adotada pelos agricultores do semiárido (LEITE, 2009).

Como alternativa, o uso de adubos orgânicos vem sendo bastante empregado, ainda assim em bases empíricas e as quantidades disponíveis nas propriedades rurais da região são insuficientes (GARRIDO et al., 2008). A utilização de resíduos orgânicos oriundos da criação animal é uma forma de substituição de insumos industriais por recursos disponíveis na propriedade e é um passo no processo de produção sustentável (KOMIYAMA et al., 2013).

Segundo Santos et al. (2006), a adubação orgânica tem o potencial de dobrar a produção da palma, desde que ocorra um planejamento adequado de aplicação, espaçamento, controle de pragas, entre outros fatores. No entanto, no Semiárido brasileiro a aplicação de esterco na cultura da palma forrageira é bastante restrita, apesar da criação de ruminantes ser uma das principais atividades econômicas. Isso acontece por que o produtor rural costuma vender o esterco produzido pelos animais para complementar a renda familiar (MENEZES et al., 2005). Além do mais, a maioria do rebanho é criado solto na Caatinga, o que também dificulta o recolhimento das fezes para produção de esterco.

O uso de adubos orgânicos, além de melhorar a agregação do solo, aeração, temperatura e penetração de raízes, também é capaz de integrar ao solo compostos orgânicos que são decompostos e transformados em nutrientes disponíveis às plantas (OLIVEIRA et al., 2009). A adição de matéria orgânica no solo provoca a estabilidade dos agregados, melhorando a infiltração, percolação e retenção de água, além de aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) e o suprimento dos nutrientes (PREEZ et al., 2011). Os fertilizantes orgânicos atuam no solo enriquecendo-o gradualmente com macro e micronutrientes essenciais às plantas (TRANI et al., 2013).

Donato (2011) utilizou quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e 90 t ha⁻¹ano⁻¹) e três espaçamentos (1,0 x 0,5; 2,0 x 0,25 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m) com densidade de 20.000 plantas de palma forrageira cv. Gigante por ha⁻¹. Os autores observaram que o incremento das doses de esterco promoveu maior extração de nutrientes do solo, além do aumento nos teores de nutrientes dos cladódios de palma, influenciando diretamente na qualidade da planta, além de elevar a produção de forragem. Donato et al. (2017) avaliaram a extração/exportação de macronutrientes por cladódios colhidos da palma forrageira

‘Gigante’, cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino aplicadas ao solo aos 600 dias após o plantio. Os autores observaram que os incrementos nas doses de esterco bovino promoveram maior extração de nutrientes e aumentaram seu conteúdo nos cladódios de palma cv. Gigante, onde no tratamento sem aplicação de esterco a quantidade extraída/exportada de P pela palma foi de 17 kg ha⁻¹, e para uma dose de esterco bovino de 90 t ha⁻¹ ano⁻¹, a quantidade de P foi de 53,6 kg ha⁻¹. No entanto, Silva et al. (2016) avaliaram efeito de doses de adubação orgânica (20, 40 e 80 t ha⁻¹ de esterco bovino/ha/dois anos) e densidades de plantio sobre a produtividade da palma forrageira clone IPA-20 (*Opuntia ficus-indica* Mill). Foi verificado que a eficiência da adubação orgânica diminuiu com a elevação das doses de esterco. Assim, para plantios com 160.000 plantas ha⁻¹ deve ser realizada aplicação de, no mínimo, 40 t de esterco bovino ha⁻¹ dois anos⁻¹ para incremento na produtividade da palma forrageira.

O potencial de utilização dos esterco de animais no solo como adubo orgânico é determinado pela sua composição química e características desse material, tais como espécie animal, raça, sexo, idade, regime alimentar, eficiência de conversão alimentar, consumo de água, além do índice de aproveitamento de nutrientes da ração pelos animais e outros (AZEEZ et al., 2010). Um outro ponto importante é que o adubo orgânico adicionado ao solo pode ter efeito imediato e/ou residual, a depender do grau de decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes. Essa velocidade de decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos podem interferir diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas (PEIXOTO FILHO et al., 2013), sendo influenciada pela composição e atividade dos organismos decompositores, condições edafoclimáticas e a qualidade dos resíduos orgânicos (FREITAS et al., 2012; SILVA et al., 2014).

Souto et al. (2005), estudando a decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semiárido da Paraíba, observaram que apesar de ter uma relação C:N maior que os esterco caprino (21,6) e ovino (24,2), o esterco bovino (27,1) foi o que apresentou maior taxa de decomposição, sendo este resultado atribuído à sua estrutura que favorece o ataque dos microrganismos.

Saraiva (2014) testou diferentes adubos sob SAFs de palma forrageira clone IPA Sertânia com leucena e gliricídia em Caruaru-PE, observou que o sistema com gliricídia apresentou maior acúmulo de N para todas as fontes de MO estudadas com médias de 977, 695, 672 e 629 g ha⁻¹ dia⁻¹ N para cama de frango, esterco ovino, caprino e bovino, respectivamente.

Miranda (2018) trabalhou no Agreste de Pernambuco com SAFs e observou menores valores de Ca nos tratamentos adubados com cama de frango, em relação aos adubos bovino, caprino e ovino, atribuindo esse fato à menor quantidade deste esterco aplicado ao solo e, provavelmente, em função do maior efeito residual dos outros esterços. Além disso, a autora também observou diminuição da acidez do solo à medida que se aumentava a distância das leguminosas, atribuindo esse fato à deposição de serapilheira, que apresentou menor relação C/N, indicando que a serapilheira da leguminosa possui maior taxa de decomposição e mineralização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEEL, Z. et al. **Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Desertificación** - un informe de la EM (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio). Washington: WORLD RESOURCES INSTITUTE. 2005.

AGUIAR, M. I. et al. Sediment nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agrofor Syst** 79: 277-289, 2010.

ALBUQUERQUE, S.G.; RIBASKI, J. Sombreamento da palma forrageira cv. Gigante (*Opuntia fícus indica* Mill.) pela algarobeira no sertão de Pernambuco. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40, 2003, Santa Maria. **Anais...** Sociedade Brasileira de Zootecnia 2003.

ANDA - **Associação Nacional para Difusão de Adubos**. 2011. Disponível em Acesso em 28 de dezembro de 2019.

ARAÚJO FILHO, J. A. et al. Sistema de Produção Agrossilvipastoril no Semiárido do Ceará. In: **2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions**. Fortaleza - Ceará, Brazil, 2010.

ARAÚJO FILHO, J. A.; CRISPIM, S. M. A. Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de caatinga no nordeste do Brasil. In: **I Conferência virtual global sobre produção orgânica de bovinos de corte**, 2002, University of Contestado – UnC – Concordia Unit- Concordia – SC – Brazil, Embrapa pantanal – Corumbá – MS – Brazil, 2002. p. 1-7.

ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. C. Metodologia para análise da viabilidade financeira e valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais. In: PARRON, L. M. et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Capítulo 30.

AYRES, E. C. B.; RIBEIRO, A. E. M. Inovações agroecológicas no Nordeste de Minas Gerais: o caso dos sistemas agroflorestais na agricultura familiar do alto Jequitinhonha. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 344-354, 2010.

AZEEZ, J. O. et al. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 5645-5651, 2010.

BARBERA, G. História e importância econômica e agroecológica. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Roma/Brasília: FAO/Sebrae, 2001.p. 1-11.

BOFFA J. M. **Agroforestry parklands in Sub-Saharan Africa**. FAO Conservation Guide 34, Rome. 250 pp, 1999.

CASTRO, M. Silvopastoral systems in Portugal: current status and future perspectives. In: **Agroforestry in Europe**; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MCADAM, J.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. (eds). pp: 111-126, 2009.

CHIACCHIO, F. B. et al. Palma forrageira: uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o semiárido baiano. **Bahia Agrícola**, Bahia, v.7, n.3, p. 39-49, 2006.

DEGU, A. et al. Supplementation of isonitrogenous oil seed cakes in cactus (*Opuntia ficus-indica*) tef straw (*Eragrostis tef*) based feeding of Tigray Highland sheep **Anim. Feed Sci. Technol.**, 148, pp. 214-226. 2009.

DIAS, et al. **Leguminosas arbóreas para sistemas silvipastoris**. Niterói: Programa Rio Rural, 2008. 7 f.; 30 cm. -- (Programa Rio Rural. Manual Técnico; 9).

DONATO, P. E. R. et al. Valor nutritivo da palma forrageira 'gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**. 27: 163-172, 2014.

DONATO, P.E.R. Características morfológicas, de rendimento e nutricionais da palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco. Itapetinga-BA: UESB, 2011. 135f. (Tese – Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes).

DONATO, P. E. R. et al. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 21, n. 4, p. 238-243, Apr. 2017.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 129-135, 2010.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, p.357-372, 2006.

FREITAS, M. S. C. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de esterco em função da profundidade e do tempo de incorporação. **Revista Semiárido De Visu**, v. 2, n. 1, p. 150-161, 2012.

GALINDO, I. C. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. Uso da palma na conservação dos solos. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p. 163-176.

GARRIDO, M. S. et al. **Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil**. Recife-PE: Editora Universitária da UFPE. 2008, 130 p.

GARRITY, D. P.; AKINNIFESI, F. K.; AJAYI, O. C. Evergreen agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. **Food Security** 2 (3): 197-214, 2010.

GONÇALVES, A. L. R; VIVAN, J. L. **Agroforestry and conservation projects in Brazil: carbon, biodiversity, climate, and people**. 2012.

GRUNWALDT, J. M. et al. Effect of *Prosopis* spp. as a nurse plant on nutrient content and productivity of *Opuntia ellisiana* Griffiths. **Rev. Fac. Cienc. Agrar.**, Univ. Nac. Cuyo, Mendoza, v. 50, n. 2, p. 129-137, jun. 2018.

GUEVARA, C. et al. **Productivity, cold hardiness and forage quality of spineless progeny of the *Opuntia ficus-indica* 1281 × *O. lindheimerii* 1250 cross in Mendoza plain, Argentina.** J. PACD, 13, pp. 48-62, 2011.

GUIMARÃES, A. S. et al. **Potencial da palma forrageira para o Norte de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2013. 4 p.

HOFFMANN, W. Etnobotânica. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira.** Roma/Brasília: FAO/Sebrae, 2001. p. 12- 19.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Área Territorial Brasileira.** Censo 2013.

IWATA, B. F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p.730–738, 2012.

KOMIYAMA, T. et al. The chemical characteristics of ashes from cattle, swine and poultry manure. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 15, n. 1, p. 106-110, 2013.

LEITE, E. R.; VASCONCELOS, V. R. Estratégias de alimentação de caprinos e ovinos em pastejo no nordeste do Brasil. In: Simpósio internacional sobre caprinos e ovinos de corte I, 2000. João Pessoa. **Anais...** 2000. João Pessoa: EMEPA-PB. P 71-80.

LEITE, M.L.M.V. Avaliação de clones de palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semiárido paraibano. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia. 186f. 2009.

LOPES, E. B. et al. Cultivo da palma forrageira. In: LOPES, E. B. **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino.** João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2012. p. 21-60.

MAJURE, L. C. et al. Phylogeny of *Opuntia* s. s. (Cactaceae): clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 99, n. 5, p. 847-864, 2012.

MALES, J.; GRIFFITHS, H. Stomatal Biology of CAM Plants. **Plant Physiology**, v. 174, p. 550 – 560, 2017.

MALVEZZI, R. **Semiárido – uma visão holística**. Brasília. CONFEA, 2007. 140 p.

MARTINS, J. C. R. et al. Nitrogen symbiotically fixed by cowpea and gliricidia in traditional and agroforestry systems under semiarid conditions. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 50, n. 2, p. 178-184, 2015.

MBOW, C. et al. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p. 8-14, 2014.

MENEZES, R. S. C. et al. **A palma no nordeste do Brasil – conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife, PE: Ed. Universitária, UFPE, 258p. 2005.

MIRANDA, K. R. **Contribuição de leguminosas arbóreas em consórcio com palma forrageira fertilizada com diferentes esterços**. 2018. 80p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE.

MIRANDA, K. R. et al. Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.49:01, e20180324, 2019.

MONTANO, N. M. et al. Armazéns e fluxos de carbono em ecossistemas áridos e semiáridos do México: Resumo e perspectivas. **Terra Latinoamericana**, 34, 39-59. 2016.

MORALES, J. U. et al. Utilización de *Atriplex canescens* y *Opuntia ficus indica* en la alimentación de cabras lactantes durante la sequía. **Agron. Mesoam**. vol.25 n.2 San Pedro Jul./Dec. 2014.

MORENO, G.; PULIDO, F. J. The functioning, management, and persistence of dehesas. In: **Agroforestry in Europe**; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MCADAM, J.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. (eds). pp: 89-110, 2009.

MOSQUERA-LOSADA, M. R. et al. Past, present, and future of agroforestry in Europe. In: **The future of global land use: agroforestry**. NAIR, P. K. R.; GARRITY, D. P. (eds). pp: 285-312, 2012.

MOURA, M. S. B. et al. Clima e água de chuva no Semiárido. In: BRITO, L.T.L.; MOURA, M.S.B.; GAMA, G.F.B. (Org.). **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. 1 ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, v. 1, p. 37-59, 2007.

NAIR, P. K. R. (ed). **Agroforestry systems in the tropics**. Kluwer. 1989.

NAIR, P. K. R. **An introduction on to agroforestry**. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 1993.

NUNES, C. S. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.1, p. 58 – 66, 2011.

OLIVEIRA, A. N. P. et al. Yield of gherkin in response to doses of bovine manure. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 100-102, 2009.

OLIVEIRA, F. T. de. **Crescimento do sistema radicular da *Opuntia ficusindica* (L) Mill (Palma Forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia – Sistemas Agrosilvipastoris no Semiárido) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2008.

OLIVEIRA, F. T. et al. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p. 27-37, 2010.

PAPANASTASIS, V. P.; MANTZANAS, K.; DINI-PAPANASTASI, O. Traditional agroforestry systems and their evolution in Greece. In: **Agroforestry in Europe**. RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MCADAM, J.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. (eds). pp: 89-110, 2009.

PEIXOTO FILHO, J. U. et al. Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 4, p. 419-424, 2013.

PEIXOTO, M. J. A. et al. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Arch. Zootec.** 67 (257): 35-39. 2018.

PEREIRA FILHO, J. M. et al. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador -BA, v.14, n.1, p.77-90, 2013.

PEREZ-MARIN, A. M. P. et al. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.42 n.5 p. 669-677, 2007.

PREEZ, C. et al. Land use and soil organic matter in South Africa 2: A review on the influence of arable crop production. **South African Journal of Science**, v.107, p.35-42, 2011.

RAMOS, J. P. F. et al. Effects of harvest management and manure levels on cactus pear productivity. **Revista Caatinga**, v.28, n.2, p.135-142, 2015.

REBMAN, J. P.; PINKAVA, D. J. Opuntia cacti of North America – an overview. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 84, n. 4, p. 474-483, 2001.

REYES-AGUERO, J. A. et al. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (Cactaceae). **Agrociencia**, Texcoco, v. 39, n. 3, p. 395-408, 2005.

ROJAS, P.; GONZÁLEZ, M.; BENEDETTI, S. Silvopastoral systems in arid and semiarid zones of Chile. In: **Silvopastoral systems in southern South America**; PERI, P. L.; DUBE, F.; VARELLA, A. (eds). pp. 169-181, 2016.

SALEM, H. B.; NEFZAOU, U.; SALEM, L. B. Cactus (*Opuntia ficus indica* f. Inermis) e oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) como suplementos alternativos para o crescimento de cordeiros bárbaros à base de canudos. **Pesquisa de pequenos ruminantes**. Volume 51, Edição 1, páginas 65-73, 2004.

SALIN, T. C. et al. Caracterização de sistemas agrícolas produtivos no semiárido brasileiro como bases para um planejamento agroflorestal. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.109-118, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B. Fisiologia da palma. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 43-56.

SANCHEZ, P. A. Science in agroforestry. **Agroforestry systems**, v.30, n. 1. p.5-55, 1995.

SANTOS, D. C. E. et al. Usos e aplicações da palma forrageira. In: LOPES, E. B. **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino**. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2012. p. 99-150.

SANTOS, D. C. et al. **Manejo e utilização da Palma Forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48 p.

SANTOS, A.F. et al. Produtividade da palma forrageira em aleias com *Gliricídia sepium* sob adubação orgânica em diferentes espaçamentos no Semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 13(3), 276 - 281. 2018.

SARAIVA, F. M. **Desenvolvimento e acúmulo de nutrientes de palma forrageira (*Nopalea*) em diferentes sistemas de cultivo**. 2014. 104p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE.

SILVA, A. B. et al. Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 502-511, 2013.

SILVA, A. G.; COSTA, F. B. Os estabelecimentos rurais de menor porte econômico do semiárido nordestino frente às novas tendências da agropecuária brasileira. In: BUAINAIN, A. M. et al. (Eds). **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília: Embrapa. p. 950-977, 2014.

SILVA, C. C. F; SANTOS, L. C. Palma Forrageira (*Opuntia Fícus- Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária REDVET**, Itapetinga, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006.

SILVA, V. B. et al. Decomposição e liberação de N, P e K de esterco bovino e de cama de frango isolados ou misturados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1537-1546, 2014.

SILVA, N.G.M. et al. Effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 976 – 983, 2016.

SOUTO, P.C. et al. Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004.

TONATO, F. et al. Aveia preta e azevém anual colhidos por interceptação de luz ou intervalo fixo de tempo em sistemas integrados de agricultura e pecuária no Estado de São Paulo, **Revista Ciência Rural**, vol. 44, no. 1, pp. 104-110. 2014.

TRANI, P. E. et al. **Adubação Orgânica de Hortaliças e Frutíferas**. Campinas (SP) fevereiro de 2013. 16 p.

ZÚÑIGA-TARANGO, R.; VÁZQUEZ-ALVARADO, R.; SALAZAR-SOSA, E. Patrón de desarrollo radical de nopal em diferentes condiciones de suelo y su relación com el rendimiento. In: AGUIRRE-RIVERA, J.R.; REYESAGUERO, J.A (eds). **Conocimiento y aprovechamiento del nopal**. VIII Congresso Nacional Y Congresso Internacional. Universidad Autónoma de San Luís Potosí, San Luís Potosí, México, p.12-13, 1999.

CAPÍTULO 2

FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS SOB SISTEMA AGROFLORESTAL DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO TROPICAL

Fracionamento físico da matéria orgânica e características químicas de solos sob semia agroflorestal de leguminosas arbóreas e palma forrageira no semiárido tropical

Resumo: O processo de produção sustentável da produção de forragem é um desafio cada vez mais presente, especialmente no cenário de mudanças climáticas dos dias atuais. Nesse contexto, os sistemas agroflorestais (SAFs) são considerados uma opção que alia produção com preservação dos recursos naturais. Objetivou-se avaliar SAFs com palma forrageira e leguminosas sob efeito residual de diferentes adubações orgânicas através da análise química e fracionamento da matéria orgânica do solo. Foram comparados dois sistemas de consórcio e um monocultivo: i) cultivo da palma forrageira cv. IPA Sertânia isolado (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck); ii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.]; iii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.]. A área experimental tem histórico de adubação desde 2012 com quatro tipos de esterco diferentes (cama de frango, esterco caprino, esterco bovino e esterco ovino) e, embora esse fator tenha sido modificado para uniformização de toda área com esterco bovino apenas, essas subparcelas foram consideradas nas análises devido a possíveis efeitos residuais. Assim, o delineamento foi parcela subdividida em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo a parcela principal formada pelos diferentes sistemas de cultivo e a subparcela pelos tipos de esterco. Foram coletadas amostras compostas de solo em dois pontos nas parcelas em consórcio (entre a palma e entre a fila dupla das leguminosas) e nas parcelas com palma solteira apenas entre a palma. A coleta foi realizada nas profundidades de 0-5cm e 5-20cm. Os dados foram analisados sob dois aspectos: 1. Apenas as parcelas em consórcio com os pontos de coleta entre a palma e a leguminosa; e 2. Todas as parcelas, nos pontos de coleta de palma. Na análise do solo sob os consórcios, observou-se menor teor de fósforo no solo próximo as leguminosas, com médias de 87.5 mg dm^{-3} e entre a palma com média de 134.4 mg dm^{-3} . Foi observado maior acidificação do solo das leguminosas, em maior expressão pela leucena, com valores de pH de $5.3 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e $5.09 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para gliricídia. Para análise do solo da palma em monocultivo vs sistema agroflorestal, observou-se diferença para os valores de sódio entre os esterco, sendo a área que recebeu cama de frango superior ($0.24 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) ao esterco ovino ($0.13 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$), ambos não diferindo do esterco bovino ($0.19 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) e esterco caprino ($0.21 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$). Para carbono orgânico do solo não foram observadas diferenças entre os sistemas estudados, com valores de 1.13% para palma + leucena, 1.00% para palma + gliricídia e 1.08% para palma em monocultivo. Dentre as frações de matéria orgânica, não houve diferença significativa para fração leve, apresentando valores médios de 0.0789 g kg^{-1} para palma + leucena, 0.0578 kg^{-1} para palma + gliricídia e 0.0625 kg^{-1} para palma em monocultivo. Para a fração pesada da matéria orgânica foi observada diferença significativa, onde as parcelas adubadas com cama de frango apresentaram maior peso na fração pesada, do que o esterco bovino, não diferindo dos esterco caprino e ovino. Conclui-se que os SAFs contribuem com aporte de nitrogênio, porém demandam maior fertilidade do solo para

suportar o maior crescimento dessas plantas (especialmente no que diz respeito ao P e K) e apresentaram solos com maiores concentrações de sais de sódio e íons acidificante que a palma em cultivo isolado. A composição química dos esterco influenciou a características químicas do solo, estando associado a quantidade de adubo utilizada e seus efeitos residuais.

Palavras chaves: atributos do solo, leguminosas, palma forrageira, sistemas agroflorestais.

Abstract: Developing sustainable production systems is a growing challenge, considering the global climate change scenario. Agroforestry systems (AFS) are considered an option that combines production with preservation of natural resources. For the implementation of successful AFS, it is necessary to have adapted plants to the region in question, such as forage cactus and tree legumes. This study evaluated the residual effect of different organic fertilizers in two AFS and one monoculture, namely: i) forage cactus cv. IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in monoculture; ii) AFS of forage cactus cv. IPA Sertânia interspersed with double rows of gliricidia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.]; iii) AFS of forage cactus cultivation cv. IPA Sertânia interspersed with double rows of leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.]. The design was a randomized complete block with four replications per treatment, with each plot (27 m x 16 m) formed by different cultivation systems. The experimental area has a history of fertilization with four different manure types (chicken litter, goat manure, cattle manure and sheep manure) and, although this factor was modified to standardize the whole area with cattle manure only, these subplots were considered in the analysis due to possible residual factors. Soil composite samples were collected at two points in the intercropping plots (between the cactus and between the double row of legumes) and in the single cactus plots just between the cactus. The collection was carried out at depths of 0-5 cm and 5-20 cm, from which chemical analyzes and physical fractionation of soil organic matter were performed. The data were analyzed from two aspects: 1. considering only the plots in consortium with the collection points between forage cactus and legume; and 2. considering all plots at the forage cactus collection points. Analysis of variance was performed using PROC MIXED by SAS and when the F test was significant, treatment averages were compared using the Tukey test with 5% probability. In the soil analysis under the consortia a lower amount of phosphorus was observed in the soil near the legumes with average of 87.5 mg dm⁻³ and between the forage cactus with average of 134.4 mg dm⁻³. It was observed a process of acidification of the soil of legumes, in greater expression by leucena, with pH values of 5.3 cmol_c dm⁻³ and 5.1 cmol_c dm⁻³ to gliricidia. For the analysis of forage cactus soil in monoculture vs agroforestry system, it was observed a difference for the sodium values among manure types, being the chicken litter superior (0.24 cmol_c dm⁻³) to the sheep manure (and 0.13 cmol_c dm⁻³), but both did not differ from cattle manure (0.19 cmol_c dm⁻³) and goat manure (0.21 cmol_c dm⁻³). Regarding organic carbon, no differences were observed between the studied systems, with values of 1.13% for forage cactus + leucena, 1.00% for forage cactus + gliricidia and 1.08% for forage cactus in monoculture. Among the SOM fractions, there was no significant difference for light fraction presenting average values of 0.0789 g kg⁻¹ for forage cactus+ leucena treatment, 0.0578 kg⁻¹ for forage cactus + gliricidia and 0.0625 kg⁻¹ for forage cactus in monoculture. For the heavy fraction of organic matter, a significant difference was observed, where the manure-fertilized plots presented higher weight in the heavy fraction than the cattle manure, not

differing from the goat and sheep manure. This behavior can be explained by the amount of OM from the applied manures and the larger amount of N from the chicken litter, which may have favored the decomposition of senescent plant material and / or mulch. It is concluded that the AFS contribute with nitrogen supply, but demand greater soil fertility to support the greater growth of these plants (especially with regard to P and K) and presented soils with higher concentrations of sodium salts and acidifying ions than cactus in isolated cultivation. Manure chemical composition influenced the chemical characteristics of the soil, being associated with the amount of fertilizer used and its residual effects.

Keywords: agroforestry system, forage cactus, legumes, soil attributes.

Introdução

As áreas denominadas de semiárido tropical apresentam baixos índices pluviométricos (com precipitações de menos de 800 mm/ano), altas temperaturas (médias entre 23 e 27°C e amplitudes diárias de cerca de 10°C), altos índices de evaporação (2000 mm ano), índice de aridez até 0,50 e risco de seca superior a 60% e predominância da vegetação caatinga (PEREIRA FILHO et al., 2013). Essas características associadas ao uso inadequado e/ou mal planejado da terra e recursos naturais nos sistemas de produção agropecuária, podem tornar o semiárido tropical uma zona susceptível a desertificação (MONTANO, 2016; SALIM, 2012).

Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAFs) têm sido apontados como alternativa de grande relevância, uma vez que uma das principais preocupações atuais é o equilíbrio entre produtividade e conservação ambiental (LOSS et al., 2010), evitando processos erosivos e de desertificação pela diminuição das pressões ambientais sobre os componentes naturais (KOOHAFKAN et al., 2012). Além disso, podem contribuir em termos de diversidade agrossistêmica e outros serviços ambientais (MBOW et al., 2014).

No entanto, os SAFs precisam ser bem estruturados e planejados, uma vez que pode haver competitividade entre os componentes vegetais que impactam a produção, além de ter maior custo de implantação e monitoramento se comparado ao monocultivo. No entanto, os SAFs oferecem possibilidades, não só em termos de conservação, mas a diversificação da produção que possibilita a venda de madeira e produção de combustíveis (HABERMANN et al., 2016; CORSATO et al., 2016).

Os SAFs com palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) e leguminosas oferecem produção diversificada e contínua ao longo do ano, mesmo no semiárido tropical. A palma pode produzir 4 a 5 vezes mais matéria seca (MS) por milímetro de chuva do que plantas

C3 e C4 em condições de estresse hídrico, devido ao metabolismo ácido das crassuláceas (GUEVARA et al., 2011), servindo de alimento humano e animal (SANTOS et al., 2012). Além disso, as leguminosas do sistema fornecem fontes de proteína alternativa para ruminantes e proporcionam maior ciclagem de nutrientes e retorno para o solo, além de promover a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (GUPTA et al., 2019). Essas características tornam os SAFS de palma com leguminosas um modelo agrícola promissor na aliança entre produção agrícola e conservação ambiental (AYRES e RIBEIRO, 2010).

Tão importante quanto a diversificação da produção é proporcionar às culturas agrícolas condições para o seu melhor desenvolvimento, contribuindo para uma produção sustentável e economicamente viável (DONATO et al., 2017). A palma produz mesmo em condições de baixa umidade e solos com baixa concentração de nutrientes, contudo seu potencial produtivo pode ser maximizado quando as relações nutricionais são adequadas e proporcionam desenvolvimento normal das plantas, fator que pode ser alcançado com a adubação (TEIXEIRA et al., 2019).

Por outro lado, os esterco de animais são, dentre os resíduos orgânicos para adubação, os mais importantes e tradicionais, devido à sua composição, benefícios da aplicação e disponibilidade relativa (AZEEZ et al., 2010). No entanto, o adubo orgânico adicionado ao solo pode ter efeito imediato e/ou residual, a depender do grau de decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes. A velocidade de decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos podem interferir diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas (FREITAS et al., 2012).

Uma vez que os SAFs podem elevar o teor de matéria orgânica e modificar a fertilidade do solo quando comparado ao sistema em monocultivo, objetivou-se avaliar as características químicas e o fracionamento da matéria orgânica do solo em sistema agroflorestal de palma forrageira com leguminosas no semiárido tropical.

Material e Métodos

Descrição do local e implantação do experimento

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Caruaru, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco, IPA, situado a S8° 14', 35° 55' W, numa altitude

de 575 m. A precipitação média anual é de 686 mm. O clima segundo a classificação de Thornthwaite é do tipo Dd'a' (semiárido megatérmico). O solo da área experimental é classificado como NEOSSOLO regolítico (EMBRAPA, 2013). A caracterização química da amostra do solo: pH (H₂O) = 4,7; Ca₂⁺ = 1,85 cmolc dm⁻³; Mg₂⁺ = 0,42 cmolc dm⁻³, K⁺ = 0,15 cmolc dm⁻³; Na⁺ = 0,07 cmolc dm⁻³; Al₃⁺ = 0,27 cmolc dm⁻³; P = 19,5 mg dm⁻³ e matéria orgânica = 16,5 g kg⁻¹ (MIRANDA 2018).

A implantação do experimento ocorreu em março de 2011, primeiramente, com o plantio da palma IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). Posteriormente, em agosto do mesmo ano, ocorreu o transplante das mudas de leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] e gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.]. As sementes de gliricídia e leucena foram provenientes dos municípios de Taperoá, na Paraíba, e de Arcoverde, em Pernambuco, respectivamente, conforme descrito por Saraiva (2014).

Tratamentos e delineamento experimental

Foram comparados três sistemas produtivos de palma: i) cultivo da palma forrageira cv. IPA Sertânia isolado; ii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de gliricídia; iii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de leucena. Em cada um desses sistemas foram aplicados anteriormente quatro tipos de adubo orgânico: cama de frango (CF), esterco caprino (EC), esterco ovino (EO) e esterco bovino (EB). Para comparação dos três sistemas produtivos, o delineamento foi parcela subdividida em blocos ao acaso, com quatro repetições por tratamento. A parcela principal foi formada pelos diferentes sistemas de cultivo e media 27 x 16 m. A subparcela foi formada pelo tipo de adubo orgânico e media 27 x 4 m (Figura 1). Quando apenas os SAFs foram comparados, foi adicionado outro fator, que foi a distância que a palma foi amostrada em relação à linha de plantio das leguminosas arbóreas. Assim, nesse caso o delineamento foi de parcela sub-subdividida em faixas.

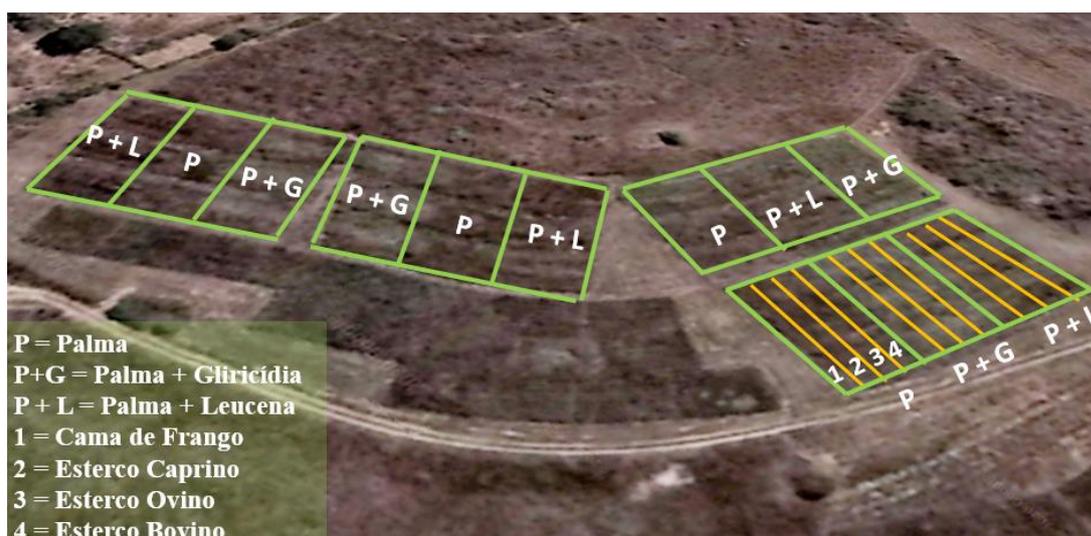


Figura 1. Croqui da área experimental delimitando as parcelas principais e subparcelas.

Fonte: Google Earth

Manejo experimental

A média histórica de adubação da área compreende quatro tipos de esterco (Tabela 1). As referidas adubações foram realizadas anualmente desde fevereiro de 2012, tendo como base o teor de nitrogênio (N), atendendo a recomendação de 200 kg N ha⁻¹.

Tabela 1. Teores de matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) de cada fonte de esterco, em março de 2015

Esterco	MO	N	P	K
	g kg ⁻¹			
Bovino	425	12,67	5,77	14,76
Caprino	550	16,33	5,87	10,66
Ovino	575	16,65	7,20	13,1
Cama de frango	875	29,33	21,53	17,42

Desde janeiro de 2017, a adubação aplicada foi apenas esterco bovino (MO= 412 g kg⁻¹; N= 15 g kg⁻¹; P = 4,9 g kg⁻¹; K = 14,9 g kg⁻¹) em toda área, anualmente, ocorrendo no início do período chuvoso e baseado no teor de N total do esterco, correspondendo à recomendação de 200 kg N ha⁻¹. Também anualmente foi realizado roço na área

experimental e todo material vegetal proveniente deste roço foi utilizado como cobertura morta no sistema.

Avaliações no campo e análises laboratoriais

Em agosto de 2017 foram coletadas amostras compostas de solo em dois pontos nas parcelas em consórcio (entre a palma e entre a fila dupla das leguminosas) e nas parcelas com palma solteira apenas entre a palma. A coleta foi realizada utilizando um trado manual nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm.

As amostras foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas (2 mm) e acondicionadas em sacos identificados, sendo em seguida realizadas análises químicas nas amostras de solo, conforme mencionadas a seguir: fósforo (P) por Mehlich⁻¹, potencial hidrogeniônico (pH em H₂O), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por alumínio (m), carbono orgânico (CO) e matéria orgânica (MO), pelo método descrito pela Embrapa (2011).

O fracionamento físico da matéria orgânica (MO) foi realizado por meio do método densimétrico, segundo metodologia de Meijboom et al. (1995) adaptada por Dubeux et al. (2006), na profundidade de 0-5 cm.

Análise estatística

Foram realizadas dois tipos de análises de dados, uma considerando apenas as parcelas em consórcio com os pontos de coleta entre a palma e a leguminosa e a outra análise considerando todas as parcelas, nos pontos de coleta de palma.

A análise de variância foi realizada usando PROC MIXED do SAS (SAS, 1999). Para a análise dos pontos de coleta nos SAFs, os efeitos fixos foram o sistema de cultivo, distância dos pontos e fontes de adubo. Na comparação dos três sistemas, os pontos de coleta com diferentes distâncias das árvores nos SAFs não foram considerados, tendo sido obtida a média dos diferentes pontos, para comparação com a palma em monocultivo. Em ambos os casos, o bloco foi analisado como efeito aleatório. Quando o teste F foi significativo, as médias dos quadrados mínimos (LSMEANS) foram comparadas usando o procedimento PDIF do SAS ajustado para Tukey ($P < 0.05$).

Resultados e Discussão

Consórcios palma-leguminosa (0-5 cm de profundidade)

O fósforo (P) encontrado no solo (Tabela 2) foi sempre inferior próximo às filas duplas das leguminosas, em relação ao ponto de coleta na palma, porém apenas para as áreas que receberam a adubação anterior com esterco caprino houve diferença significativa. Sabe-se que a presença das árvores adiciona nutrientes ao solo através da serapilheira e além disso, suas raízes podem atingir as camadas mais profundas, recuperando dessa forma os nutrientes lixiviados (MICCOLIS et al., 2016). No entanto, esse fato do P estar em menor disponibilidade entre as leguminosas pode estar ligado a necessidade de P requerido por essas plantas para suprir as demandas de crescimento, bem como processos relacionados à fixação biológica (SILVA et al., 2019).

Tabela 2. Teores de fósforo (P), sódio (Na) e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 0-5 cm, Caruaru, PE

Estercos	P (mg dm ⁻³)		Na (cmol _c dm ⁻³)		CTC (cmol _c dm ⁻³)	
	Leguminosa	Palma	Leguminosa	Palma	Leguminosa	Palma
CF	110,0 aA	112,5 abA	0,14 aA	0,25 aA	7,03 aA	7,16 bA
EB	85,0 aA	97,5 bA	0,15 aA	0,16 aA	6,93 aA	7,50 bA
EC	77,5 a B	235,0 aA	0,11 aB	0,24 aA	7,16 aB	9,84 a A
EO	77,5 aA	92,5 bA	0,14 aA	0,13 aA	7,31 aA	7,44 bA
EPM	31,53		0,03		0,49	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro de cada variável, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0.05$) e e pelo teste F ($p < 0.05$, respectivamente).

CF = cama de frango; EB = esterco bovino; EC = esterco caprino; EO = esterco ovino

EPM= erro padrão da média.

Também foi encontrada diferença significativa para o P no solo entre os esterco previamente utilizados (Tabela 2) no meio da palma. A aplicação de esterco caprino resultou em maior quantidade de P no solo, comparado aos demais esterco, não diferenciando-se da cama de frango, seguindo o mesmo padrão de comportamento dos dados para a CTC. Dentre os esterco utilizados, a cama de frango apresentou maior teor de nitrogênio (Tabela 1), por isso esse esterco foi utilizado em menores quantidades, podendo ter disponibilizado menor quantidade dos outros macronutrientes. O esterco caprino, por outro lado, foi utilizado em maior quantidade, podendo ter incorporado maior quantidade dos demais nutrientes e favorecido a solução do solo na parcela em questão. Comportamento similar foi observado (Tabela 2) para o Sódio (Na) e a capacidade de

troca de cátions (CTC). Tal resultado pode estar associado a quantidade de N fixado simbioticamente pelas leguminosas e que pode promover desbalanço na proporção de cátions/ânions, passando a planta a absorver mais cátions (SOUZA et al., 2010).

Ainda na análise química do solo de 0-5 cm (Tabela 3), considerando apenas as parcelas em consórcio com as leguminosas, observou-se diferença significativa para o pH, onde o tratamento com a palma + gliricídia apresentou maiores valores do que palma + leucena, o que pode ser explicado pelo mesmo comportamento observado para a saturação por bases, ou seja, maior quantidade de cátions básicos trocáveis associaram-se a valores de pH mais básicos.

Quanto à acidez potencial (Tabela 3), o solo do sistema palma + leucena apresentou maiores valores, o que está diretamente associado ao pH, pois quanto mais baixo o pH, maiores os valores de H+Al. De acordo com Silva et al. (2013), essa acidificação pode estar ligada a maior absorção de cátions por parte dessa leguminosa, liberando mais H+ para a solução do solo, combinada com a menor absorção de nitrato por causa da fixação simbiótica de nitrogênio. Miranda (2018) observou diminuição da acidez do solo à medida que se aumentava a distância das leguminosas, atribuindo esse fato à deposição de serapilheira, que apresentou menor relação C/N, indicando que a serapilheira dessa leguminosa possui maior taxa de decomposição e mineralização.

A presença do K (Tabela 3) em maior quantidade no tratamento de palma + leucena, pode indicar que esse nutriente se encontrava retido fortemente aos colóides do solo (RONQUIM, 2010). Outra consideração é que esses valores de K no solo em maior quantidade na leucena indicam menor extração desse nutriente do solo por parte da planta. Saraiva (2014) avaliou a biomassa de leguminosas em consórcio com palma forrageira na mesma área experimental do presente trabalho e observou que a biomassa de gliricídia foi 38,2% maior, em relação à leucena, logo a gliricídia pode ter requerido maior quantidade de K para seu desenvolvimento.

Por outro lado, apesar da maior produção por parte da gliricídia e maior deposição de serapilheira, Miranda (2018) observou que a leucena contribuiu com maior quantidade de N via deposição de serapilheira do que a gliricídia. Silva et al. (2013), em sistema silvipastoril com leguminosas arbóreas e braquiária, também observaram pH mais ácido na faixa das leguminosas (pH~5,0) do que nas faixas com braquiária (pH~5,3) a 2,5 e 5,0 m de distância das leguminosas.

Tabela 3. Potencial hidrogeniônico (pH) e teores de potássio (K), acidez potencial (H+Al) e saturação por bases (V) do solo sob SAF de palma IPA-Sertânia com leguminosas na profundidade de 0-5 cm, Caruaru, PE

Tratamentos	pH	K ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)	H+Al ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)	V (%)
Palma + gliricídia	5,3 a	0,30 b	2,7 b	62,5 a
Palma + leucena	5,1 b	0,35 a	3,1 a	57,9 b
EPM	0,12	0,03	0,15	3,12

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste F ($p < 0.05$).

Tabela 4. Teores de cálcio (Ca) e soma de bases (SB) do solo sob SAF de palma IPA-Sertânia e leguminosas na profundidade de 0-5 cm, Caruaru-PE

	Ca ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)	SB ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)
Estercos		
Cama de frango	2,5 b	4,1 b
EB	2,6 ab	4,3 ab
EC	3,7 a	5,7 a
EO	2,8 ab	4,5 ab
EPM	0,33	0,49
Local de coleta		
Palma	3,2 a	5,0 a
Leguminosa	2,6 b	4,2 b
EPM	0,27	0,43

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas, dentro de cada variável, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0.05$) e e pelo teste F ($p < 0.05$), repectivamente.

CF = cama de frango; EB = esterco bovino; EC = esterco caprino; EO = esterco ovino.

Para o cálcio e soma de bases do solo (Tabela 4), houve efeito significativo, tanto em relação aos esterco, quanto em relação aos pontos de coleta de solo. O cálcio apresentou comportamento semelhante a soma de bases, uma vez que este nutriente faz parte da soma de bases. Observou-se que o esterco caprino foi superior a cama de frango, ambos não diferindo do esterco bovino e ovino. Comportamento semelhante foi encontrado por Miranda (2018) que trabalhou na mesma área experimental e observou menores valores de Ca nos tratamentos adubados com cama de frango, atribuindo esse fato à menor quantidade deste esterco aplicado ao solo e, provavelmente, em função do maior efeito residual dos outros esterco.

Consórcios palma-leguminosa (5-20 cm solo)

Houve diferença significativa quanto aos locais de coleta para o P e Na (Tabela 5), onde no ponto de coleta entre as linhas da palma as concentrações desses elementos foram maiores, sendo o mesmo comportamento apresentado na análise de 0-5 cm (Tabela 2).

Tabela 5. Teores fósforo (P) e sódio (Na) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm: Caruaru, PE

Local de coleta	P ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)	Na ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)
Palma	73,3 a	0,31 a
Leguminosa	53,7 b	0,16 b
EPM	5,30	0,03

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas, dentro de cada variável, não diferem pelo teste F ($p < 0.05$).

Observou-se interação significativa entre os tratamentos e os locais de coleta do solo para o pH (Tabela 6). Para o ponto de coleta da palma, o pH apresentou-se mais ácido no tratamento de palma + leucena, do que com gliricídia, seguindo o mesmo comportamento a 0-5cm (Tabela 3). Essa diferença, no entanto, não se apresentou no ponto de coleta de leguminosas. Para o tratamento Palma + gliricídia houve efeito significativo entre os locais de coleta, sendo que entre as leguminosas o pH foi mais ácido que entre a Palma. Como já mencionado anteriormente, essa diferença pode estar associada a acidificação do solo por parte das leguminosas.

Em relação ao alumínio e saturação por alumínio (Tabela 4), foi possível observar a complementação das informações em relação ao pH, uma vez que a solubilidade desse elemento aumenta em pH abaixo de 5,5. O Al é um elemento anfótero que pode atuar como cátion em meio ácido e como ânion em meio básico, sendo o pH o principal fator que controla a sua disponibilidade no solo (CUNHA et al., 2015). Assim, essa situação pode se configurar como fator limitante ao crescimento das plantas, pois reduz o crescimento e desenvolvimento das raízes, afetando a absorção de nutrientes (ECHART e CAVALLI-MOLINA, 2001).

Quanto aos teores de carbono orgânico (CO), observou-se diferença significativa no tratamento Palma + gliricídia e os pontos de coleta (Tabela 6), onde entre a palma foi encontrada maior quantidade de CO no solo. De acordo com Pezzopane et al. (2005), as leguminosas podem aumentar os teores de CO no solo, pela deposição da serapilheira. Essa observação é especialmente verdadeira em se tratando da gliricídia, que de acordo

com Miranda (2018), produziu maior quantidade de serapilheira que a leucena, contribuindo com o maior aporte de matéria orgânica ao solo. No entanto, a serapilheira da leucena apresentou maior taxa de decomposição e mineralização, o que pode explicar o fato de que entre a leucena e a palma não houve diferença significativa para o CO no solo. Vale ressaltar ainda que de forma geral, as plantas podem atuar como drenos de carbono (C), tendo potencial de aumentar o sequestro de C, tanto acima quanto abaixo do solo (NAIR et al., 2014), especialmente nesse caso para as leguminosas em questão (arbóreas) pela necessidade de C requerida para sustentação de seus tecidos vegetais.

Tabela 6. Potencial hidrogeniônico (pH) e teores de alumínio (Al), saturação por alumínio (m) e carbono orgânico (C) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, Caruaru, PE

Local de coleta	Palma + gliricídia	Palma + leucena	EPM
	pH		
Palma	5,3 Aa	5,0 Ba	0,08
Leguminosa	5,0 Ab	5,1 Aa	
	Al (cmol _c dm ⁻³)		
Palma	0,06 Ab	0,15 Aa	0,01
Leguminosa	0,09 aA	0,08 Ab	
	m (%)		
Palma	1,83 Ba	3,66 Aa	0,50
Leguminosa	2,46 Aa	2,23 Ab	
	CO (%)		
Palma	1,17 aA	1,09 aA	0,06
Leguminosa	0,94 bA	1,08 aA	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro de cada variável, não diferem pelo teste F ($p < 0.05$).

Os teores de Mg, H+Al e CTC (Tabela 7) apresentaram comportamento similar aos observados nas análises químicas do solo de 0-5 cm, levando a confirmação de que nos tratamentos com leucena houve maior acidificação do solo, quando comparado com os demais tratamentos.

Tabela 7. Teores de magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, em Caruaru, PE

Tratamentos	Mg ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)	H+Al ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)	CTC ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)
Palma + gliricídia	1,06 b	2,79 b	6,66b
Palma + leucena	1,38 a	3,15 a	7,22 a
EPM	0,07	0,11	0,30

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas, dentro de cada variável, não diferem pelo teste F ($p < 0.05$).

Houve diferença significativa para a matéria orgânica do solo de 5-20 cm (Tabela 8) na gliricídia, onde o esterco caprino foi superior a cama de frango, mas não diferiu do esterco bovino e ovino. As áreas que receberam cama de frango, dos estercos utilizados, foi a que apresentou maiores teores de nitrogênio, requerendo menor quantidade de esterco para cumprir a necessidade total planejada. No entanto, para o tratamento com leucena não houve diferença significativa, apesar de ser utilizada mesma quantidade de esterco. Dessa forma, é possível que a quantidade de cobertura morta proveniente das plantas invasoras possa ter interferido nesse resultado.

Tabela 8. Teores de matéria orgânica (MO) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, Caruaru, PE

Estercos	Palma + gliricídia	Palma + leucena
CF	1,62 Ab	1,89 Aa
EB	1,80 Aab	1,95 Aa
EC	2,00 Aa	1,81 Aa
EO	1,89 Aab	1,86 Aa
EPM	0,09	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro de cada variável, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0.05$) e e pelo teste F ($p < 0.05$, respectivamente).

CF = cama de frango; EB = esterco bovino; EC = esterco caprino; EO = esterco ovino

Palma em monocultivo vs. sistemas agroflorestais (solo 0-5 cm)

Observou-se diferença significativa para o Na (Tabela 9), onde a cama de frango apresentou maiores teores do que o esterco ovino, mas ambos não diferiram do esterco caprino e bovino. O Na é um dos componentes de salinização do solo, podendo causar diminuição na disponibilidade de nutrientes, sendo necessário cuidados na adubação, pois o manejo inadequado dos fertilizantes na atividade agrícola são um dos principais responsáveis por esse problema (RIBEIRO et al., 2009). De acordo com Cavalcante et al.

(2010), sais de sódio em maior quantidade podem trazer prejuízos às propriedades físicas e químicas do solo, provocando a redução do crescimento das plantas cultivadas.

Nesse sentido, Miranda et al. (2019) observaram valores de menores produção de matéria seca na palma forrageira IPA Sertânia, para a adubação com cama de frango, quando comparados com esterco caprino, ovino e bovino, o que pode estar ligado a esses maiores valores de Na no solo e que poderiam influenciar negativamente na produtividade da cultura.

No entanto, os valores de Na encontrados na presente pesquisa não chegam a ser tóxicos para solo (a saturação foi em torno de $4,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, de Na), uma vez que não excedem 5% da saturação de bases (CLANCY, 213). De acordo com Sonon et al (2012) é necessário combinar medições de vários indicadores no solo para detectar salinização. Esses autores consideram <15% na saturação de bases normal, desde que a condutividade elétrica seja < 4 mmhos/cm, o que não foi avaliado nesse estudo.

Tabela 9. Teores de Sódio (Na) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 0-5 cm, Caruaru, PE

Tratamentos	Na ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
CF	0,24 a
EB	0,19 ab
EC	0,21 ab
EO	0,13 b
EPM	0,02

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

CF = cama de frango; EB = esterco bovino; EC = esterco caprino; EO = esterco ovino.

Observou-se diferença significativa para os teores de H+Al (Tabela 10), onde a palma da parcela em consórcio com a leucena apresentou maiores valores de H+Al que na parcela de palma em monocultivo, não diferindo da parcela de palma em consórcio com a gliricídia. Esse comportamento foi semelhante a análise do solo entre as filas duplas de leguminosas (Tabela 3).

Tabela 10. Teores de acidez potencial (H+Al) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 0-5 cm, em Caruaru, PE

Tratamento	H+Al (cmol _c dm ⁻³)
Palma + gliricídia	2,71 ab
Palma + leucena	3,15 a
Palma em monocultivo	2,62b
EPM	0,18

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p<0.05).

Não foi encontrada diferença significativa para os teores de CO do solo entre os sistemas de cultivo, apresentando valores de 1,13% para palma + leucena, 1,00% para palma + gliricídia e 1,08% para palma solteira. Possivelmente os esterços e cobertura morta a partir do roço de plantas indesejáveis podem ter sido responsáveis pelo estoque e manutenção da matéria orgânica no solo.

Palma em monocultivo vs. sistemas agroflorestais (solo 5-20 cm)

Houve diferença significativa para o Al nas parcelas adubadas com esterco caprino (Tabela 11). O solo do sistema palma + leucena apresentou maiores valores de Al que a palma + gliricídia, não diferindo, contudo, da palma em monocultivo, sendo o mesmo comportamento apresentado para a acidez potencial na análise de 0-5 cm (Tabela 7).

Tabela 11. Teores de alumínio (Al) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, Caruaru, PE

Esterços	Al (cmol _c dm ⁻³)		
	Palma + gliricídia	Palma + leucena	Palma em monocultivo
CF	0,10 Aa	0,12 Aa	0,05 Aa
EB	0,10 Aa	0,20 Aa	0,05 Aa
EC	0,05 Ba	0,22 Aa	0,15 Aba
EO	0,02 Aa	0,07 Aa	0,07 Aa
EPM		0,03	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro de cada variável, não diferem pelo teste de Tukey (p<0.05).

CF = cama de frango; EB = esterco bovino; EC = esterco caprino; EO = esterco ovino

Para os teores de Mg, H+Al e CTC (Tabela 12) houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados, apresentando mesmo comportamento da análise somente considerando os pontos de coleta de leguminosas (Tabela 7). O tratamento palma +

leucena apresentou maiores valores dessas variáveis quando comparadas com palma + gliricídia e palma em monocultivo, reafirmando a maior acidificação do solo por parte do tratamento com leucena.

Não foi encontrada diferença significativa para os teores de CO do solo entre os sistemas de cultivo, apresentando valores de 1,95% para palma + leucena, 1,72% para palma + gliricídia e 1,86% para palma em monocultivo, possivelmente sob influência do material oriundo dos tratos culturais do roço, que pode ter promovido quantidade suficiente de carbono para equiparar os sistemas em questão.

Tabela 12. Teores de magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 5-20 cm, Caruaru, PE

Tratamentos	Mg ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)	H+Al ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)	CTC ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$)
Palma + gliricidia	1,02 b	2,77 b	6,69 b
Palma + leucena	1,35 a	3,28 a	7,43 a
Palma em monocultivo	1,11 ab	2,66 b	6,63 b
EPM	0,09	0,14	0,25

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas, dentro de cada variável, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

Fracionamento da matéria orgânica (MO)

Não houve diferença significativa em relação ao peso da fração leve, apresentando valores médios de $78,9 \text{ mg kg}^{-1}$ para o tratamento de palma + leucena, $57,8 \text{ mg kg}^{-1}$ para palma + gliricídia e $62,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para palma em monocultivo. De acordo com Strosser (2010), a fração leve da MO é de rápida decomposição, sensível às alterações de manejo do solo, como plantio e adubação. Logo, é possível que os esterco utilizados tenham funcionado como fatores de equilíbrio do solo, mesmo em diferentes tratamentos.

Como discutido anteriormente, a área experimental foi submetida a roço e o material das plantas indesejáveis foi usado como cobertura morta do solo, sendo gramíneas e leguminosas.

Além disso, a quedas das folhas da leucena e gliricídia podem ter contribuído com velocidade de liberação de nutrientes dos resíduos culturais durante o processo de

decomposição, já que possuem baixa relação C/N, o que favorece a mineralização dos nutrientes dos resíduos (THONNISEN et al., 2000).

De acordo com Ribeiro et al. (2004), o acúmulo de fração leve pode ser favorecido em solos continuamente vegetados com elevado retorno da palhada e outros materiais vegetais.

Não foi observada diferença significativa para o peso da fração pesada da MO entre os tratamentos estudados, apresentando valores de 3,9 g kg⁻¹ para o tratamento de palma + leucena, 3,8 g kg⁻¹ para palma + gliricídia e 3,3 g kg⁻¹ para palma em monocultivo. De acordo com Freixo et al. (2002), este é um comportamento típico dessa fração da MO do solo, por ser mais estável às mudanças decorrentes do manejo, em virtude da sua íntima associação com a fração mineral do solo.

Foi encontrada diferença significativa em relação aos esterços (Tabela 13). Observou-se que as parcelas adubadas com cama de frango apresentaram maior peso na fração pesada do que o esterco bovino, não diferindo dos esterços caprino e ovino. Esse comportamento pode ser explicado pela quantidade de MO dos esterços aplicados. Além disso, a maior quantidade de N da cama de frango (Tabela 1) pode ter favorecido a decomposição do material vegetal senescente e/ou cobertura morta.

Tabela 13. Quantidade de matéria orgânica (MO) da fração pesada no solo sob SAF de leguminosas e palma IPA-Sertânia na profundidade de 0-5 cm, em Caruaru, PE

Esterços	Fração pesada (g kg ⁻¹)
CF	4,4 a
EB	3,6 b
EC	4,0 ab
EO	3,8 ab
EPM	0,18

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey (p<0.05).

CF = cama de frango; EB = esterco bovino; EC = esterco caprino; EO = esterco ovino

Conclusões

As leguminosas arbóreas demandam maior fertilidade do solo para suportar o maior crescimento dessas plantas, especialmente no que diz respeito ao P e K, sendo o consórcio com a gliricídia mais exigente em termos de fertilidade do solo.

Os consórcios apresentaram solos com maiores concentrações de sais de sódio e íons acidificante que a palma em cultivo isolado, sendo a leucena a leguminosa que se destacou neste aspecto.

As características ligadas a composição química dos esterco, ainda que sob efeito residual desses adubos, influenciaram a características químicas do solo estando associado a quantidade de adubo utilizada.

Referências

AYRES, E. C. B.; RIBEIRO, A. E. M. Inovações agroecológicas no Nordeste de Minas Gerais: o caso dos sistemas agroflorestais na agricultura familiar do alto Jequitinhonha. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 12, n. 3, p. 344-354, 2010.

AZEEZ, J. O. et al. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and night shade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 5645-5651, 2010.

CAVALCANTE, L. F. et al. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.1281- 1290, 2010.

CLANCY, K. 2013. Plant and soil sciences e library, Sodium affected soils. Disponível: www.fusionfert.com

CORSATO, J. M. et al. Estresse oxidativo mediado por aleloquímicos e suas implicações na germinação e crescimento inicial de plantas. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 5, n. 5, p. 136–150, 2016.

CUNHA, G. O. M. et al. Formas de Alumínio em Solos Ácidos Brasileiros com Teores Excepcionalmente Altos de Al³⁺ Extraível com KCl. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 39, p. 1362-1377, 2015.

DONATO, S. L. R. et al. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira ‘Gigante’. **Informe Agropecuário**, v. 38, n. 296, p. 46-58, 2017

DUBEUX JR, J.C.B. et al. Management intensity affects density fractions of soil organic matter from grazed bahiagrass swards. **Soil Biology and Biochemistry** v.38, p.2705–2711, 2006.

ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Revista Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 531-541, 2001.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMBRAPA. Sistemas brasileiros de classificação dos solos. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA-SPI, 2013. 353 p.

FREITAS, M.S.C. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de esterco em função da profundidade e do tempo de incorporação. **Revista Semiárido De Visu**, v. 2, p.150-161, 2012.

FREIXO, A. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.26, p.425-464. 2002

GUEVARA, C. et al. Productivity, cold hardiness and forage quality of spineless progeny of the *Opuntia ficus-indica* 1281 × *O. lindheimerii* 1250 cross in Mendoza plain, Argentina. **Journal of Professional Association for Cactus Development**, v.13, p. 48-62, 2011.

GUPTA, D.K. et al. Carbon sequestration potential of *Hardwickia binata* Roxb. based agroforestry in hot semi-arid environment of India: An assessment of tree density impact. **Current Science**, v. 116, p. 112-116. 2019.

HABERMANN, E. et al. Phytotoxic potential of young leaves from *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg (*Myrtaceae*). **Braz. J. Biol. Braz. Journal of Biology**, v. 76, p. 531–538, 2016.

KOOHAFKAN, P et al. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 10, p. 61-75, 2012.

LOSS, A. et al. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p.: 57-64, 2010.

MBOW, C. et al. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p. 61-67, 2014.

MEIJBOOM, F.W. et al. Density fractionation of soil macro organic matter using silica suspensions. **Soil Biology Biochemistry.**, v. 2, p.1109-1111. 1995.

MICCOLIS, A. et al. **Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção - opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília: ICRAF, 2016. 266 p.

MIRANDA, K. R. **Contribuição de leguminosas arbóreas em consórcio com palma forrageira fertilizada com diferentes esterco**s. 2018. 80p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE.

MIRANDA, K. R. et al. Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, v.49, 2019.

MONTANO, N. M. et al. Armazéns e fluxos de carbono em ecossistemas áridos e semiáridos do México: Resumo e perspectivas. **Terra Latinoamericana**, v.34, p.39-59. 2016.

NAIR, P. K. R. Grand challenges in agroecology and land use systems. **Front. Environmental Science**. v. 2, p.1–4. 2014.

PEREIRA FILHO, J. M. et al. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, n.1, p.77-90, 2013.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, v 74, p. 110-119, 2015.

RIBEIRO, M. R. et al. **Química dos solos salinos e sódicos**. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). Química e mineralogia do solo. Parte II – Aplicações. Sociedade Brasileira de Ciências do solo. 2009.

RIBEIRO, E. F. M. et al. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, p. 731-737 , 2004.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Monitoramento por Satélite. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 8, Campinas – SP. 2010, 26 p.

SALIN, T. C. et al. Caracterização de sistemas agrícolas produtivos no semiárido brasileiro como bases para um planejamento agroflorestal. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.109-118, 2012.

SANTOS, D. C. E. et al. Usos e aplicações da palma forrageira. In: LOPES, E. B. **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino**. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2012. p. 99-150.

SARAIVA, F. M. **Desenvolvimento e acúmulo de nutrientes de palma forrageira (*Nopalea*) em diferentes sistemas de cultivo**. 2014. 104p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE.

SAS. Inst. Inc. SAS statistics user's guide. Release version 6. SAS Ins. Inc., Cary, NC. 1999.

SILVA, A. B. et al. Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 502-511, 2013.

SILVA, E. M. et al. Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.9, n.2, p.67-77, 2019.

SONON, L.S. et al. Soil Salinity Testing, Data Interpretation and Recommendations; University of Georgia: Athens, GA, USA, 2012; pp. 1–6.

SOUZA, L. H. et al. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Brady rhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, p. 1641-1652, 2010.

STROSSER, E. Methods for determination of labile soil organic matter: an overview. **Journal of Agrobiology**, v.27, p.49-60, 2010.

TEIXEIRA, M. B. et al. Establishment of DRIS norms for cactus pear grown under organic fertilization in semiarid conditions. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 952 – 959, 2019.

THONNISSEN, C., D.J. et al. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. **Agronomy Journal**. v. 92, p.253–260.

CAPÍTULO 3

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE PALMA FORRAGEIRA E LEGUMINOSAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO TROPICAL

Produção de matéria seca e características morfológicas de palma forrageira e leguminosas sob Sistemas Agroflorestais no Semiárido Tropical

Resumo: A utilização de espécies forrageiras como palma e leguminosas arbóreas em consórcio adaptadas às condições de clima e solo da região é uma alternativa promissora para aumentar a produção de forragem e garantir a alimentação dos rebanhos durante o período de menor oferta de alimentos no semiárido tropical. Objetivou-se avaliar a produção e características morfológicas da palma forrageira e leguminosas em Sistemas Agroflorestais (SAFs). Foram comparados dois sistemas de consórcio e um monocultivo: i) cultivo da palma forrageira cv. IPA Sertânia isolado (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) - palma; ii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.] – palma + gliricídia; iii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] – palma + leucena. O delineamento foi blocos casualizados em parcela subdividida, com quatro repetições. A parcela principal constituiu o sistema de produção e a subparcela foi formada por tipo de adubação orgânica. Quando apenas os SAFs foram comparados, houve a adição de outro fator que foi a distância que a palma foi amostrada em relação às leguminosas, sendo nesse caso usado o delineamento de parcelas sub-subdivididas em faixa. A área experimental tem histórico de adubação em 2013 com quatro tipos de esterco (cama de frango, esterco caprino, esterco bovino e esterco ovino). Em janeiro de 2017 toda área foi adubada com esterco bovino apenas, sendo no presente trabalho consideradas para análises as adubações anteriores devido aos possíveis efeitos residuais. Foram mensuradas e coletadas para análise de matéria seca (MS) cinco plantas de palma por subparcela, em três diferentes distâncias: 0, 2 e 4 m de distância da fila dupla central das leguminosas. As árvores foram mensuradas quanto a largura, altura, número de fustes e diâmetro da base. Três árvores foram coletadas para análise de MS de folhas e ramos finos, para cada espécie de leguminosa. Os dados obtidos para palma forrageira foram analisados sob dois aspectos: 1. Comparando os sistemas em consórcio e a palma em monocultivo; 2. Comparando apenas os sistemas em consórcio e considerando as distâncias das leguminosas. Os dados relacionados às leguminosas foram analisados comparando apenas os sistemas em consórcio. A palma em consórcio com leguminosas ou em monocultivo foi afetada pelo efeito residual dos adubos anteriormente empregados na área experimental, apresentando valores de altura e largura de 0,97 e 1,01; 1,02 e 1,02; e 0,99 e 0,91 m para palma + leucena, palma + gliricídia e palma, respectivamente. Para produção de matéria seca (PMS), foram observados valores de 24,0, 25,0 e 20,9 t ha⁻¹ 2 anos⁻¹ para palma + leucena, palma + gliricídia e palma, respectivamente. As características morfológicas e produtivas da palma forrageira sob consórcio com leguminosas foram influenciadas pelos sistemas adotados, distâncias da fila dupla de leguminosas e fontes de esterco, sendo apresentadas maiores alturas, larguras e produção para menores distâncias das leguminosas. Em relação às leguminosas, houve produção de 0,99 t MS ha⁻¹ano⁻¹ para a leucena e 1,06 t MS ha⁻¹ano⁻¹ para gliricídia. A altura das plantas apresentou média de 4,12 m para leucena e 4,06 m para Gliricídia e largura da planta de 1,87 m para leucena e 2,25 m para gliricídia. Tanto a leucena, quanto a gliricídia não apresentaram diferenças nos períodos avaliados, podendo ambas serem adotadas em SAFs com palma forrageira no semiárido tropical.

Palavras chaves: gliricídia, leucena, consórcio, morfologia, semiárido

Abstract: As a strategy to increase forage production and ensure livestock feeding during the period of lower feed supply in the tropical semiarid, the use of forage species such as forage cactus and tree legumes adapted to the climate and soil conditions of the region is a promising alternative. This research was conducted in order to analyze morphological and productive aspects of forage cactus and tree legumes in agroforestry systems (AFSs) contrasted with forage cactus in monoculture. Two intercropping systems and one monoculture were compared: i) forage cactus isolated cv. IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) - Cactus; ii) forage cactus cv. IPA Sertânia cultivation interspersed with double rows of gliricidia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.] – cactus + gliricidia; iii) forage cactus cv. IPA Sertânia cultivation interspersed with double rows of leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit.] – cactus + leucaena. The design was split-plot in randomized blocks with four replications. Main plot was the production system and the split-plot was the manure type. When only AFSs were analyzed, other factor was studied (cactus distance from tree legume row), using in this case the strip-split plot in RCB design. The experimental area has a history of fertilization in 2013 with four different manure types (chicken litter, goat manure, cattle manure and sheep manure). In January of 2017, all plots received cattle manure, however, previous organic amendment type was considered a factor due to possible residual effects. Cactus height and width were measured and samples collected for dry matter analysis (DM). Five cactus plants per subplot were sampled at three different distances: 0, 2, and 4 m from the legume central double row. Tree legume measurements included width, height, number of stems, and base diameter. Three trees of each legume species in the different subplots were collected for DM analyses of thin leaves and branches. The data obtained for forage cactus were analyzed under two aspects: 1. Comparing the intercropping systems and the single forage cactus; 2. Comparing only intercropping systems and considering legume distances. The legume data were analyzed comparing only the intercropping systems. Cactus in monoculture or in AFSs were affected by the residual effects of the fertilizers previously used in the experimental area, showing height and width values of 0.97 and 1.01m, 1.02 and 1.02 m, and 0.99 and 0.91 m for cactus + leucena, cactus + gliricidia and cactus, respectively. Dry matter production was 24.03, 25.02, and 20.89 t ha⁻¹ 2 years⁻¹ for cactus + leucena, cactus + gliricidia and cactus, respectively. Morphological and productive characteristics of forage cactus in AFSs were affected by the adopted system, legume double row distances and manure sources, with greater height, width and DM production observed near legume trees. Leucena produced 0.99 t DM ha⁻¹year⁻¹ and gliricidia 1.06 t DM ha⁻¹year⁻¹. Tree height averaged 4.12 m for leucena and 4.06 m for gliricidia, and plant width of 1.87 m for leucena and 2.25 m for gliricidia. Both leucena and gliricidia showed no differences in the evaluated periods, both of which can be adopted in forage cactus AFSs in tropical semiarid.

Key words: cactus, consortium, morphology, production, trees.

Introdução

As denominadas terras áridas incluem todas as regiões terrestres onde a produção agrícola e outros serviços ecossistêmicos são limitados pela água. De maneira geral, o semiárido tropical é caracterizado por ambientes onde a evapotranspiração é muito maior do que a precipitação, as temperaturas são altas e disponibilidade de nutrientes no solo é

baixa (MONTANO et al., 2016). Esses aspectos, aliados ao uso inadequado da terra e uso de plantas não adaptadas às características edafoclimáticas da região, tornam o semiárido uma zona susceptível à desertificação e degradação do solo (IWATA et al., 2012).

A palma forrageira (*Nopalea* e *Opuntia*) aparece como um importante cultivo, pois é adaptada ao clima semiárido por suportar longos períodos de seca (LEDO et al., 2019) e por apresentar o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) que lhe confere maior aproveitamento de água (SANTOS et al., 2012) e lhe permite produzir 4 a 5 vezes mais matéria seca (MS) (DEGU et al., 2009) por milímetro de chuva do que qualquer outro tipo de planta.

De acordo com Dubeux Júnior et al. (2017), os cladódios da palma são ricos em água, apresentam elevados valores de cinzas (que geralmente excedem 200 g kg^{-1} MS), altos níveis de carboidratos (600 g kg^{-1} MS) elevados teores de vitaminas A e C, mas são baixos em proteína bruta ($30 - 50 \text{ g kg}^{-1}$ MS) e fibra (fibra em detergente neutro entre 180 e 300 g kg^{-1} MS e fibra em detergente ácido entre 210 e 200 g kg^{-1} MS), sendo que sua utilização para animais precisa ser aliada a outras fontes alimentares (GUEVARA et al., 2011).

A extração de nutrientes em cultivos de palma forrageira é elevada, pois os cladódios são retirados da área onde são cultivados e fornecidos aos animais, não havendo em muitos casos reposição dos nutrientes, que combinado com erosão, tende a diminuir a produtividade após uso contínuo (DUBEUX JUNIOR et al., 2017).

Nesse sentido, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) com palma forrageira e leguminosas podem ser complementares, uma vez que oferecem proteína e fibra, além de aumentarem a disponibilidade de N via fixação biológica de nitrogênio ou a decomposição da serapilheira, raízes e nódulos (MIRANDA et al., 2019).

Algumas leguminosas arbóreas têm características adaptativas que permitem seu estabelecimento em regiões semiáridas, como a leucena [(*Leucaena leucocephala* Lam.) de Wit.] e a gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.]. Essas plantas apresentam alto teor de proteína bruta nas folhas (média de 18 a 30%) e elevada produção de biomassa (EDWARDS et al., 2012). No entanto, a serapilheira produzida pelas leguminosas, apesar de alto valor biológico, possui processos de decomposição e uniformidade variáveis (VENDRAMINI et al., 2014). Assim, considerando a exigência nutricional da palma forrageira, a adubação é estratégia de manejo fundamental para aumentar a eficiência da produção de forragem (RAMOS et al., 2011).

A palma apresenta uma grande resposta à adubação orgânica e vários estudos têm demonstrado o incremento na produção de matéria seca com esse tipo de adubação (SANTOS et al., 2010; DONATO et al., 2014; RAMOS et al., 2015). Adubos orgânicos quando adicionados ao solo podem ter efeito imediato e/ou residual, a depender do grau de decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes, que está interligado não apenas com sua composição química, mas também com fatores climáticos e bióticos do solo, além de fatores característicos do próprio material, como a espécie do animal que o originou (SILVA et al., 2014a).

Os SAFs com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio são alternativas viáveis de produção para ambientes semiáridos tropicais maximizando a produção através da ciclagem de nutrientes, provisão de microclima que podem aumentar a produção das culturas consorciadas, quando comparado ao sistema em monocultivo. Com esse estudo, objetivou-se analisar SAFs de palma forrageira e leguminosas em comparação com palma em monocultivo sob o ponto de vista produtivo e morfológico.

Material e Métodos

Descrição do local e implantação do experimento

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Caruaru pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco, IPA, situado a 8°14' S, 35°55' W e 575 m de altitude. A precipitação média anual é de 686 mm. O solo da estação experimental de Caruaru é classificado como neossolo regolítico. O clima segundo a classificação de Thornthwaite é do tipo Dd'a' (semiárido megatérmico). Os dados de precipitação mensal correspondente ao período experimental são mostrados na Figura 1, com um acumulado total de 653,1 mm nesse período.

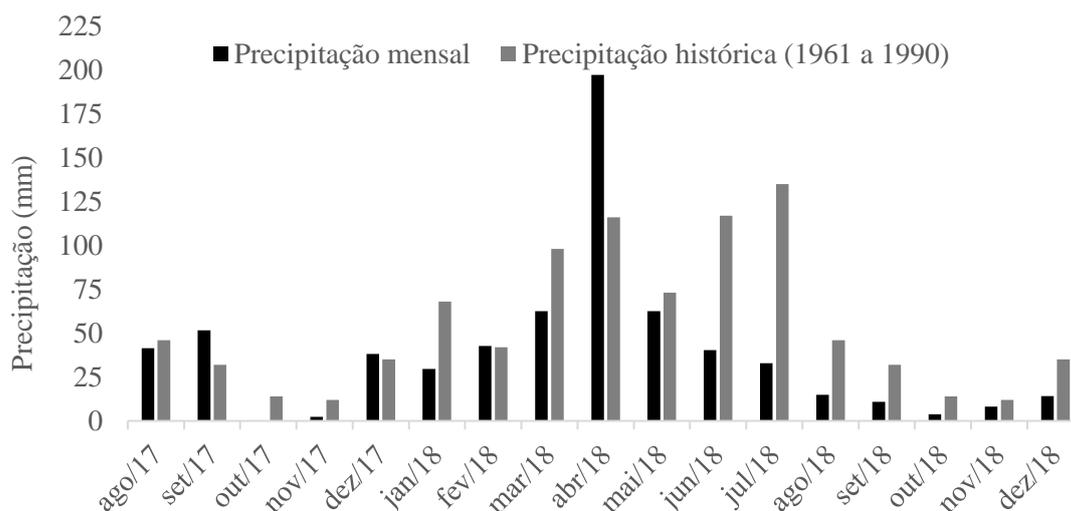


Figura 1. Precipitação pluvial mensal (mm) na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, em Caruaru, no período de agosto de 2017 a dezembro de 2018.

Fonte: APAC (2019).

O solo da área experimental é classificado como NEOSSOLO regolítico (EMBRAPA, 2013). A caracterização química da amostra do solo: pH (H₂O) = 4,7; Ca²⁺ = 1,85 cmolc dm⁻³; Mg²⁺ = 0,42 cmolc dm⁻³; K⁺ = 0,15 cmolc dm⁻³; Na⁺ = 0,07 cmolc dm⁻³; Al³⁺ = 0,27 cmolc dm⁻³; P = 19,5 mg dm⁻³ e matéria orgânica = 16,5 g kg⁻¹ (MIRANDA 2018).

A implantação do experimento ocorreu em março de 2011, primeiramente, com o plantio da palma IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) e, posteriormente, em agosto do mesmo ano, com o transplante das mudas de leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] e gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.]. As sementes de gliricídia e leucena foram provenientes dos municípios de Taperoá, na Paraíba, e de Arcoverde, em Pernambuco, respectivamente, conforme descrito por Saraiva (2014).

Tratamentos e delineamento experimental

Foram comparados três sistemas produtivos de palma: i) cultivo da palma forrageira cv. IPA Sertânia isolado; ii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de gliricídia; iii) cultivo de palma forrageira cv. IPA Sertânia intercalado com filas duplas de leucena. Em cada um desses sistemas foram aplicados anteriormente quatro tipos de adubo orgânico: cama de frango (CF), esterco caprino (EC),

esterco ovino (EO) e esterco bovino (EB). Para comparação dos três sistemas produtivos, o delineamento foi parcela subdividida em blocos ao acaso, com quatro repetições por tratamento. A parcela principal foi formada pelos diferentes sistemas de cultivo e media 27 x 16 m. A subparcela foi formada pelo tipo de adubo orgânico e media 27 x 4 m. Quando apenas os SAFs foram comparados, foi adicionado outro fator, que foi a distância que a palma foi amostrada em relação à linha de plantio das leguminosas arbóreas. Assim, nesse caso o delineamento foi de parcela sub-subdividida em faixas.

Manejo experimental

A média do histórico de adubação da área compreende quatro tipos de esterco, conforme descritos a seguir: 1. Esterco bovino (MO = 425 g kg⁻¹; N= 12,67 g kg⁻¹; P = 5,77 g kg⁻¹; K = 14,76 g kg⁻¹); 2. Esterco caprino (MO = 550 g kg⁻¹; N= 16,33 g kg⁻¹; P = 5,87 g kg⁻¹; K = 10,66 g kg⁻¹); 3. Esterco ovino (MO = 575 g kg⁻¹; N= 16,65 g kg⁻¹; P = 7,2 g kg⁻¹; K = 13,1 g kg⁻¹); e 4. Cama de aviário (MO = 875 g kg⁻¹; N= 29,33 g kg⁻¹; P = 21,53 g kg⁻¹; K = 17,42 g kg⁻¹). As referidas adubações foram realizadas anualmente desde fevereiro de 2012, tendo como base o teor de nitrogênio (N), atendendo a recomendação de 200 kg N ha⁻¹.

Desde janeiro de 2017, a adubação aplicada foi apenas esterco bovino (MO= 412 g kg⁻¹; N= 15 g kg⁻¹; P = 4,9 g kg⁻¹; K = 14,9 g kg⁻¹) em toda área, anualmente, ocorrendo no início do período chuvoso e baseado no teor de N total do esterco, correspondendo a recomendação de 200 kg ha⁻¹ de N. Também anualmente era realizado roço na área experimental e todo material vegetal proveniente deste roço era utilizado como cobertura morta no sistema.

Avaliações no campo e análises laboratoriais

Em agosto de 2018 foram mensuradas e coletadas cinco plantas de palma por subparcela, em três diferentes distâncias: 0, 2 e 4 m da fila dupla central das leguminosas. As plantas foram mensuradas quanto a altura e largura de planta com auxílio de uma fita métrica, em seguida foram coletadas conservando-se o articulo primário. Elas foram pesadas em campo, sendo retirada uma amostra composta conforme a proporção de cladódios por ordem e por planta. Após a pesagem, as amostras de palma foram pré-secas em estufa de circulação forçada de ar, a 55° C, até peso constante e moídas em moinho tipo Willey, em malha de 1 mm, para determinação do teor de matéria seca (MS) através

de metodologia proposta por Detmann et al. (2012). A produção de matéria seca (PMS) foi calculada com base na densidade de plantas por subparcela.

Em outubro de 2017 e outubro de 2018 foram mensuradas e coletadas três árvores de cada espécie de leguminosa nas diferentes subparcelas. Foram mensuradas altura e largura de planta e o diâmetro da base com uma fita métrica. Foi realizada também contagem no número de fustes por planta. Foram coletadas folhas e ramos finos que foram pesados e levados a laboratório para realização da análise de matéria seca (MS) através de metodologia proposta por Detmann et al. (2012), sendo também a PMS calculada a partir da densidade de plantas por subparcela.

Análise estatística

Para as variáveis relacionadas diretamente com a palma forrageira, foram realizadas dois tipos de análises de dados: 1. Comparando os sistemas em consórcio e a palma em monocultivo; 2. Comparando apenas os sistemas em consórcio e considerando as distâncias das leguminosas. A análise de variância foi realizada usando PROC MIXED pelo SAS University Edition. Na comparação dos três sistemas, os efeitos fixos foram o sistema de cultivo e fontes de adubo. O bloco foi analisado como efeito aleatório. Quando apenas os dois SAFs foram analisados, os efeitos fixos incluíram o tipo de SAF, fonte de adubo e distância das árvores, sendo o ano e bloco considerado efeito aleatório. Quando o teste F foi significativo, as médias de tratamento foram comparadas usando o procedimento PDIFF do SAS ajustado para Tukey ($P < 0.05$).

Resultados e Discussão

Palma em monocultivo x Sistemas Agroflorestais

Houve efeito significativo da interação sistema produtivo x tipo de esterco sobre a altura e largura de planta das leguminosas (Tabela 1, 2 e 3). Para altura das leguminosas, a cama de frango quando comparada aos outros esterco promoveu maiores alturas de plantas nos sistemas consorciados, em relação a palma solteira. De acordo com Lemaire et al. (2014), a integração das leguminosas nos sistemas agrícolas oferece uma alternativa de incremento da disponibilidade de N pela ciclagem de nutrientes e pela fixação biológica de nitrogênio, o que favorece a mineralização da matéria orgânica e liberação de nutrientes das plantas. Ou seja, ainda que a aplicação dos esterco tenha sido

padronizada em relação aos teores de N, uma maior quantidade de matéria orgânica, P e K presente na composição da cama de frango aplicada pode ter promovido maiores alturas da palma nos sistemas consorciados e adubados com esse esterco. Além disso, o esterco contém quantidades de micronutrientes como Fe e Mo que são elementos importantes para fixação de N, pois, atuam no transporte de oxigênio e da atividade da enzima nitrogenase, responsável pela fixação de N no nódulo (COUTO-VÁZQUEZ e GONZÁLEZ-PRIETO, 2016).

Para a palma em monocultivo, o esterco de cama de frango foi o que resultou em plantas com menor altura (Tabela 1), comportamento oposto ao observado nas plantas dos sistemas consorciados. Silva et al. (2015) estudaram clones de palma sob adubação nitrogenada no sertão pernambucano, observaram que o IPA Sertânia apresentou altura de planta média de 69 cm após dois anos de cultivo. A aplicação anterior de esterco caprino resultou em plantas mais altas em todos os sistemas (Tabela 1), fato que pode estar associado com a quantidade maior aplicada desse esterco para atingir 200 kg N ha⁻¹, podendo ter proporcionado maior cobertura do solo e favorecido o crescimento da planta de maneira geral.

Tabela 1. Altura (m) da palma forrageira em monocultivo e sob sistemas agrofloretais com leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior

Sistema	Esterco			
	Cama de frango	Bovino	Caprino	Ovino
	----- <i>Altura (m)</i> -----			
Palma + leucena	1,00 Aa	1,04 Aa	0,97 Ab	0,89 Bb
Palma + gliricídia	1,03 ABa	0,96 Bb	1,01 ABab	1,08 Aa
Palma em monocultivo	0,96 Ba	0,97 ABab	1,05 Aa	1,01 ABa
EPM	0,0299			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey (p<0.05).

Comportamento semelhante à altura de planta, foi observado para a largura de planta (Tabela 2), com exceção de que esterco caprino não promoveu maiores valores de largura de planta em todos os sistemas avaliados. Para Amorim et al. (2015), a utilização de plantas com largura elevada em plantios com alta densidade de plantas pode dificultar o controle de plantas daninhas e redução na produtividade. Vale ressaltar que altura e largura de plantas são características que melhor explicaram o potencial produtivo da palma forrageira, conforme observado por Silva et al. (2010).

Tabela 2. Largura (m) da palma forrageira em monocultivo e sob sistemas agroflorestais com leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior

Sistema	Esterco			
	Cama de frango	Bovino	Caprino	Ovino
	----- <i>Largura (m)</i> -----			
Palma + leucena	1,12 Aa	1,11 Aa	0,93 Bc	0,88 Ba
Palma + gliricídia	1,08 Aa	0,93 Bb	1,15 Aa	0,94 Ba
Palma em monocultivo	0,81 Cb	0,88 BCb	1,03 Ab	0,95 Ba
EPM	0,0288			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

Para a produção de matéria seca (PMS) da palma, foi observada também interação significativa entre os sistemas de cultivo e tipos de adubo. O esterco caprino resultou em plantas de maiores valores de PMS (Tabela 4) para os sistemas de palma + gliricídia quando comparado com palma + leucena, que por sua vez foi semelhante à palma em monocultivo. Esses resultados corroboram com os encontrados para as características estruturais (Tabelas 1 e 2). Os SAFs foram superiores ao monocultivo quando cama de frango e esterco bovino foram utilizados (Tabela 3). As leguminosas provavelmente contribuíram também para aumentar o aporte de nutrientes para palma, além de que a serapilheira e adubação orgânica podem melhorar a eficiência de uso de água (SPRACKLEN et al., 2012). Neste sentido, Camelo (2020) observou que a biomassa microbiana do solo é beneficiada quando se adiciona leguminosas arbóreas ao cultivo de palma. De acordo com Pinheiro et al. (2014), as características estruturais das plantas possuem correlação com a produtividade da cultura, assim como observado altura e

largura de planta no tratamento palma + leucena, que quando adubadas com cama de frango e esterco bovino resultou em plantas com maiores valores de PMS (Tabela 3).

O efeito da adubação orgânica na produção de matéria seca da palma também foi observado por diferentes autores (DONATO et al., 2017; LEDO et. al., 2019), no entanto Santos et al. (2018) avaliando diferentes adubações orgânicas e espaçamentos observaram que as adubações orgânicas, não influenciaram significativamente na produtividade da palma sob aléias com gliricídia. Silva et al (2016) avaliaram efeito de doses de adubação de esterco bovino e densidades de plantio sobre a produtividade da palma forrageira clone IPA-20 (*Opuntia ficus-indica* Mill) e verificaram que a eficiência da adubação orgânica diminuiu com a elevação das doses de esterco.

Tabela 3. Produção de MS (PMS; t ha⁻¹ 2 anos⁻¹) da palma forrageira solteira e sob sistemas agroflorestais com leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior

Sistema	Sistema			
	Cama de frango	Bovino	Caprino	Ovino
	----- PMS -----			
Palma + leucena	27,0 Aa	26,7 Aa	24,0 Bb	18,4 Cb
Palma + gliricídia	24,7 Ba	25,1 Ba	27,7 Aa	22,6 Ca
Palma monocultivo	13,3 Cb	21,5 Bb	25,2 Aab	23,5 Aba
EPM	1,168			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey (p<0.05).

Consórcios palma-leguminosa

Houve efeito significativo da interação sistemas x tipos de esterco x distâncias das filas duplas de leguminosas sobre a altura da palma. (Figura 1). Considerando os sistemas de cultivo, observou-se que a cama de frango promoveu melhores resultados na distância 0 m para palma + gliricídia, não diferindo, contudo, das distâncias 4 m para palma + gliricídia e 2 m para palma + leucena. Quando se utilizou adubação anterior com esterco bovino, observou-se que apenas o sistema palma + leucena na distância 0 m promoveu maiores valores de altura de planta. Para o esterco caprino, as maiores alturas de planta foram observadas em plantas a 0 m de distância das leguminosas em ambos os

sistemas. Por outro lado, quando se utilizou o esterco ovino, as maiores alturas foram observadas em plantas nas distâncias de 2 m e 4 m no sistema palma + gliricídia (Figura 1). Essa grande variabilidade pode estar relacionada a natureza e composição química dos esterco aplicados, tanto em relação a composição química, quanto aos benefícios aos atributos físicos do solo e proteção e mineralização da matéria orgânica. No entanto, é importante considerar que, associado a estas particularidades do esterco, estão os padrões de deposição de serapilheira das leguminosas.

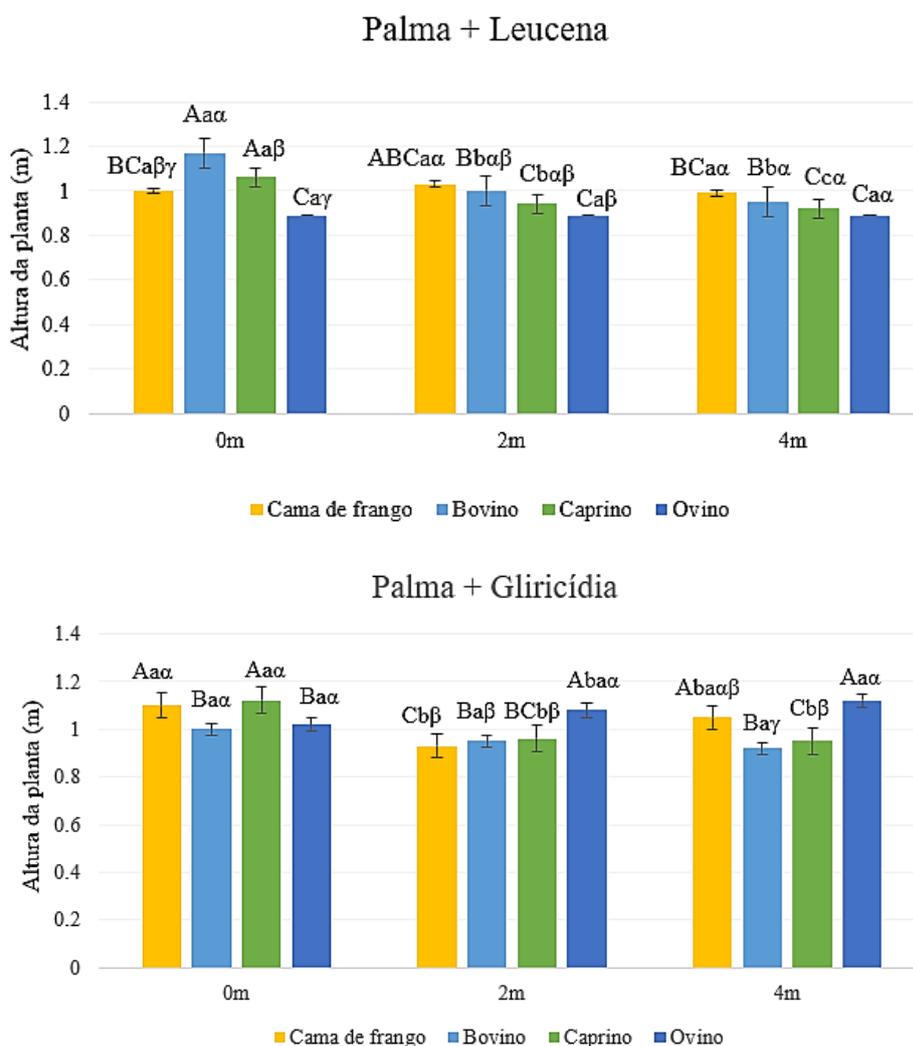


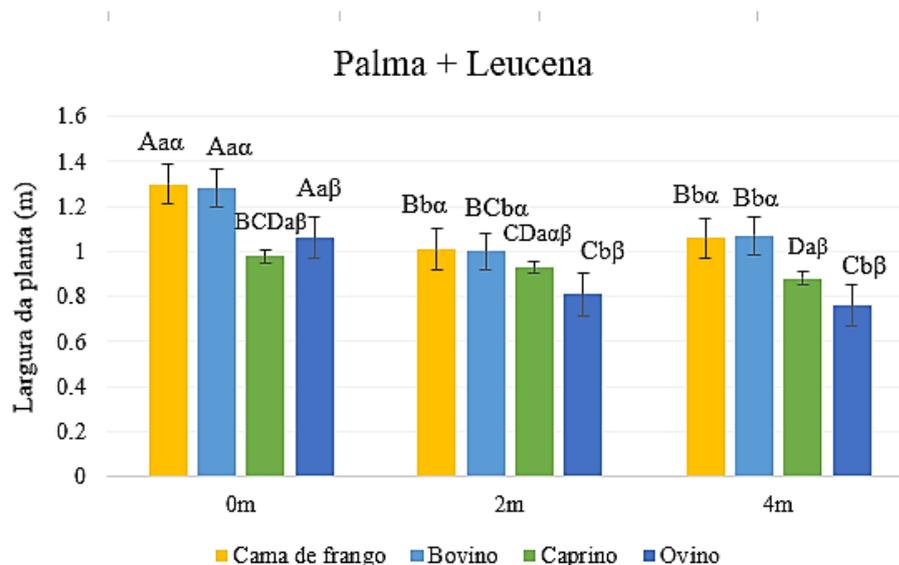
Figura 2. Altura (m) da palma forrageira sob sistemas agroflorestais em diferentes distâncias das filas de leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior

Letras maiúsculas diferem entre distâncias e sistemas para cada tipo de esterco, letras minúsculas diferem em relação a cada esterco e distância dentro de cada sistema, letras gregas comparam distâncias e esterco em cada sistema, pelo PDIFP ajustado para Tukey ($P \leq 0,05$).

Miranda et al. (2019), trabalhando com o mesmo sistema agroflorestal que o presente trabalho, observaram deposição de serapilheira da gliricídia superior ao da leucena na maior parte das avaliações com duração de 24 meses, o que pode explicar que mesmo sob sombreamento das leguminosas, a palma consegue se desenvolver pelo advento da ciclagem de nutrientes e FBN. Além disso, pode ter ocorrido uma redução da alta radiação solar característica das regiões árida e semiárida (5,49 kwh/m² dia - irradiação solar horizontal) do Nordeste Brasileiro (PEREIRA et al., 2017) sob a copa das leguminosas. A atenuação da luz solar sob o dossel das árvores poderia funcionar como um filtro que estabeleceria a intensidade adequada para o melhor desenvolvimento da palma forrageira. Tal atenuação da radiação solar sob copa também poderia reduzir a temperatura e a evaporação da água do solo em relação às áreas a pleno sol, principalmente nas horas mais quentes do dia (SILVA et al., 2014).

As deposições de serapilheira das plantas estudadas possuem padrões diferentes, uma vez que os folíolos da leucena são menores e menos pesados que os da gliricídia e podem ser facilmente levados pelos ventos (MIRANDA et al., 2018), explicando as maiores alturas de planta entre 2 m e 4 m para o sistema de palma + leucena e a 0 m para palma+ gliricídia para maioria dos esterco aplicados (Figura 1).

Para largura de planta (Figura 2), também se observou variações de distância das filas de leguminosas, sendo influenciadas pelos diferentes esterco orgânicos e sistemas agroflorestais. O sombreamento com gliricídia e leucena não afetou a largura da palma forrageira, sendo observadas plantas largas, independente do consórcio.



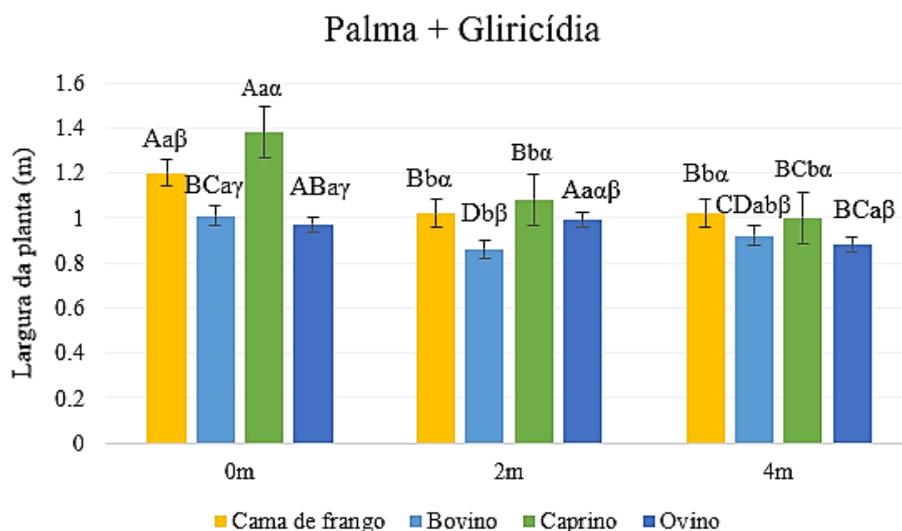


Figura 3. Largura (m) da palma forrageira sob sistemas agroflorestais em diferentes distâncias das filas de leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior

Letras maiúsculas diferem entre distâncias e sistemas para cada tipo de esterco, letras minúsculas diferem em relação a cada esterco e distância dentro de cada sistema, letras gregas comparam distâncias e esterco em cada sistema, pelo PDIF ajustado para Tukey ($P \leq 0,05$).

Em relação a produção de matéria seca (PMS), foi observado o mesmo comportamento que as variáveis morfológicas. Para quase todos os esterco e em ambos os sistemas, as menores distâncias das filas duplas de leguminosas proporcionaram maior PMS. Além de tudo que já foi exposto para explicação desse comportamento, pode ressaltar ainda que possivelmente a redução da temperatura da superfície dos cladódios quando sob influência da copa das árvores, permitiu melhor desempenho do aparato fotossintético e consequente maior acúmulo de biomassa (Figura 3).

Miranda et al. (2019) observaram interação entre as distâncias das linhas das leguminosas e as fontes de esterco para a produção de matéria seca da palma, com os maiores valores obtidos à 1 m das leguminosas, com a aplicação dos esterco bovino e ovino. Para estes esterco, a análise de regressão mostrou efeito quadrático significativo ($P < 0,05$), indicando uma redução da produção da palma à 2 m da leguminosa, voltando a aumentar a partir das distâncias de 3 e 4 m. Os autores explicaram essa maior produção da palma na menor distância das leguminosas devido à maior deposição de serapilheira das leguminosas e a maior aplicação destes esterco e, consequentemente, de outros macronutrientes, como P e K. No entanto essas informações são divergentes de alguns dos dados encontrados na literatura, onde a palma consorciada apresenta menores valores

de altura, largura e produção quando comparadas a palma em pleno sol (ALBUQUERQUE e RIBASKI, 2003; SANTOS, 2018).

Ao avaliar o crescimento e a produção da palma forrageira consorciada com cajá (*Spondias* spp), Peixoto (2018) verificou que as plantas sombreadas apresentaram o crescimento dos cladódios menor, comparado as não sombreadas, e respectivamente, produção de MS de 9,0 e 5,4 t/ha, sendo explicado pelo efeito da luminosidade no aumento da fotossíntese que resultou em maior produção de carboidratos e, conseqüentemente, maior desenvolvimento e tamanho dos cladódios. Trabalhando em Caruaru, Saraiva (2014) observou aumento na produção de matéria seca à medida que se distancia da fila dupla de leguminosas até três metros. Esse comportamento foi explicado pela redução da produção próxima à fila dupla de leguminosas pela maior competição por água, luz e nutrientes.

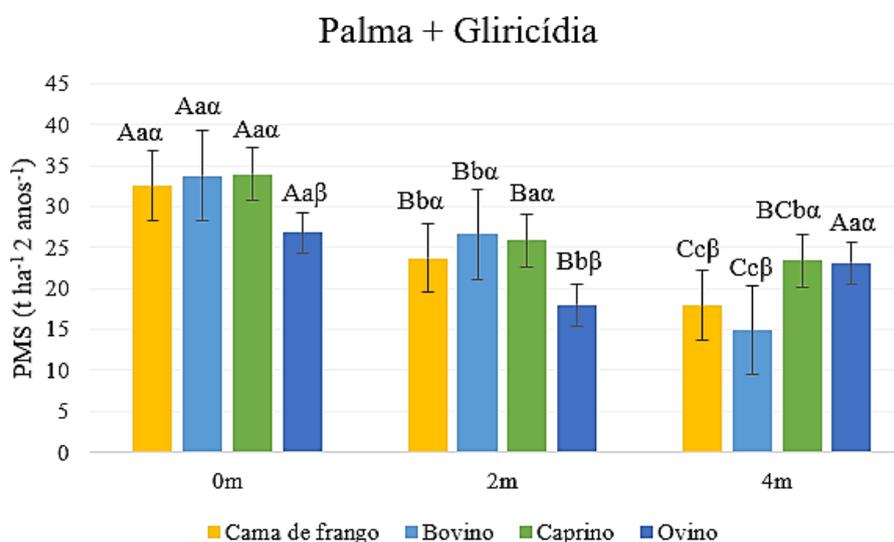
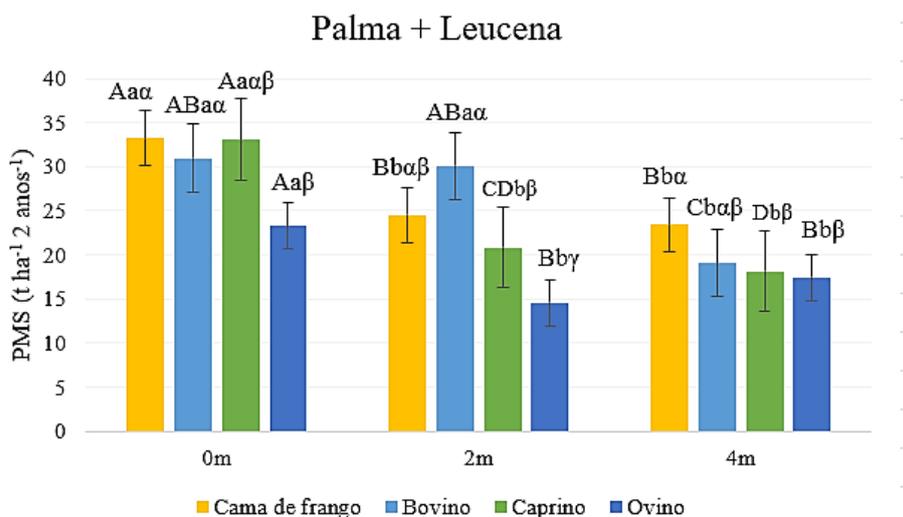


Figura 4. Produção de MS ($t\ ha^{-1}\ 2\ anos^{-1}$) da palma forrageira sob sistemas agroflorestais em diferentes distâncias das filas de leguminosas, conforme o tipo de adubação anterior

Letras maiúsculas diferem entre distâncias e sistemas para cada tipo de esterco, letras minúsculas diferem em relação a cada esterco e distância dentro de cada sistema, letras gregas comparam distâncias e esterco em cada sistema, pelo PDIFF ajustado para Tukey ($P \leq 0,05$).

Em relação às leguminosas, não houve diferença significativa para a variável altura da planta, apresentando média de 4,12 metros para leucena e 4,06 metros para gliricídia. Também não foi observada diferença significativa para a largura da planta (1,87 m para leucena e 2,25 m para Gliricídia).

Na avaliação promovida por Saraiva (2014), foi observado que a gliricídia apresentou maior altura do que a leucena. Este fato pode ser explicado pela maior adaptação às condições de baixa umidade da gliricídia, bem como folhas maiores e mais largas com maior capacidade de absorção de luz. Outro fator que pode ter contribuído para este resultado, segundo o autor, é a maior resistência a ataque de formigas por parte da gliricídia, pois a leucena é suscetível ao ataque de formigas.

Em relação ao diâmetro da base e número de fustes das plantas, foi observada diferença significativa entre as leguminosas estudadas (Tabela 4), tendo a gliricídia apresentado maior diâmetro e maior número de fustes. Tal resultado pode estar associado não só as características estruturais diferentes de cada espécie, mas com ataque de formigas observado na leucena, especialmente no seu período de implantação do experimento (Saraiva, 2014).

Tabela 4. Diâmetro da base e número de fustes de leucena e gliricídia sob sistemas agroflorestais com palma forrageira

	Leucena	Gliricídia
Diâmetro da base (cm)	20,5 B	29,8 A
Número de fustes	1,2 B	2,3 A

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais nas linhas, não diferem pelo teste F ($p < 0,05$).

Em relação a produção de matéria seca (folhas e ramos finos) das leguminosas, não foi verificada diferença significativa, apresentando médias de 0,99 t MS $ha^{-1}ano^{-1}$ para a leucena e 1,06 t MS $ha^{-1}ano^{-1}$ para gliricídia. Os resultados de produção das leguminosas observados por Saraiva (2014), mostraram diferença significativa, sendo a

produção da leucena ($0,6 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) inferior à da gliricídia ($0,9 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) após 2 anos de cultivo. Os autores atribuíram este fato a maior resistência a seca (baixa precipitação no período experimental) e menor ataque de insetos, que favoreceram o desenvolvimento inicial da gliricídia. No entanto, é importante mencionar que no trabalho de Saraiva (2014), o esterco bovino foi o que resultou em maior produção de MS para as leguminosas ($1,4 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) em relação ao esterco caprino ($0,5 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), ovino ($0,5 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e a cama de frango ($0,4 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$). Ou seja, a utilização exclusiva do esterco bovino no presente trabalho pode ser um fator de uniformização na produção dessas leguminosas.

Esse fato também pode estar associado a baixa representatividade que duas avaliações (média de uma avaliação por ano no período de dois anos) podem proporcionar, uma vez que os períodos de avaliação ocorreram apenas no período seco do ano, tendo média de chuva mensal para outubro de 2017 de 0 mm e para outubro de 2018 de 0,1 mm (APAC, 2019). Miranda (2018) observou que a deposição de serapilheira foi variável durante o ano, tendo os maiores valores no final do período chuvoso, com maior proporção da fração folha, seguida de estruturas reprodutivas e ramos, onde a produção média da gliricídia ($4,3 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) foi superior à da leucena ($2,8 \text{ t MS ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), o que, segundo os autores, foi devido à maior produção de biomassa aérea da gliricídia, visto que esta espécie apresenta copa mais densa e folíolos de peso e dimensões maiores do que os da leucena, a qual possui uma copa mais rala.

Conclusões

As características morfológicas e produtivas da palma em consórcio com leguminosas ou em monocultivo foram afetadas pelos efeitos residuais dos adubos orgânicos.

As características morfológicas e produtivas da palma forrageira sob consórcio com leguminosas sofreram interferência dos sistemas adotados, distâncias da fila dupla de leguminosas e fontes de esterco, sendo que quanto mais próximas das leguminosas, maior eram alturas, larguras e produção.

A leucena e gliricídia não apresentaram diferenças nos períodos avaliados, podendo ambas serem utilizadas em SAFs com palma forrageira no semiárido tropical, sendo necessários estudos em diferentes períodos do ano para maiores esclarecimentos.

Referências

- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). Sistema de geoinformação hidrometeorológico de Pernambuco. Acesso em: novembro de 2019.
- AMORIM, P.L. et al. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p.230-238, 2015.
- CAMELO, D. **Indicadores biológicos da qualidade do solo em Sistemas Agroflorestais de palma forrageira e leguminosas no agreste de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Zootecnia, Recife, 56p.
- COUTO-VÁZQUEZ, A., E GONZÁLEZ-PRIETO, S. J. Fate of 15N-fertilizers in the soil-plant system of a forage rotation under conservation and plough tillage. **Soil and Tillage Research**, 161, 10-18. 2016.
- DEGU, A.; MELAKU, S.; BERHANE, G. Supplementation of isonitrogenous oil seed cakes in cactus (*Opuntia ficus-indica*) tef straw (*Eragrostis tef*) based feeding of Tigray Highland sheep **Animal Feed Science and Technology**., 148, pp. 214-226. 2009.
- DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. (INCT - Ciência animal). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 214p.
- DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014.
- DONATO, P. E. R. et al. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 238-243, 2017.
- DUBEUX JUNIOR, J.C.B. et al. Forage production and supply for animal nutrition. In: INGLESE, P.; MONDRAGON, C.; NEFZAOU, A.; SAENZ, C. (Orgs.). **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear: CAM crops for a hotter and drier world**. FAO. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Rome, p.74-91, 2017.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, p.357-372, 2006.

EDWARDS, A. et al. Yield, chemical composition and in vitro ruminal fermentation of the leaves of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Trichanthera gigantea* as influenced by harvesting frequency. **Journal of Animal Science Advances** v.2, suppl. 3.2, p.321-331, 2012.

FERREIRA, M.A. et al. The use of cactus as forage for dairy cows in semi-arid regions of Brazil. In: PETR KONVALINA (Ed.), **Organic Farming and Food Production**. InTech, South Bohemia, p.1-22, 2012.

GUEVARA, C. et al. Productivity, cold hardiness and forage quality of spineless progeny of the *Opuntia ficus-indica* 1281 × *O. lindheimerii* 1250 cross in Mendoza plain, Argentina. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v.13, p. 48-62, 2011.

IWATA, B. F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p.730–738, 2012.

LEDO, A. A. et al. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 23, n. 6, p. 413-418, June 2019.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 190, 4-8. 2014.

MIRANDA, K. R. **Contribuição de leguminosas arbóreas em consórcio com palma forrageira fertilizada com diferentes esterços**. 2018. 80p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE.

MIRANDA, K. R. et al. Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, v.49:01, e20180324, 2019.

MONTANO, N. M. et al. Armazéns e fluxos de carbono em ecossistemas áridos e semiáridos do México: Resumo e perspectivas. **Terra Latinoamericana**, 34, 39-59. 2016.

PEIXOTO, M. J. A. et al. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, v. 67p. 35-39. 2018.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 21/11/2019.

PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol.49, p. 39-947, 2014.

RAMOS, J. P. F. et al. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos, **Revista Caatinga**, vol. 24, no. 3, pp. 41-48. 2011.

SANTOS, A. F. et al. Efeito residual da adubação orgânica sobre a produtividade de milho em sistema agroflorestal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1267-1272, 2010.

SANTOS, D. C. E. et al. Usos e aplicações da palma forrageira. In: LOPES, E. B. **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino**. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2012. p. 99-150.

SANTOS, A. F.; PEREZ-MARIN, A. M.; SARMENTO, M. I. A. Produtividade da palma forrageira em aleias com *Gliricídia sepium* sob adubação orgânica em diferentes espaçamentos no Semiárido. **Revista Verde** - ISSN 1981-8203 - (Pombal - PB) v. 13, n.3, p.276-281, jul.-set., 2018.

SARAIVA, F. M. **Desenvolvimento e acúmulo de nutrientes de palma forrageira (*Nopalea*) em diferentes sistemas de cultivo**. 2014. 104p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE.

SAS Institute Inc. 2018. SAS® University Edition Quick Start Guide for Students with Visual Impairments. Cary, NC: SAS Institute Inc. SAS® University Edition: Quick Start

Guide for Students with Visual Impairments Copyright © 2018, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

SILVA, M. L. R. B. et al. Diversidade da microbiota endofítica na cultura da palma (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) no Semiárido de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 19, n. 1, p. 3-10. 2014b.

SILVA, N. G. M. S. et al. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**. vol.39 n.11 Viçosa. Novembro 2010.

SILVA, T. G. F. S. et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10 – 18, 2015

SILVA, V. B. et al. Decomposição e liberação de N, P e K de esterco bovino e de cama de frango isolados ou misturados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 15371546, 2014a.

SILVA, N.G.M. et al. Effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 976 – 983, 2016.

SPRACKLEN, D. V. et al. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, 489, p. 282–285, 2012.

VENDRAMINI, J. et al. Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 9(2). 2014.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A introdução de leguminosas arbóreas fixadoras de Nitrogênio em cultivos de palma forrageira IPA Sertânia sob adubação orgânica é uma alternativa para os sistemas de produção no semiárido tropical, sendo aliado não só na produtividade, mas pode promover diversos serviços ambientais, como ciclagem de nutrientes, proteção do solo, aproveitamento de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo, entre outros.

A palma forrageira é uma cultura exigente em fertilidade do solo, retirando dele grande quantidade de nutrientes. Além disso, como a palma é normalmente colhida e fornecida no cocho, a ciclagem de nutrientes é reduzida e ineficiente na área em que está estabelecida. Logo, a adubação orgânica é uma alternativa para suprir essa demanda nutricional, inclusive por poder integrar o sistema de produção e torná-lo mais sustentável.

As características ligadas a composição química dos esterco, ainda que sob efeito residual, podem influenciar as características químicas do solo estando associado a quantidade de adubo e ao tipo de fonte utilizada (caprino, ovino, bovino e cama de frango).

As leguminosas arbóreas (glicíndia e leucena) demandam maior fertilidade do solo para suportar o maior crescimento dessas plantas, especialmente no que diz respeito ao P e K, sendo o consórcio com a glicíndia mais exigente. No entanto, no que diz respeito ao sódio e íons acidificantes, os consórcios apresentaram maiores valores (especialmente a leucena) em relação ao cultivo isolado.

Em relação as características morfológicas e produtivas da palma em consórcio com leguminosas ou em monocultivo, há efeito residual de adubos orgânicos, tendo a cama de frango quando comparada aos outros esterco, promovido maiores alturas de plantas nos sistemas consorciados, em relação a palma em monocultivo.

Ainda que a aplicação dos esterco tenha sido padronizada em relação aos teores de N, uma maior quantidade de matéria orgânica, P e K presente na composição da cama de frango aplicada pode ter promovido maiores alturas da palma nos sistemas consorciados e adubados com esse esterco.

As características morfológicas e produtivas da palma forrageira sob consórcio com leguminosas sofreram interferência dos sistemas adotados, distâncias da fila dupla de leguminosas e fontes de esterco, sendo apresentadas maiores alturas, larguras e produção para menores distâncias das leguminosas.

Quanto as leguminosas avaliadas não foram encontradas diferenças nos períodos avaliados, o que pode indicar que ambas podem ser utilizadas para compor SAFs com palma forrageira, se fazendo necessário diferentes períodos de avaliação para maiores informações no que diz respeito ao comportamento dessas plantas ao longo do ano.