



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido

**CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' EM
AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO**

LAUDICEIO VIANA MATOS

2020

LAUDICEIO VIANA MATOS

**CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' EM
AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof. Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato

**Janaúba
2020**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Matos, Laudiceio Viana

M425c Cultivo da palma forrageira ‘Gigante’ em agroecossistemas do semiárido baiano [manuscrito] / Laudiceio Viana Matos – 2020.
159 p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2020.

Orientador: Prof. D. Sc. Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

1. Bromatologia. 2. Cactaceae. 3. Forragem. 4. Palma forrageira. I. Donato, Sérgio Luiz Rodrigues. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.85

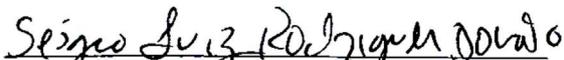
Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

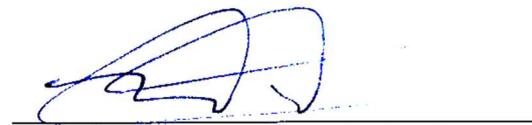
LAUDICEIO VIANA MATOS

**CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' EM
AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2020.


Prof. Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato
Instituto Federal Baiano (Orientador)


Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo
Unimontes (Coorientador)


Profa. Dra. Maria Geralda V. Rodrigues
Epamig Norte (Conselheira)


Prof. Dr. Ignacio Aspiazú
Unimontes (Conselheiro)


Prof. Dr. João Luiz Lani
UFV (Coorientador)

Janaúba-MG
2020

*À minha mãe, Leidimar Viana Matos (in memoriam),
minha referência de determinação, persistência, dedicação,
companheirismo, carinho e amor,
que se faz presente em todos os momentos.
É luz, proteção, força maior e inspiração em minha vida.
Com amor e gratidão,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao criador do universo, Deus todo poderoso, pelas bênçãos, proteção e por tantas graças alcançadas em minha vida.

Ao meu pai, Laurindo Matos, pela referência em respeito, benevolência e honestidade.

À minha esposa, Vânia, pelo companheirismo e dedicação à nossa família, carinho, incentivo e acolhimento da pesquisa, *pari passu* com a alegria do nascimento de nosso filho.

Aos meus filhos, Pedro Lucas e o recém-nascido Leonardo, presentes de Deus, fontes maiores de inspiração, força, motivação e determinação em minha vida.

À Leila, minha irmã, por toda confiança depositada em mim, pelo incentivo e carinho. E à minha sobrinha, Nicole, pela satisfação que me proporciona, ao me ter como o seu padrinho.

Ao professor Sérgio Donato, pelos ensinamentos, consideração, presteza, dedicação e valiosas contribuições e reflexões desde a concepção do projeto de pesquisa. Além dos ensinamentos, a força que o move para a realização de pesquisas e produção do conhecimento é uma grande motivação.

Ao professor Marcos Kondo, pelos ensinamentos e valiosas contribuições incorporadas ao trabalho, além da diligência nos encaminhamentos e coordenação do programa de pós-graduação.

Ao professor Lani, por ter me acompanhado desde a orientação no mestrado na UFV, pela amizade, solicitude, boas reflexões, sempre apoiando, ensinando e valorizando a pesquisa.

À pesquisadora Maria Geralda e ao professor Ignacio Aspiazú, pelos ensinamentos, ponderações e contribuições relevantes na finalização da pesquisa.

À Unimontes e aos seus professores, por oportunizarem a realização deste trabalho e pelos ensinamentos e valiosa contribuição para minha formação profissional.

Ao IFBaiano - *campus* Guanambi, ao seu Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido e aos professores Sérgio Donato, João Abel, Marcelo Rocha, Carlos Elísio, Pedro Ricardo, Alessandro Arantes e Carlito Barros, por acolherem e impulsionarem este projeto de pesquisa, com a disponibilização de laboratórios e todo o conhecimento e experiências acumuladas em 10 anos de pesquisa e produção científica com a palma forrageira.

À Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, por ser coparticipante da pesquisa e subsidiar a realização das análises de solos.

Ao Incra, por esta oportunidade de crescimento profissional e geração de conhecimento. E aos colegas/amigos, Ezequiel Gomes e Luciano Louzada, pelo apoio, incentivo, bom

convívio e compartilhamento de experiências. À motivação de Rodolfo, Pedro João, Benedito, Severino, Erinaldo, Aleane e ao incentivo e apoio de Laiz, sempre solícita.

Ao Bismarc Lopes, estagiário, que participou e ajudou em uma das etapas do trabalho de campo e em parte das análises laboratoriais.

A todos os colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação, pelo convívio e aprendizado, em especial: Bruno Vinícius Guimarães, Joseilton Farias, Rafael Sales, Moacir Brito, Maria das Dores, Elisete Lopes, Andrey Antunes e Gustavo Mattos.

Ao Marivaldo Rêgo e Euvany Oliveira, pelo incentivo e apoio na articulação do trabalho de campo em Riacho de Santana.

Ao Jó Arnizouth, Eugino Costa, Marcelo Monteiro e Gildevan Viana, pelo constante incentivo ao meu crescimento profissional e pela amizade.

Aos Sindicatos dos Trabalhadores Rurais de Guanambi e de Caetité, Cooperativa de Assessoria Técnica e Educacional para o Desenvolvimento da Agricultura Familiar - COOTRAF, por participarem e contribuírem para a viabilização da pesquisa.

E, em especial, às famílias dos agricultores familiares que participaram da pesquisa, pela acolhida, interesse e comprometimento com a realização do estudo. Além de me proporcionarem grandes ensinamentos e reflexões sobre a relação homem-ambiente e maior compreensão dos sistemas tradicionais de produção de palma forrageira no contexto da sustentabilidade.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	viii
GENERAL ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO I	19
CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E RENDIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO	19
Introdução.....	22
Material e métodos	23
Resultados e discussão	30
Conclusões	40
Agradecimentos.....	41
Referências	41
CAPÍTULO II.....	45
CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO	45
Introdução.....	49
Material e métodos	49
Resultados e discussão	54
Conclusões	61
Agradecimentos.....	62
Literatura citada.....	62
CAPÍTULO III.....	67
ATRIBUTOS DOS SOLOS E A QUALIDADE E RENDIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO ...	67
Introdução.....	70
Material e Métodos.....	71
Resultados	76
Discussão.....	77
Agradecimentos.....	98
Referências	98
CAPÍTULO IV	105
SISTEMAS TRADICIONAIS DE PRODUÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO	105
Introdução.....	108
Material e métodos	110
Resultados e discussão	125
Considerações finais.....	148
Agradecimentos.....	151
Referências	152
CONSIDERAÇÕES FINAIS	157

RESUMO GERAL

MATOS, Laudiceio Viana. **Cultivo da palma forrageira ‘Gigante’ em agroecossistemas do semiárido baiano**. 2020. 150p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG. Orientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato - IFBaiano - *Campus* Guanambi. Coorientadores: Marcos Koiti Kondo - Unimontes e João Luiz Lani - UFV.

Diante do seu potencial de adaptação às condições climáticas da região semiárida, associada à escassez de alimentos para os animais durante os longos períodos de estiagem, a palma forrageira ‘Gigante’ (*Opuntia ficus-indica* Mill) constitui fonte energética e hídrica para os animais, além de ser uma cultura mais acessível aos agricultores familiares. As condições edafoclimáticas dos agroecossistemas de cultivo, características genótípicas da planta e o sistema de manejo adotado podem influenciar a qualidade nutricional da palma forrageira utilizada na alimentação animal. A palma estabelece alta interação com o ambiente de cultivo. Portanto, pressupõe-se que a estrutura da planta, constituição mineral e bromatológica dos cladódios, produtividade de massa verde e qualidade da forragem produzida estão em função da inter-relação de fatores edafoclimáticos (agroecossistemas), sistema de produção (manejo) que envolve o homem e os seus saberes, e o genótipo da planta. Desse modo, tem-se o desafio de estabelecer a melhor relação planta-ambiente-homem e maximizar o potencial produtivo da cultura. Objetivou-se realizar a caracterização dos solos de sistemas tradicionais de produção de palma forrageira e inter-relacioná-la com a produtividade e estrutura da planta, a composição mineral e bromatológica dos cladódios em agroecossistemas do semiárido baiano. Foram estudados cinco agroecossistemas: 1 - Distrito Irrigado de Ceraíma, Guanambi-BA (14° 17’ 40” S; 42° 42’ 44” O); 2 - Vale do Iuiu, Iuiu-BA (14° 23’ 50” S; 43° 27’ 07” O); 3 - Maniaçu, Caetité-BA (13° 48’ 50” S; 42° 24’ 32” O); 4 - Baixio, Riacho de Santana-BA (13° 32’ 08” S; 43° 09’ 19” O); 5 - Morrinhos, Guanambi-BA (14° 14’ 02” S; 42° 37’ 08”). A coleta dos tecidos da palma forrageira foi realizada no período de agosto a setembro de 2017. Utilizou-se delineamento em modelo hierárquico, com as parcelas de plantas dispostas em três repetições dentro do fator sistemas de produção de palma forrageira representado por quatro propriedades, dentro de cinco agroecossistemas, totalizando 20 propriedades de produtores tradicionais. Ceraíma e Iuiu, ambientes com maior fertilidade natural, possibilitaram a expressão das maiores produtividades anuais de massa verde. O maior número de cladódios por planta foi obtido em Morrinhos e Ceraíma. No entanto, Maniaçu produziu cladódios com maior largura e, juntamente com Ceraíma, tiveram os cladódios com maior comprimento. Além de alcançar os

melhores resultados estruturais dos cladódios por planta, Maniaçu destacou-se com as maiores médias nos teores de proteína bruta e de fibra em detergente neutro, que conferem melhor qualidade do cladódio para uso como forragem. Os agroecossistemas influenciaram mais o comprimento e a largura dos cladódios, a matéria orgânica e o material mineral na planta. Os sistemas de produção estabelecidos pelos produtores afetaram a produção de massa de cladódios por planta, a produtividade de massa verde, a área total de cladódios e o número de cladódios produzidos por planta, os níveis de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta e fibra em detergente neutro. Apesar de serem mais influenciados pelo sistema de produção, a altura de planta e a espessura de cladódios foram similares entre as áreas de cultivo da palma forrageira. As características mais afetadas pelo efeito da planta (genótipo) foram os teores de gordura ou extrato etéreo (EE) nos cladódios, a capacidade de produção de massa por cladódio e os teores de fibra em detergente neutro nos tecidos dos cladódios. Espera-se que os resultados gerados nesta pesquisa possam contribuir no aprimoramento de sistemas de produção da palma forrageira que reconheçam as especificidades dos agroecossistemas, maximizando o potencial produtivo da planta e favorecendo sua capacidade de convivência com as limitações ambientais.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*; ambiente; qualidade da forragem; rendimento; manejo; conhecimento local.

GENERAL ABSTRACT

MATOS, Laudiceio Viana. **Cropping of 'Gigante' cactus pear in agroecosystems of Bahia semiarid region.** 2020. 150p. Thesis (Doctor's Degree in Plant Production in Semiarid) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG. Advisor: Sérgio Luiz Rodrigues Donato – IFBaiano – *Campus* Guanambi. Co-Advisors: Marcos Koiti Kondo – Unimontes e João Luiz Lani – UFV.

Given its potential to adapt to climatic conditions in the semiarid region, associated with the scarcity of food for animals during long periods of drought, the 'Gigante' cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill) presents itself as an energy and water source for animals, besides being a culture more accessible to family farmers. The edaphoclimatic conditions of the cultivation agroecosystems, genotypic characteristics of the plant and the management system adopted can influence the nutritional quality of the cactus pear used in animal feed. The cactus pear establishes high interaction with the cultivation environment. Therefore, it is assumed that the plant structure, mineral and chemical composition of the cladodes, green mass productivity and quality of forage produced depends on the interrelation of edaphoclimatic factors (agroecosystems), production system (management) that involves man and his knowledge, and the genotype of the plant. Thus, there is the challenge of establishing the best plant-environment-human relationship and maximizing the productive potential of culture. The objective was to characterize the soils of traditional cactus pear cropping systems and interrelate it with the productivity and structure of the plant, the mineral and bromatological composition of the cladodes in agroecosystems of Bahia semiarid. Five agroecosystems were analyzed: 1 - Ceraíma, Guanambi-BA (14° 17' 40" S, 42° 42' 44" W); 2 - Vale do Iuiu, Iuiu-BA (14° 23' 50" S, 43° 27' 07" W); 3 - Maniaçu, Caetité-BA (13° 48' 50" S, 42° 24' 32" W); 4 - Baixio, Riacho de Santana-BA (13° 32' 08" S, 43° 09' 19" W); 5 - Morrinhos, Guanambi-BA (14° 14' 02" S, 42° 37' 08" W). Cactus pear tissue sampling was performed from August to September 2017. A hierarchical model design was used with three replicate plots arranged in each cactus pear production system, represented by four farm, within five agroecosystems, result in 20 traditional cactus pear farmers. Ceraíma and Iuiu, environments with greater natural fertility enabled the expression of the highest annual green mass productivity. The highest number of cladodes per plant was obtained in Morrinhos and Ceraíma. However, Maniaçu produced cladodes with greater width and, together with Ceraíma, had cladodes with greater length. In addition to achieving the best structural results of cladodes per plant, Maniaçu stood out with the highest averages in the levels of crude protein and neutral detergent fiber, which provide

better quality of the cladode for use as forage. The agroecosystem influenced more the length and width of the cladodes, the organic matter and the mineral material in the plant. The production systems established by the producers affected the mass production of cladodes per plant, the productivity of green mass, the total area of cladodes and the number of cladodes produced per plant, the levels of dry matter, nitrogen, crude protein and fiber in neutral detergent. Despite being more influenced by the production system, the plant height and thickness of cladodes were similar between the areas of crop of cactus pear. The characteristics most affected by the effect of the plant (genotype) were the levels of fat or ether extract (EE) in the cladodes, the capacity of mass production by cladode and the levels of neutral detergent fiber in the tissues of the cladodes. It is hoped that the results generated in this research can contribute to the improvement of cactus pear cropping systems that recognize the specificities of agroecosystems, maximizing the productive potential of the plant and favoring its ability to live with environmental limitations.

Key words – *Opuntia ficus-indica*, environment, forage quality; yield; management; local knowledge.

INTRODUÇÃO GERAL

O semiárido brasileiro, hodiernamente, abrange 1.262 municípios distribuídos em oito estados da região nordeste, mais uma faixa que se estende no Vale do Jequitinhonha e norte de Minas Gerais, ocupando 1.128.697,40 km². A condição de maior risco de ocorrência de seca, mais os critérios técnicos de precipitação média anual inferior a 800 mm e índice de aridez inferior ou igual a 0,5, formam o atual conceito de delimitação do semiárido brasileiro (BRASIL, 2017).

O semiárido baiano equivale a 39,52% de toda área do semiárido brasileiro e 78,98% de todo o território baiano (BRASIL, 2017). Reconhecido nacionalmente por suas limitações edafoclimáticas, o semiárido brasileiro é ocupado quase pela metade por regiões da Bahia. Assim, praticamente 80,00% do território do estado da Bahia corresponde às áreas com as condições climáticas mais limitantes do país, assoladas por baixas precipitações e irregularidade na distribuição das chuvas, e a consequente e recorrente escassez hídrica que afeta as populações locais, os cultivos e a criação de animais.

A vasta dimensão de abrangência do semiárido no estado da Bahia demanda nas mesmas proporções, ações que minimizem as consequências das restrições ambientais e que proporcionem melhor aproveitamento do potencial local. Nesse contexto, os governos, a sociedade e as instituições de ensino, pesquisa e extensão, assumem importante papel na elaboração e implementação de políticas públicas mais eficazes.

As populações tradicionais, que convivem no semiárido baiano sob sérias restrições climáticas impostas à sobrevivência de suas famílias desenvolveram estratégias de convivência com as condicionantes de solo, clima e aproveitamento do potencial endógeno local (RESENDE et al., 2002; GOMES et al., 2018).

O aprimoramento e a formulação de práticas capazes de contribuir para o processo de melhoria da realidade de comunidades tradicionais perpassam pela identificação de culturas e variedades mais adaptadas às limitações ambientais inerentes ao semiárido brasileiro (SANTOS et al., 2013; SILVA et al., 2016). Assim, a realização de pesquisas visando melhor caracterizar e contribuir no aperfeiçoamento de sistemas de produção de agricultores tradicionais, surge como possibilidade de se reconhecer sistemas de manejo em diferentes realidades, melhor associação da cultura com o ambiente, considerando o solo, o clima e aspectos socioeconômicos e culturais (RESENDE et al., 2002; DONATO et al., 2017c).

As condições climáticas no semiárido também afetam a oferta de alimentos para a criação de animais, principalmente durante o longo período de estiagem. Assim, agricultores recorrem à utilização de alimentos alternativos de espécies adaptadas à região, com menor risco de perdas e redução nos custos de produção para o atendimento da necessidade alimentar dos animais (WANDERLEY et al., 2012; AGUIAR et al., 2015).

Diante do seu potencial de adaptação às condições climáticas da região semiárida, associada à escassez de alimentos para os animais durante os longos períodos de estiagem, a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) apresenta-se como fonte energética para os animais, além de ser uma cultura mais acessível aos agricultores familiares, por ser afeita a sistemas de produção com baixa entrada de insumos externos à propriedade (LOPES et al., 2019). Os expressivos teores de umidade na palma forrageira também contribuem no atendimento de parte das necessidades de água dos animais, principalmente, no período seco (PESSOA et al., 2013; AGUIAR et al., 2015). Para ilustrar essa capacidade potencial de suprimento hídrico, um ha de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob regime de sequeiro com produtividade de massa verde de 82,64 Mg ha⁻¹ armazena 74.376 L ha⁻¹ de água, enquanto a mesma área e cultivar sob irrigação, com produtividade de 329,24 Mg ha⁻¹, armazena 304.382,38 L ha⁻¹ de água, segundo cálculos empreendidos por Santos, Donato e Cotrim Júnior (2020).

A ecofisiologia da planta, por meio do mecanismo ácido das crassuláceas (CAM), permite que a planta da palma forrageira absorva CO₂ no período noturno e realize a fotossíntese durante o dia, sem abrir os estômatos, assim, a planta minimiza a perda de água (FARIAS et al., 2005; DONATO et al., 2017a). Essa adaptação da planta possibilita a tolerância da palma forrageira aos estresses provocados pelo déficit hídrico, pelas altas temperaturas e radiação excessiva (NOBEL, 2001; ZAÑUDO-HERNÁNDEZ et al., 2010; PIMIENTA-BARRIOS et al., 2012).

A palma estabelece alta interação com o ambiente de cultivo (DONATO et al., 2014; 2016; BARROS et al., 2016; DONATO et al., 2017b), portanto, pressupõe-se que a sua capacidade de absorção de nutrientes, desenvolvimento vegetativo e da estrutura da planta, rendimento e qualidade da forragem produzida estão em função da inter-relação de fatores edafoclimáticos, sistema de produção (manejo) e o genótipo da planta (Figura 1). Desse modo, tem-se o desafio de estabelecer a melhor relação planta-ambiente-homem e maximizar o potencial produtivo da cultura (BLANCO-MACÍAS et al., 2010; DONATO et al., 2014; SILVA et al., 2016; LÉDO et al., 2019, 2020).

Apesar do potencial de adaptação da cultura às condições do semiárido, do aperfeiçoamento das práticas de cultivos estabelecidas pelos agricultores ao longo dos anos e dos avanços nas pesquisas com a cultura, os sistemas de produção da palma forrageira ainda podem ser melhorados (DONATO et al., 2017c; ALVES et al., 2019).

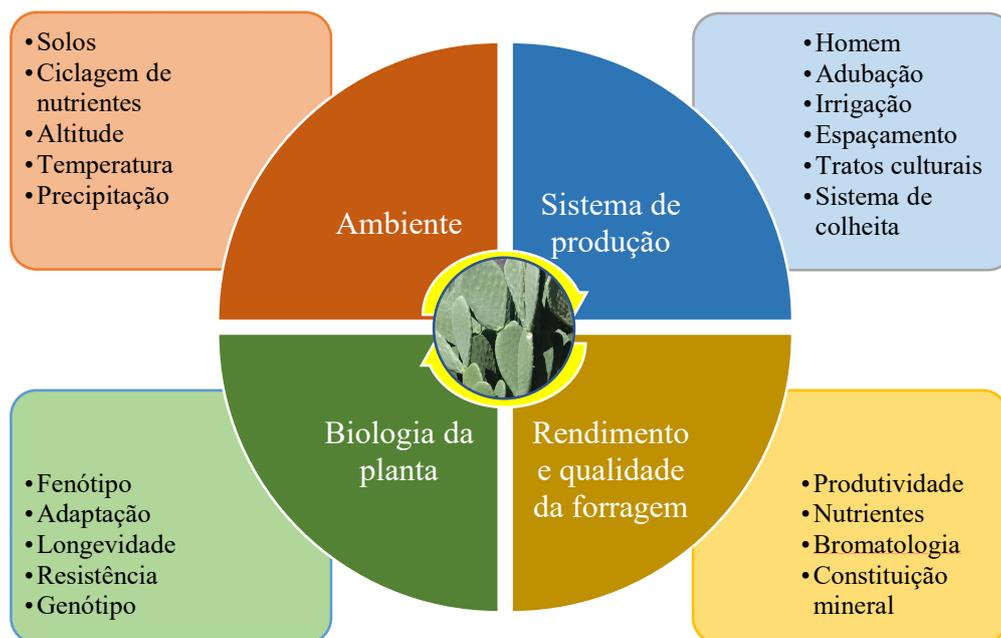


Figura 1. Modelo esquemático de pressuposição de que o rendimento e qualidade da palma forrageira ocorrem em razão da inter-relação de fatores relacionados ao ambiente de cultivo, sistema de produção (manejo adotado pelo agricultor) e a biologia da planta (genótipo e características inerentes à fisiologia da planta).
Fonte: Elaboração do autor.

Nesse contexto, objetivou-se, com o presente trabalho, inter-relacionar os atributos dos solos de diferentes agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi, ao detalhamento dos sistemas tradicionais de produção de palma forrageira 'Gigante' (*Opuntia ficus-indica* Mill), à avaliação da estrutura da planta, à composição mineral e bromatológica dos cladódios ao rendimento e à produtividade dos cultivos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. DO S. M. A.; SIVA, F. F.; DONATO, S. L. R.; SCHIO, A. L. R.; DICASTRO DIAS de SOUZA, D. D. DE; MENESES, M. de A.; LÉDO, A. A. Síntese de proteína microbiana e concentração de ureia em novilhas leiteiras alimentadas com palma forrageira *Opuntia*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 999-1012, 2015a. <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p999>.

ALVES, J. F. T.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. DA; GUIMARÃES, B. V. C. Establishment of sufficiency ranges to determine the nutritional status of 'Gigante' Cactus Pear - Macronutrients. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 18, p. 213-221, 2019a. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n18p213>.

BARROS, J. L. DE; Donato, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. DA; PADILHA JÚNIOR, M. C. Palma forrageira 'Gigante' cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n.1, p.53-65, 2016.

BLANCO-MACÍAS, F.; MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; VÁZQUEZ-ALVARADO, R.; OLIVARES-SÁENZ, E.; GUTIÉRREZ-ORNELAS, E.; VIDALES-CONTRERAS, J. A.; MURILLO-AMADOR, B. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, v. 173, p. 927-934, 2010. <https://dx.doi.org/10.1002/jpln.200900147>.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Relatório final. **Grupo de trabalho para delimitação do semiárido**. Brasília: MI, 2017. 345p. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/conselhodeliberativo/regimento-e-documentos/resolucoes/103-a-109>>. Acesso em: 10 Jul. 2018.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, v. 27, p.163 -172, 2014.

DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. M.; BRITO, C. F. B.; RODRIGUES, M. G. V.; SILVA, J. A. DA; DONATO, P. E. R. Considerações sobre clima semiárido e ecofisiologia da palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v.38, n.296, p.7-20, 2017a.

DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. DA; RODRIGUES, M. G. V. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira 'Gigante'. **Informe Agropecuário**, v. 38, n. 296, p. 46-58, 2017b.

DONATO, S. L. R.; SILVA, J.A. DA; DONATO, P. E. R.; RODRIGUES, M. G. V.; RUFINO, L. D. DE A.; SILVA JÚNIOR, A. A e. Exigências nutricionais e manejo da adubação em palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v. 38, n. 296, p. 62-75, 2017c.

FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. 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: UFPE, 2005. p.81-104.

GOMES, G. M. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; LOPES, M. N.; MARANHÃO, T. D.; ANDRADE, D. R. DE; COSTA, J. F. M.; SILVEIRA, W. M.; NEIVA, J. N. M. Chemical composition of cactus pear cladodes under different fertilization and harvesting managements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 2, p. 221-228, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000200011>.

LÉDO, A. A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZU, I.; SILVA, J. A. DA; DONATO, P. E. R.; CARVALHO, A. J. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 413-418, 2019. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p413-418>.

LÉDO, A. A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZU, I.; SILVA, J. A. DA; DONATO, P. E. R.; CARVALHO, A. J. Nutrient concentration and nutritional efficiency in 'Gigante' cactus pear submitted to different spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p.154-161, 2020. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p154-16>.

LOPES, L. A.; CARDOSO, D. B; CAMARGO, K. S.; SILVA, T. G. P. DA; SOUZA, J. DE S. R.; SILVA, J. R. C. DA; MORAIS, J. S. DE; ARAÚJO, T. P. M. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 13, n. 2, a277, p.1-10, 2019. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n3a277.1-10>.

NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E.P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. João Pessoa: SEBRAE-PB: FAO, 2001. p.36-48.

PESSOA, R. A. S.; FERREIRA, M. DE A.; SILVA, F. M. DA; BISPO, S. V.; WANDERLEY, W. L.; VASCONCELOS, P. C. Diferentes suplementos associados à palma forrageira em dietas para ovinos: consumo, digestibilidade aparente e parâmetros ruminais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 3, p. 508-517, Sept. 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402013000300012>.

PIMIENTA-BARRIOS, E.; HERNÁNDEZ, J. Z.; MUÑOZ-URIAS, A.; MURGUÍA, C. R. Ecophysiology of young stems (cladodes) of *Opuntia ficus indica* in wet and dry conditions. **Gayana Botanica**, v. 69, p.232-239, 2012.

RESENDE, M.; CURTI, N.; LANI, J. L. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N.F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.593-644.

SANTOS, D. C.; SILVA, M. C., DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 111-121, 2013.

SANTOS, M. R., DONATO, S. L. R.; COTRIM JÚNIOR, P. R. F. Irrigação da palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, p.75-86, 2020.

SILVA, J. A. DA; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. DOS S., PADILHA JÚNIOR, M. C.; SILVA JUNIOR, A. A. e. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, v. 20, n. 6, p. 564-569, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p564-569>.

WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. DE A.; BATISTA, Â. M. V.; VÉRAS, A. S. C.; SANTOS, D. C. DOS; URBANO, S. A.; BISPO, S. V. Silagens e fenos em associação à palma forrageira para vacas em lactação. Consumo, digestibilidade e desempenho. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 3, p. 745-754. 2012. <https://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402012000300014>.

ZAÑUDO-HERNÁNDEZ, J.; ARANDA, E.G. DEL; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, B.C.; PIMIENTA-BARRIOS, E.; CASTILLO-CRUZ, I. PIMIENTA-BARRIOS, E. Ecophysiological responses of *Opuntia* to water stress under various semi-arid environments. **Journal PACD**, v. 12, p. 20-36, 2010.

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E RENDIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO

(Artigo submetido à Revista Caatinga)

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E RENDIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO

RESUMO - A capacidade de adaptação da palma forrageira às condições edafoclimáticas, associada às suas respostas às alterações no sistema de manejo, contribuem para o maior aproveitamento do seu potencial produtivo e uso na agropecuária do semiárido. Objetivou-se neste trabalho avaliar as características estruturais da planta e os rendimentos da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em diferentes agroecossistemas do semiárido baiano. Para isso, foram analisadas as características estruturais das plantas e os atributos dos solos. Considerou-se o conhecimento tradicional no manejo da cultura e suas inter-relações com os níveis de rendimento, de modo a identificar os melhores índices de produtividade frente às peculiaridades de cada agroecossistema. A altura das plantas, a espessura e o número de cladódios da palma forrageira ‘Gigante’ foram menos afetados pelos agroecossistemas, em detrimento à maior influência dos sistemas de produção. A largura, o comprimento e a área dos cladódios foram influenciados, em maior proporção, pelos agroecossistemas. O rendimento dos palmais, expressos pelas produtividades anual e de massa verde, correlacionou-se positivamente com as características estruturais da planta, como a sua altura e espessura, largura e comprimento dos cladódios. A produtividade de massa de cladódio por planta e a produtividade de massa verde por área foram os rendimentos mais influenciados pelo sistema de manejo adotado pelos produtores tradicionais.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*. Cactaceae. Produtividade. Sistemas de produção.

STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND YIELD OF ‘GIGANTE’ CACTUS PEAR IN AGROECOSYSTEMS OF BAHIA SEMIARID REGION

ABSTRACT - Understanding the adaptation of forage cactus pear to soil and climate conditions as well as the responses of this crop to changes in the management system contributes to a better use of its yield potential under semi-arid conditions. The objective of this study was to evaluate structural characteristics and yield of forage cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill) grown in different agroecosystems in the semi-arid region of Bahia state, Brazil. Structural characteristics of plants and soil attributes were analyzed. Traditional knowledge of crop management and its interrelationships with yield performance were taken into account;

thus, the best yield indexes were identified according to each agroecosystem's specificities. Plant height, plant thickness, and cladode number measured in 'Gigante' cactus pear were less affected by the agroecosystem than crop management. Width, length and area of cladodes were affected, to a greater extent, by agroecosystems. Cactus pear yields, expressed as annual productivity and green mass productivity, positively correlated with plant structural characteristics, such as plant height and thickness, and with width, length and thickness of cladodes. Crop productivity per plant and green mass productivity are the yield-related factors most affected by the crop management used by traditional growers.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*. Cactaceae. Productivity. Cropping systems.

INTRODUÇÃO

O semiárido baiano apresenta dimensão de 446,021 km², que equivale a 39,52% de toda área do semiárido brasileiro (BRASIL, 2017). A resiliência dos agroecossistemas do semiárido contribuiu para a convivência de agricultores tradicionais, mesmo em condições climáticas adversas e de intensa pressão sobre os recursos naturais (RESENDE et al., 2002). Embora resistentes, os sistemas produtivos da palma forrageira são afetados pelos períodos de seca (LUCENA et al., 2016). Essa condição de maior risco de ocorrência de seca, associada aos critérios técnicos de precipitação média anual inferior a 800 mm e índice de aridez inferior ou igual a 0.50, constituem o atual conceito de delimitação do semiárido brasileiro (BRASIL, 2017).

Além do déficit hídrico e da distribuição irregular das precipitações, o sistema de cultivo da palma forrageira é influenciado pelas características ambientais, tipologia do produtor, nível tecnológico, além dos aspectos sociais, econômicos e culturais (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2009; DONATO et al., 2014b; BARROS et al., 2016). A palma forrageira estabelece alta interação com o ambiente de cultivo. A capacidade de absorção de nutrientes e desenvolvimento vegetativo da palma forrageira é resultado de fatores edafoclimáticos, sistema de cultivo e do genótipo da planta (BLANCO-MACÍAS et al., 2010; DONATO et al., 2014b).

O desafio de estabelecer a melhor relação planta-ambiente-homem contribui para a maior resiliência da cultura, fortalece o potencial de adaptabilidade e a longevidade das plantas (DONATO et al., 2014a; DONATO et al., 2017; PADILHA JÚNIOR et al., 2016; SILVA et al., 2016). O melhor conhecimento dos ambientes locais, compartilhamento das experiências

mais promissoras e o reconhecimento das respostas da cultura, frente às especificidades dos diferentes ambientes e manejos, contribuem para melhoria dos índices de rendimento e para a maior sustentabilidade da palma forrageira na região semiárida (SILVA et al., 2012).

As especificidades dos agroecossistemas demandam processos diversificados e ajustes no manejo, com enfoque na sustentabilidade, de modo que as limitações ambientais possam ser mitigadas e os potenciais aproveitados, já que ambientes diferentes demandam manejos específicos (RESENDE et al., 2007; RESENDE et al., 2017).

Diante de sua importância na manutenção dos rebanhos, frente à escassez de água e à necessidade de fortalecer a segurança alimentar e melhorar o uso dos recursos naturais no semiárido, objetivou-se avaliar características estruturais da planta e o rendimento de sistemas de produção da palma forrageira ‘Gigante’ (*Opuntia ficus-indica* Mill) em diferentes agroecossistemas do semiárido baiano.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características gerais da área de estudo

O estudo foi conduzido em diferentes agroecossistemas na microrregião de Guanambi, sobre o domínio do Pediplano Sertanejo, em superfície de aplainamento degradada e desnudada, à jusante da sub-bacia hidrográfica do rio das Rãs. Essas feições evoluíram sobre a geologia do Complexo Guanambi, que tem sua área de ocorrência na porção leste da bacia hidrográfica do médio São Francisco, em extensa região aplainada, cuja monotonia é quebrada pelos grandes *inselbergs* de formas suaves e esparsas. Coberturas Detríticas (Terciário/Quaternário) foram constatadas em pequenas áreas isoladas e planas, em interflúvios, sobre o Complexo Santa Isabel, à montante da sub-bacia do rio das Rãs (BRASIL, 1982).

A área da sub-bacia do rio das Rãs apresenta amplo domínio de Caatinga Hipoxerófila, que faz transição com a Floresta Estacional Decidual (Mata Seca), além da ocorrência de áreas de transição Cerrado-Caatinga (Ecótono) (BRASIL, 1982).

O período chuvoso nessa região ocorre de novembro a abril, com seis meses de estiagem (período seco) de maio a outubro. Os meses de maior escassez de água estão compreendidos de junho a agosto. A média anual de precipitação é inferior a 800 mm. O clima predominante na microrregião de Guanambi, segundo a classificação de Köppen, é BSwH, que corresponde ao clima quente de Caatinga, com chuvas de verão e período seco bem definido. Em menor

proporção, ao leste, ocorre a tipologia Aw, clima tropical chuvoso de floresta com inverno seco e verão chuvoso (SEI, 2014).

Identificação dos agroecossistemas

Foram identificados cinco agroecossistemas contrastantes na microrregião de Guanambi (Figura 1 e Tabela 1) e, dentro desses, selecionaram-se produtores tradicionais de palma forrageira (Tabela 2). Nessa etapa, realizou-se a seleção e apresentação da proposta de estudo junto às comunidades tradicionais e o reconhecimento de cinco agroecossistemas com histórico na produção de palma forrageira. Os agroecossistemas foram estratificados com base na distinção das características de solo, vegetação, relevo, altimetria, tipologia dos produtores e sistemas de produção da palma forrageira, nos locais: 1 - Distrito Irrigado de Ceraíma, Guanambi-BA (14° 17' 40" S; 42° 42' 44" O e 542 m de altitude); 2 - Vale do Iuiu, Iuiu-BA (14° 23' 50" S; 43° 27' 07" O e 507 m de altitude); 3 - Maniaçu, Caetité-BA (13° 48' 50" S; 42° 24' 32" O e 936 m de altitude); 4 - Baixio, Riacho de Santana-BA (13° 32' 08" S; 43° 09' 19" O e 482 m de altitude); 5 - Morrinhos, Guanambi-BA (14° 14' 02" S; 42° 37' 08" O e 843 m de altitude média). A caracterização dos atributos químicos e físicos dos solos de cada agroecossistema onde estão inseridos os sistemas tradicionais de produção de palma forrageira encontra-se na Tabela 1.

Em cada um dos cinco agroecossistemas, foram selecionadas quatro famílias de produtores tradicionais, com sistemas de produção representativos de cada região, totalizando 20 propriedades (Tabela 2).



(a) Ceraíma – Guanambi-Ba



(b) Vale do Iuiu – Iuiu - Ba



(c) Maniaçu – Caetitê - Ba



(d) Baixio – Riacho de Santana - Ba



(e) Morrinhos – Guanambi- Ba

Figura 1. Vista geral das paisagens de ocorrência dos cinco agroecossistemas onde foram selecionados os sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’.
Fotos: Laudiceio Viana Matos.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos dos solos de 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	AG	AF	SIL	ARG	ADA	pH _{H2O}	pH _{KCl}
	----- (g kg ⁻¹) -----					-----	
Ceraíma	280	390	170	160	30	5.78	5.12
Iuiu	60	80	500	360	110	6.25	5.68
Maniaçu	530	220	30	220	40	4.38	3.83
Riacho de Santana	610	220	80	90	10	4.50	3.88
Morrinhos	330	150	180	340	80	4.84	4.11
Média	360	210	190	230	60	5.15	4.52
DP	30	20	20	20	10	0.22	0.21
Agroecossistema	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
	----- (mg dm ⁻³) -----			----- (cmol _c dm ⁻³) -----			
Ceraíma	54.33	175.92	28.05	3.36	1.40	0.00	2.42
Iuiu	41.35	261.33	47.00	10.66	2.18	0.00	2.20
Maniaçu	11.59	56.17	3.94	0.83	0.35	0.45	3.44
Riacho de Santana	3.04	37.83	0.00	0.78	0.13	0.40	2.33
Morrinhos	24.15	140.83	1.54	3.04	0.91	0.18	4.57
Média	26.89	134.42	16.11	3.74	0.99	0.21	2.99
DP	24.96	106.53	12.59	1.00	0.20	0.10	0.46
Agroecossistema	SB	t	T	V	m	ISNa	MOS
	----- (cmol _c dm ⁻³) -----			----- (%) -----		----- (dag kg ⁻¹) -----	
Ceraíma	5.33	5.33	7.75	67.89	0.00	1.40	1.62
Iuiu	13.72	13.72	15.92	85.80	0.00	1.50	2.85
Maniaçu	1.34	1.79	4.78	27.09	28.95	0.38	1.43
Riacho de Santana	1.01	1.41	3.34	30.02	29.39	0.00	0.72
Morrinhos	4.32	4.50	8.89	48.53	4.38	0.06	2.00
Média	5.14	5.35	8.14	51.87	12.54	0.67	1.720
DP	1.09	1.08	1.01	5.55	8.49	0.49	0.28
Agroecossistema	P-Rem	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	(mg L ⁻¹)	----- (mg dm ⁻³) -----					
Ceraíma	49.96	2.63	0.47	0.71	63.17	72.46	2.52
Iuiu	39.34	8.13	0.62	1.11	101.82	42.41	3.85
Maniaçu	47.00	2.01	0.68	0.83	19.78	50.45	1.66
Riacho de Santana	50.02	0.65	0.28	0.45	13.13	43.33	0.71
Morrinhos	35.67	1.93	0.81	1.47	77.09	25.06	4.71
Média	44.40	3.07	0.57	0.91	55.00	46.74	2.69
DP	2.42	4.77	0.10	0.17	14.22	14.24	1.23

Notas: Agroecossistema = ambiente de cultivo; Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palméis; Camada = 0-0.20 m; Ambiente = agroecossistemas em que os

palmais foram estudados; AG = areia grossa; AF = areia fina; SIL = silte; ARG = argila; ADA = argila dispersa em água; pH_{H_2O} = pH em água (relação 1:2.5); pH_{KCl} = pH em KCl (relação 1:2.5); P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; P, K e Na - extrator Mehlich-1; Ca^{2+} = cálcio; Mg^{2+} = magnésio; Al^{3+} = alumínio; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} - extrator KCl – 1 mol L⁻¹; H+Al = hidrogênio mais alumínio – extrator acetato de cálcio 0.5 mol L⁻¹ – pH 7.0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7.0; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MOS = matéria orgânica do solo – MOS = Carbono orgânico x 1.724 - Walkley-Black; P-Rem = fósforo remanescente, concentração de P na solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1/10; S = enxofre – extrator fosfato monocálcico em ácido acético; B = boro (extrator água quente); Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; Cu, Mn, Fe e Zn – extrator Mehlich-1.

Tabela 2. Caracterização dos sistemas de produção de palma forrageira ‘Gigante’ e classes texturais dos solos nos agroecossistemas.

P	Local	Dp	Uc	Esp. (m)	Est.	Irrig.	Classe textural	Controle de ervas
----- Ceraíma – Guanambi-BA -----								
1	Ceraíma	2013	2016	1.60x0.40	16	S	Franco-Arenosa	CM e CQ
2	Ceraíma	2012	2016	1.10x0.40	70	N	Franco-Arenosa	CM e CQ
3	Ceraíma	2014	2016	0.80x0.50	90	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM e CQ
4	Ceraíma	2014	2016	1.10x0.50	--	N	Franco-Arenosa	CM e CQ
----- Vale do Iuiu - Iuiu-BA -----								
5	Agreste	2014	2016	1.50x0.40	20	N	Argila	CM e CQ
6	Agreste	2016	---	2.00x0.10	15	S	Franco-Siltosa	CM
7	Poço de Paulo	2016	---	1.80x0.10	16	S	Franco-Argilosa	CM
8	Agreste	2015	---	1.80x0.10	16	S	Franco-Argilo-Siltosa	CM e CQ
----- Maniaçu – Caetitê-BA -----								
9	Junquinho	2016	----	1.60x0.50	17	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM
10	Cardoso	2012	2015	1.50x0.90	90	N	Franco-Arenosa	CM
11	Tabuleiro	2013	2016	1.30x0.90	10	N	Franco-Arenosa	CM
12	Barauninha	2014	2016	1.50x0.60	18	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM
----- Baixio – Riacho de Santana-BA -----								
13	Massal	2013	2015	2.50x1.50	---	N	Franco-Arenosa	CM
14	Várzea da Pedra	2015	---	1.00x0.90	16	N	Areia	CM e CQ
15	Massal	2015	---	1.50x1.10	50	N	Areia Franca	CM
16	Massal	2012	2016	1.40x0.80	90	N	Areia Franca	CM
----- Morrinhos – Guanambi-BA -----								
17	Sacoto	2005	2016	2.00x0.80	---	N	Franco-Argilosa	CM
18	Distrito	2013	2016	1.00x0.60	---	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM
19	Distrito	2010	2016	1.40x1.40	15	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM
20	Distrito	2010	2016	2.80x0.80	48	N	Argilo-Arenosa	CM e CQ

Notas: P = sistema de produção de cada produtor; Dp = data de plantio; Uc = data da última colheita. Quando ausente, indica que ainda não foi colhida; Esp. = espaçamento; Est. = quantidade de esterco bovino aplicado no palmar no último ciclo em Mg ha⁻¹; Irrig. = adoção da prática da irrigação: S – irriga, N – não irriga; CM = controle manual de ervas espontâneas; CQ = controle químico de ervas espontâneas.

OBS.: Os produtores 1, 3 e 4 utilizaram inseticidas, sem acompanhamento técnico; Os produtores 5 e 7 utilizaram ureia e esterco bovino na adubação; O produtor 7 iniciou a irrigação em de julho de 2017; O produtor 12 utilizou sulfato de amônio e esterco bovino na adubação; Na região de Maniaçu, há alta incidência de papagaios que se alimentam da palma; O produtor 17 utiliza ureia na adubação, a cada dois anos; Os produtores 1, 3, 9 e 12 utilizaram óleo mineral para o controle de pragas e doenças. A colheita das amostras experimentais dos sistemas de produção foi realizada entre agosto a setembro de 2017.

Caracterização dos sistemas de produção de palma forrageira de cada família

Atendendo as condições legais previstas na Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde, as entrevistas com as famílias de produtores selecionados foram realizadas por meio de questionários semiestruturados. Esses possibilitaram o levantamento de informações relacionadas ao histórico da área, dados de produção e do sistema de manejo adotado, como data de plantio, adubação, controle de pragas e doenças, controle de ervas espontâneas, época e método de colheita (Tabela 2).

A palma forrageira produzida na região é utilizada, principalmente, na alimentação dos rebanhos bovinos e ovinos. Os sistemas tradicionais de cultivo são conduzidos com base em experiências acumuladas e transmitidas entre as gerações dos produtores, associadas às técnicas apresentadas em programas ou ações de difusão desenvolvidas por instituições de ensino, pesquisa e extensão, por organizações não governamentais de assessoria técnica no semiárido e pelas representações de entidades de classe, como associações comunitárias e sindicatos de trabalhadores rurais.

Esses cultivos tradicionais de palma forrageira, apesar de apresentarem uma baixa adoção de insumos externos à propriedade, ainda demandam incorporação de técnicas e práticas agroecológicas para melhor convivência como o semiárido. Os avanços das pesquisas científicas considerando as especificidades locais podem contribuir para a melhoria e resiliência dos sistemas de produção de palma forrageira, em consonância com a sustentabilidade ambiental.

No trabalho de campo, utilizou-se linguagem simples, procurando-se estabelecer diálogo horizontal e construtivo com os representantes das comunidades tradicionais (MATOS et al., 2014).

Avaliação das características estruturais e do rendimento das plantas

Na caracterização estrutural das plantas, foram avaliadas quatro plantas ao acaso em cada uma das três repetições, sendo 12 plantas por palmal, em 20 propriedades, totalizando 240 plantas (GUIMARÃES et al., 2019).

As características estruturais avaliadas em cada planta foram: ECL – espessura determinada na porção média de todos os cladódios da planta; LCL – largura dos cladódios, na porção de sua maior largura; CCL – comprimento dos cladódios da planta, medido na porção de maior comprimento; NCL – número total de cladódios por planta; ALT – altura da planta, considerando a distância entre a extremidade do cladódio mais alto e o solo; AC – área dos cladódios (cm^2) = CC x LC x 0.693, em que: 0.693 é fator de correção em função da forma de elipse do cladódio (PINTO et al., 2002); ATC – área total dos cladódios; IAC – índice de área dos cladódios, que corresponde à ATC, considerando-se os dois lados e dividida pela área ocupada pela planta no solo (m^2 de área de cladódio m^{-2} de solo).

Os dados de rendimento dos palmais foram obtidos com base na colheita dos cladódios de todas as plantas, realizada entre agosto e setembro de 2017. Cada uma das três repetições, nas 20 propriedades, apresentava área útil média de 14 m^2 e média de 16 plantas. Os cladódios foram cortados na articulação com a planta. Todos os cladódios colhidos tiveram sua massa determinada em campo para as respectivas parcelas e produtores e, posteriormente, foram estimadas as produtividades. As variáveis analisadas na determinação do rendimento dos palmais foram: PANUAL – produtividade anual de cada palmal nas diferentes propriedades; PPL – produção por planta em cada ciclo anual; PMV – produtividade de massa verde, anual ou bianual, dependendo do tempo entre a última colheita; e PMS – produtividade de matéria seca, calculada com base no teor de MS do tratamento multiplicado pela PMV.

Considerando a dependência dos dados de cada sistema de produção dentro dos agroecossistemas, utilizou-se o delineamento em modelo hierárquico. Esse delineamento refere-se à estrutura dos fatores e seus níveis e é utilizado quando os níveis de um fator B só ocorrem em determinados níveis de um fator A. No presente trabalho (Figura 2), o fator A corresponde às regiões ou agroecossistemas, e o fator B aos sistemas de produção representados pelos produtores e suas propriedades (P) dentro de uma determinada região. As características avaliadas (estruturais e de rendimento) estão associadas às plantas de palma forrageira ‘Gigante’ de um determinado agroecossistema, que representam um sistema de produção específico, assim a condição hierárquica está satisfeita (RIBEIRO JÚNIOR; MELO, 2008). Além da análise de variância, o modelo hierárquico também estima os componentes de

variância e investiga a composição da variância total, ou seja, determina quanto da explicação da variação está contida nos diferentes fatores dos níveis hierárquicos (DIAS; BARROS, 2009).

Para a análise estatística dos dados, utilizou-se o SAEG (Sistema de Análises Estatísticas), versão 9.0 da Universidade Federal de Viçosa, por meio do procedimento ANOVA/Modelos Hierárquicos aninhados (*Nested*) (RIBEIRO JÚNIOR; MELO, 2008). Nos casos das variâncias significativamente diferentes de zero, que indicaram a existência de, pelo menos, uma diferença entre agroecossistemas e entre os sistemas de produção dentro de cada agroecossistema, aplicou-se o teste de Tukey ($p \leq 0.05$) para comparar as médias das variáveis avaliadas.

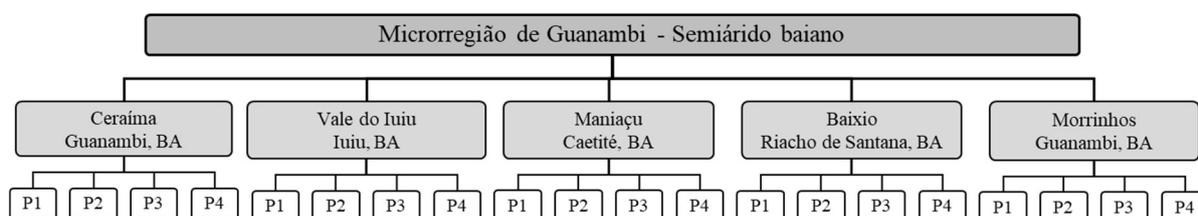


Figura 1. Esquema do experimento em delineamento hierárquico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise de correlação, depreende-se que os rendimentos dos palmais, expressos pelas produtividades, anual e de massa verde, da palma forrageira, evidenciam correlações significativas, positivas e de maior magnitude com a altura da planta e espessura, largura e comprimento dos cladódios (Tabela 3). A maior densidade de plantio (Tabela 5) utilizada nos agroecossistemas em Iuiu e Ceraíma, aliada à maior fertilidade dos solos desses ambientes (Tabela 1) e ao uso da irrigação (Tabela 2), propiciam maior produtividade da palma forrageira (Tabelas 4 e 5).

A altura das plantas (ALT) e a espessura dos cladódios (ECL) foram similares entre os palmais estabelecidos nos agroecossistemas contrastantes, e também entre os sistemas de produção dentro de cada ambiente ($p \leq 0.05$) (Tabelas 4 e 5). Com base nas composições da variância total, as explicações da variação de ALT e ECL estão concentradas nos sistemas de produção dos produtores, com, respectivamente, 57.61 e 69.89%, em detrimento do efeito dos ambientes e das plantas (Tabela 4).

Tabela 3. Correlação entre características estruturais e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ de 20 sistemas de produção tradicionais distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Variável	DENS	ALT	NCL	ECL	LCL	CCL	APL	PMV	PMS
ALT	0.1255 ^{ns}	1							
NCL	-0.4400*	0.4225**	1						
ECL	0.2989*	-0.0749 ^{ns}	-0.0073 ^{ns}	1					
LCL	0.1643 ^{ns}	0.2021 ^{ns}	-0.2561*	0.4009**	1				
CCL	-0.1201 ^{ns}	0.3605**	0.1646 ^{ns}	0.2181*	0.7992**	1			
APL	-0.6626**	-0.2638*	0.3160**	-0.0162 ^{ns}	-0.2604*	-0.1377 ^{ns}	1		
PMV	0.2899*	0.6419**	0.2847*	0.4736**	0.4019**	0.3912**	-0.3814**	1	
PMS	0.1407 ^{ns}	0.7433**	0.4173**	0.0709 ^{ns}	0.3585**	0.4984**	-0.4201**	0.8107**	1
PANUAL	0.2789*	0.6076**	0.2949*	0.4428**	0.4194**	0.4919**	-0.4305**	0.8816**	0.7519**

Nota: DENS = população de plantas por hectare; ALT = altura da planta; NCL = quantidade de cladódios por planta; ECL = espessura do cladódio; LCL = largura do cladódio; CCL = comprimento do cladódio; APL = área ocupada por cada planta no arranjo espacial do palmar; PMV = produtividade de massa verde; PMS = produtividade de massa seca; PANUAL = produtividade anual do palmar; ^{ns} = não significativo; nível de significância: ** = 1% e * = 5%.

As plantas apresentaram altura média de 1.03 m, com coeficiente de variação (CV) de 12.38% e espessura média de cladódio de 1.50 cm, com CV de 18.59%. Ambos correspondem a uma variabilidade baixa, conforme classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002).

As variações no comprimento (CCL) e largura dos cladódios (LCL) foram significativas entre os agroecossistemas, provavelmente, em resposta às diferenças ambientais (Tabela 1), conforme a composição da variância total (Tabelas 4 e 5). Esses resultados corroboram com os de Barros et al. (2016), no entanto, Mondragón-Jacobo e Pérez-González (2001) relataram que o tamanho dos cladódios é determinado pelo genótipo e, em menor grau, pelo arranjo espacial das plantas e fertilidade do solo. O uso de única cultivar e da propagação vegetativa na mesma microrregião não isentou a possibilidade de ocorrer diferenças nos clones ou mesmo variação somaclonal, o que pode se somar às diferenças ambientais e colaborar para existência de variabilidade genética na cultivar ‘Gigante’ utilizada nos sistemas de produção.

Tabela 4. Análise de variância das características estruturais e de rendimento das plantas da palma forrageira ‘Gigante’, de 20 sistemas de produção tradicionais distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Variável	Fontes de Variação							
	Agroecossistema		Produtor / Agroecossistema			Planta / Produtor		
	(Gl = 4; F _{tab} = 2.61)		(Gl = 15; F _{tab} = 1.92)			(Gl = 40)		
	Qm	%	F _{calc}	Qm	%	F _{calc}	Qm	%
ALT	0.19*	12.59	11.87	0.11*	57.61	6.80	0.02	29.80
NCL	234.18*	5.15	9.61	183.69*	65.01	7.53	24.38	29.84
ECL	1.16*	8.19	15.05	0.82*	69.89	10.57	0.08	21.92
LCL	29.19*	49.90	25.48	4.02*	22.83	3.51	1.15	27.26
CCL	76.98*	53.36	21.18	7.84*	12.98	2.16	3.63	33.66
APL	6.63*	41.87	43.61	1.48*	43.29	9.75	0.15	14.84
AC	37236.57*	52.38	22.97	4253.61*	16.73	2.62	1620.88	30.89
ATC	1.50*	17.50	13.60	0.71*	53.17	6.44	0.11	29.34
IAC	25.48*	43.32	39.32	5.30*	39.99	8.19	0.65	16.69
MCL	258724.20*	21.01	9.12	96101.30*	35.01	3.39	28365.42	43.98
NCLT	15983810.00*	38.80	17.2	3188035.00*	27.41	3.43	928596.60	33.79
PANUAL	22681.53*	36.90	27.57	5639.21*	41.72	6.85	822.69	21.38
PPL	182.07*	7.58	10.20	128.27*	62.25	7.19	17.84	30.17
DENS	845552400.00*	60.91	281.18	111715500.00*	36.09	37.15	3007105.00	3.00
PMV	26156.68*	21.87	25.90	11273.06*	60.32	11.16	1009.85	17.81
PMS	119.25*	37.61	29.14	29.18*	41.89	7.13	4.09	20.50

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / Agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; Planta / Produtor = efeito do genótipo da planta em cada sistema de produção; Gl = grau de liberdade; F_{tab} = F tabelado; F_{calc} = F calculado; Qm = quadrado médio; % = porcentagem da composição da variância total ou quanto da explicação da variação está contida nos níveis hierárquicos; Ambiente = locais de estudo dos palmais; Produtor = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; ALT = altura da planta; NCL = quantidade de cladódios por planta; ECL = espessura do cladódio; LCL = largura do cladódio; CCL = comprimento do cladódio; APL = área ocupada por cada planta; AC = área dos cladódios; ATC = área total dos cladódios; IAC = índice de área dos cladódios; MCL = massa média de cada cladódio; NCLT = quantidade estimada de cladódios em uma tonelada; PANUAL = produtividade anual da palma em cada sistema de produção; PPL = produtividade anual da palma por planta; DENS = densidade, corresponde ao número de plantas por hectare; PMV = produtividade de massa verde; PMS = produtividade de massa seca; * = nível de significância de 5%.

Houve diferenças no intervalo do ciclo de colheita, com plantas que não foram colhidas desde o plantio e outras que completaram um ou dois anos após a última colheita na ocasião que todas foram colhidas para obtenção dos dados do presente trabalho (Tabela 2). Os agroecossistemas de Morrinhos e Ceraíma se destacaram pela maior produção de cladódios por planta, entre 24 e 28. Contudo, o aumento da densidade de plantio por área, que provoca a

redução do número de cladódio por planta, contribui para o aumento da produtividade da palma forrageira até o seu potencial biológico.

Quanto às dimensões, em Maniaçu, foram produzidos cladódios com maior largura e se igualaram à Ceraíma, no maior comprimento (Tabela 5). Essas respostas de maiores proporções nas características dos cladódios produzidos em Maniaçu ocorrem mesmo em condições de solos de baixa fertilidade natural, se comparado às demais regiões (Tabela 1). Maniaçu está assentada à altitude média de 936 m, correspondendo, assim, à mais elevada entre as regiões estudadas (Ceraíma 542 m, Iuiu 507 m, Riacho de Santana 482 m e Morrinhos com 843 m), condição que propicia noites com temperaturas mais amenas, consoante às exigências fisiológicas da cultura, favorecendo a captação de CO₂ (SANTOS et al, 2013). Contudo, baseando-se na porcentagem de composição da variância, a NCL foi mais influenciada pelo sistema de manejo dos produtores (Tabela 4).

Em experimento realizado na região de Ceraíma – Guanambi-BA, Padilha Júnior et al. (2016) observaram que a largura dos cladódios não foi influenciada pela adubação, contudo, Barros et al. (2016) constataram esse efeito. No presente trabalho, as diferenças observadas na largura dos cladódios demonstram um contraste mais significativo entre os agroecossistemas (49.90%) do que na *praxis* dos produtores ao manejarem a cultura, que perpassa o efeito da adubação, por exemplo (Tabelas 4 e 5).

Na maioria dos cultivos tradicionais de palma, a primeira colheita de cladódios é feita com dois anos após o plantio (SILVA; SAMPAIO, 2015). Já nas regiões de solos com boa fertilidade natural (Tabelas 1 e 2) e com base na demanda da forragem, o intervalo nas colheitas seguintes pode ser reduzido para um ano (DONATO et al., 2014b; DONATO et al., 2017). Com a exceção do produtor 08 na região de Iuiu, do produtor 10 em Maniaçu e dos produtores 13, 14 e 15 de Riacho de Santana, que colheram os cladódios com dois anos, os demais a fizeram em apenas um ano após a última colheita. Farias et al. (2005) relataram que as colheitas bianuais propiciam maior longevidade aos palmais, contudo, é a demanda e a necessidade de compensar restrições edafoclimáticas locais que define esse período.

Na ocasião da colheita, ocorrem variações no número de cladódios residuais mantidos na planta pelos produtores. Em Iuiu, os produtores colhem todos os cladódios, restando apenas a planta-mãe, assim como os produtores 09 e 12 de Maniaçu e o produtor 14 de Riacho de Santana. Nos demais agroecossistemas, são preservados dois a três cladódios residuais para promover uma rebrota mais vigorosa e proporcionar maior longevidade dos palmais (Tabela 2). Essa prática propicia a manutenção de maior área fotossintética e de reserva na planta (DONATO et al., 2014a).

Tabela 5. Características estruturais da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em 20 sistemas de produção tradicionais distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	NCL (un)	LCL ----- (cm) -----	CCL -----	APL (m ²)	AC ----- (cm ²) -----	ATC -----	IAC (m ² m ⁻²)	
----- Agroecossistema (ambiente) -----								
Ceraíma	24.00ab	15.74b	32.15a	0.58c	351.64a	1.71a	3.11a	
Iuiu	18.00c	14.70bc	27.62bc	0.33c	281.90b	1.01bc	3.92a	
Maniaçu	19.00bc	17.10a	31.72a	1.08b	377.30a	1.39ab	1.24b	
Riacho de Santana	18.00c	13.33d	26.34c	2.00a	244.43b	0.86c	0.50b	
Morrinhos	28.00a	13.60cd	29.00b	1.85a	276.44b	1.52a	1.13b	
Média	21.00	14.90	29.36	1.17	306.34	1.30	1.98	
DP	4.94	1.07	1.91	0.39	40.26	0.33	0.81	
CV (%)	23.12	7.19	6.49	33.40	13.14	25.57	40.63	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
Ceraíma	1	30a	16.20	33.44	0.64	375.45	2.26a	3.53ab
	2	26ab	15.54	31.73	0.63	343.25	1.72ab	2.83ab
	3	23ab	16.37	31.39	0.43	356.93	1.66ab	4.09a
	4	18b	14.85	32.03	0.61	330.92	1.18b	2.00b
Iuiu	5	30a	13.70	28.61	0.77	271.51	1.63a	2.30b
	6	4c	15.94	27.47	0.20	304.25	0.21b	1.10b
	7	18b	14.53	27.44	0.19	276.57	0.96a	5.26a
	8	22ab	14.61	26.94	0.18	275.25	1.23a	7.02a
Maniaçu	9	10b	16.66ab	29.27b	0.83	338.04b	0.66b	0.84
	10	26a	16.83ab	31.74ab	1.37	372.13ab	1.92a	1.41
	11	28a	16.00b	31.74ab	1.20	352.16b	1.99a	1.68
	12	11b	18.89a	34.14a	0.93	446.85a	0.97b	1.05
Riacho de Santana	13	28a	12.92ab	26.73ab	3.76a	239.56	1.32a	0.34
	14	11b	12.60b	23.92b	0.89c	208.90	0.46b	0.53
	15	13b	14.97a	28.57a	1.58bc	296.77	0.80ab	0.52
	16	18ab	12.83ab	26.13ab	1.76b	232.46	0.82ab	0.61
Morrinhos	17	27	14.11a	29.87ab	2.47a	292.69ab	1.53	0.69
	18	28	11.56b	26.87b	0.53b	215.69b	1.17	2.25
	19	24	15.41a	31.40a	2.09a	339.57a	1.69	0.86
	20	32	13.33ab	27.86ab	2.32a	257.79ab	1.67	0.73

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / Agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; NCL = quantidade de cladódios por planta; LCL = largura do cladódio; CCL = comprimento do cladódio; APL = área ocupada por cada planta; AC = área dos cladódios; ATC = área total dos cladódios; IAC = índice de área dos cladódios. Com exceção dos produtores 8, 10, 13, 14 e 15 que colheram os cladódios com dois anos, os demais o fizeram com o intervalo de apenas um ano após a última

colheita. Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada agroecossistema, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). A ausência de letras na coluna da variável indica diferenças não significativas.

Em Morrinhos, a diferença no número de cladódios das plantas entre os diferentes produtores não foi significativa (Tabela 5). Isso pode sugerir maior proximidade das técnicas utilizadas nos sistemas de produção. Em experimento realizado em quatro locais do semiárido do Estado de Pernambuco, com o clone IPA 20 de palma forrageira, Dubeux Junior et al. (2006) relataram maior número de cladódios em menores densidades de plantio, constituindo relação inversa em virtude da maior superfície de solo explorado.

Nos agroecossistemas de Ceraíma e Iuiu, foi constatada a homogeneidade na largura e comprimento dos cladódios (Tabela 5). Maniaçu, Riacho de Santana e Morrinhos apresentaram apenas dois níveis de diferenciação de APL, demonstrando, assim, menor variabilidade nos espaçamentos utilizados pelos produtores em cada região, com a exceção de Riacho de Santana, que apresentou três níveis de espaçamentos adotados pelos produtores (Tabela 5). A APL apresentou correlação significativa e positiva com o NCL, com magnitude baixa, e esta última associou de forma inversa e significativa com a densidade de plantio (Tabela 3). Isso demonstra que a disponibilidade de maior área por planta favorece a emissão de maior número de cladódios.

Dentre os sistemas de produção estudados, um produtor de Ceraíma e outros três de Iuiu irrigam os seus palméis (Tabela 2), mesmo sem acompanhamento técnico da lâmina a ser aplicada e do respectivo turno de rega. Apesar do uso da irrigação, a espessura dos cladódios não diferiu (Tabela 4). Contudo, a aplicação de água, mesmo em quantidades mínimas, consiste em uma opção viável para garantir produções mais satisfatórias diante das condições adversas do semiárido (LIMA et al., 2015) e aumenta a produtividade (FONSECA et al., 2019).

Nos agroecossistemas de Iuiu e Ceraíma, alcançaram-se os maiores índices de área dos cladódios (IAC), com 3.92 e 3.11 m² de cladódio por m² de solo, respectivamente (Tabela 5). De acordo com Nobel (2001), IAC de 4 a 5 pressupõe que a área de ambas as faces dos cladódios é quatro a cinco vezes maior que a área do solo, alcançando, assim, morfologia propícia para a produtividade máxima. Em contrapartida, quando o IAC ultrapassa esses valores, tem-se redução na produtividade do palmeal (NOBEL, 2001).

No presente trabalho, o IAC manteve amplitude de 0.50 a 3.92 e coeficiente de variação de 40.63% (Tabela 5), que configura variabilidade muito alta (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). O arranjo espacial entre plantas afeta o índice de área de cladódios (IAC), mesmo que se mantenha a densidade de plantio (DONATO et al., 2014a).

Por estarem inseridos em agroecossistemas constituídos de solos com menor capacidade de retenção de água e nutrientes (Tabela 1) e os produtores não irrigarem (Tabela 2), os palmais estudados em Riacho de Santana demandaram, em média, 4,714 cladódios para completarem carga de uma tonelada (megagrama, Mg) (Tabela 6). Nos demais agroecossistemas, com semelhança estatística ($p \leq 0.05$), a massa de cada cladódio variou entre 466 a 642 g, superior aos 245 g dos cladódios de Riacho de Santana (Tabela 6).

Considerando-se os palmais dentro de cada agroecossistema, constatou-se que não houve diferença significativa no número de cladódios necessários para formar uma tonelada, em Ceraíma, Iuiu e Maniaçu. Isso demonstra menor variabilidade estrutural no cladódio produzido entre os palmais pertencentes a cada um desses agroecossistemas (Tabela 6).

Comparando-se o potencial produtivo dos palmais entre os agroecossistemas, Ceraíma e Iuiu expressaram as maiores produtividades anuais, com 131.73 e 101.74 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Tabela 6). O coeficiente de variação da produtividade anual entre todos os agroecossistemas estudados foi de 35.36%, configurando variabilidade muito alta (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

Essas produtividades refletem o potencial produtivo dos palmais com base nas práticas de cultivo adotadas em cada agroecossistema e, em menor proporção, nas condições edafoclimáticas locais (Tabela 4). O homem é o principal agente e objeto de todo esse processo, assim, seu interesse, capacidade de inversão financeira, saber popular e/ou o seu conhecimento técnico influenciam a adoção de práticas agrícolas (RESENDE et al., 2002).

A possibilidade do uso da irrigação, em alguns palmais do perímetro irrigado de Ceraíma e no Vale do Iuiu (Tabela 2), contribuiu para a elevação na produtividade desses palmais (FONSECA et al., 2009), comparando-se aos agroecossistemas com solos de baixa fertilidade e com déficit hídrico, como Riacho de Santana (Tabela 1). Os palmais de Riacho de Santana expressaram as menores produtividades, com média de 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 6). A baixa produtividade por planta nos palmais de Iuiu, em média 5.54 kg por colheita, foi equiparada à de Riacho de Santana com 5.03 kg, a despeito da maior fertilidade natural dos solos em Iuiu (Tabela 1).

Tabela 6. Rendimento médio da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em 20 sistemas de produção tradicionais distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	PANUAL (Mg ha ⁻¹)	PPL (kg pl. ⁻¹)	DENS (pl. ha ⁻¹)	MCL (g)	NCLT (n° cl. Mg ⁻¹)	PMV --- (Mg ha ⁻¹) ---	PMS	
----- Agroecossistema (ambiente) -----								
Ceraíma	131.74a	9.25ab	14,617b	468.88a	2,696.31b	131.74a	11.46a	
Iuiu	101.75ab	5.54b	26,603a	549.85a	2,121.87b	129.73a	9.89a	
Maniaçu	88.58b	13.85a	9,317c	642.37a	1,708.29b	117.60a	9.77a	
Riacho de Santana	15.12c	5.03b	6,657d	245.85b	4,713.96a	24.66c	3.79b	
Morrinhos	68.43b	12.09a	6,621d	466.07a	2,752.61b	68.43b	6.10b	
Média	81.12	9.15	12,763	474.60	2,798.61	94.43	8.20	
DP	28.68	4.22	1,734.10	168.42	963.64	31.78	2.02	
CV (%)	35.36	46.16	13.59	35.49	34.43	33.65	24.66	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor/agroecossistema) -----						
Ceraíma	1	202.64a	14.40a	14,067ab	645.99	2,319.23	202.64a	11.99ab
	2	75.76b	7.65ab	10,692b	411.17	2,674.54	75.76b	10.32ab
	3	182.53a	11.04ab	16,863a	533.26	2,071.89	182.53a	14.31a
	4	66.03b	3.91b	16,846a	285.10	3,719.60	66.03b	9.21b
Iuiu	5	65.80b	5.49	12,126d	319.14b	3,164.86	65.80b	12.63a
	6	55.86b	1.31	42,222a	781.67a	1,388.33	55.86b	3.04b
	7	173.39a	7.18	24,113c	618.18ab	1,639.90	173.39a	11.19a
	8	111.93ab	8.19	27,949b	480.40ab	2,294.39	223.86a	12.68a
Maniaçu	9	51.54b	4.55b	11,238	530.42b	1,988.85	51.54b	5.39b
	10	116.05a	30.07a	7,743	904.40a	1,150.63	232.09a	14.78a
	11	106.69ab	12.05b	9,004	472.28b	2,127.01	106.69b	11.92a
	12	80.05ab	8.72b	9,284	662.38ab	1,566.67	80.05b	7.00b
Riacho de Santana	13	14.78	11.20a	2,571b	360.81	2,835.67b	29.56	3.38
	14	8.52	1.92b	9,308a	201.47	5,857.80a	17.03	2.60
	15	14.85	3.94ab	7,542a	252.85	4,212.06ab	29.70	5.23
	16	22.33	3.05ab	7,208a	168.26	5,950.33a	22.33	3.96
Morrinhos	17	44.08	8.50b	5,261b	329.35b	3,142.58ab	44.08	6.20
	18	71.56	5.82b	12,067a	228.26b	4,459.66a	71.56	7.56
	19	102.00	20.20a	5,010b	737.77a	1,650.29b	102.00	6.70
	20	56.08	13.82ab	4,144b	568.90ab	1,757.92b	56.08	3.97

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; pl. = plantas; cl. = cladódio; PANUAL = produtividade anual da palma em cada sistema de produção; PPL = produtividade anual da palma por planta; DENS = densidade, corresponde ao número de plantas por hectare; MCL = massa média de cada cladódio; NCLT = quantidade estimada de cladódios em uma tonelada; PMV = produtividade de massa verde; PMS = produtividade de massa seca. Com exceção dos produtores 8, 10, 13, 14 e 15 que colheram os cladódios com dois anos, os demais o fizeram com o intervalo de apenas um ano após a última colheita. Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada ambiente, não diferem entre si,

pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou diferenças significativas para o referido ambiente.

A baixa produtividade por planta foi compensada com o sistema de produção utilizando plantio mais adensado em Iuiu (26,603 plantas ha^{-1}), diferentemente de Riacho de Santana e Morrinhos, com 6,657 e 6,621 plantas ha^{-1} , respectivamente (Tabela 6). O aumento da população de plantas potencializa a produtividade da palma forrageira ‘Gigante’ até o potencial biológico da planta e considerando as práticas adequadas de cultivo (DONATO et al., 2014a; SILVA et al., 2016). A população de plantas por hectare (DENS) registrou correlação significativa e positiva com a produtividade de massa verde e espessura do cladódio, ainda que com baixa magnitude (Tabela 3).

Os palméis estudados em Iuiu apresentaram diferenças significativas na densidade de plantio ($p \leq 0.05$), enquanto que, em Maniaçu se manteve uniforme em todos os sistemas de produção (Tabela 6). Isso demonstra a influência de peculiaridades nos sistemas de manejo adotados em cada agroecossistema, conforme o caso dos cultivos em Iuiu, onde se constatou maior influência de práticas oriundas de outras regiões do país; principalmente do Estado de Pernambuco, com o manejo do corte na colheita, preservando apenas o cladódio mãe na planta. Com essa prática, colhem-se dois ou três cladódios a mais por planta na primeira colheita, contudo, a planta terá menos reserva para os próximos ciclos (Tabela 2).

A manutenção dos cladódios secundários propicia o aumento no número de cladódios por planta e a produtividade de forragem, pois possibilitará à planta ter mais reserva (fonte) para aumentar a emissão e a manutenção de novos cladódios (dreno) (LIMA et al., 2016). Isso assume maior importância em razão das condições ambientais, principalmente, da distribuição de chuvas após a colheita (BARROS et al., 2016; BLANCO-MACÍAS et al., 2010).

A produtividade dos cultivos tradicionais é função das condições do sítio, solo e clima, manejo e genótipo, que são inter-relacionados. A ocorrência de temperatura amena, proporcionada por maiores altitudes, conforme o centro de origem da palma forrageira (SANTOS et al., 2013), a disponibilidade de nutrientes no solo, seja por fertilidade natural ou pela adição de fertilizantes, que envolve as condições edáficas e as ações antrópicas de manejo, bem como uso de irrigação e alteração na população de plantas, influenciam na produtividade da palma forrageira.

Por exemplo, temperaturas de até 25 °C /15 °C dia/noite favorecem a captação atmosférica diária de CO₂ (NOBEL, 2001) e, conseqüentemente, contribuem para maiores produtividades (SANTOS et al., 2013). Isso é evidenciado nos estudos de Blanco-Macías et al.

(2010) realizados no México, centro de origem da palma forrageira, com altitude de 2,296 m, temperatura média anual entre 12 °C e 18 °C. Esses autores detectaram PMV (produtividade de massa verde) média, para 10,000 plantas ha⁻¹, de 330 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹, com variação de 60 a 920 Mg ha⁻¹ entre parcelas.

Por outro lado, no semiárido baiano, as condições climáticas, principalmente quanto à temperatura, são menos favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da palma forrageira se comparado ao centro de origem da cultura. No presente estudo, a PMV entre os agroecossistemas variou de 68.43 Mg ha⁻¹, em Morrinhos, a 131.74 Mg ha⁻¹, em Ceraíma, em altitudes de 843 e 542 m, respectivamente, e média geral de 94.43 Mg ha⁻¹ (Tabela 6). Em Ceraíma (Guanambi-BA), com temperatura média anual de 26 °C, Donato et al. (2014a) e Barros et al. (2016), considerando dois ciclos de produção, observaram PMV média, para 20,000 plantas ha⁻¹, de 270.63 Mg ha⁻¹, com variação de 62.41 a 677.25 Mg ha⁻¹ entre parcelas.

As produtividades observadas no presente estudo, foram obtidas em densidade de plantio que variou de 6,621 a 26,603 plantas ha⁻¹. Costa (2018), utilizando essa mesma cultivar, em Ceraíma, no primeiro ciclo de produção, registrou PMV de 102.60 Mg ha⁻¹, com população de 22,857 plantas ha⁻¹ e máxima produtividade de 159.62 Mg ha⁻¹, com população de 69,112 plantas ha⁻¹; seguindo ajuste quadrático, representou 55.57% de aumento na produtividade.

Somada às diferenças climáticas, a maior fertilidade dos solos dos estudos de Blanco-Mácias et al. (2010), com o dobro de matéria orgânica do solo (MOS) e K, com duas vezes e meia mais P, 11 vezes mais Ca e cinco vezes mais Mg, em comparação aos solos dos trabalhos de Donato et al. (2014a) e Barros et al. (2016) e aspectos de manejo, contribuíram para diferenças nas produtividades, pois ambos os grupos de autores trabalharam com *Opuntia ficus-indica*.

A adubação apresenta uma contribuição efetiva para o aumento da produtividade da palma forrageira, seja ela mineral, orgânica ou organomineral, conforme é corroborado em estudos realizados em Ceraíma (Guanambi-BA) com a cultivar ‘Gigante’. Silva et al. (2016) observaram no primeiro ciclo de produção, aumento médio de 135.18% na PMV, 131.67 Mg ha⁻¹, sem adubação, e 309.07 Mg ha⁻¹, com adubação química, utilizando-se doses de 200, 150 e 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O.

A maior disponibilidade de nutrientes dos solos para as plantas também afeta a capacidade de produção da palma forrageira, conforme observou-se, neste estudo, a PMS (produtividade de matéria seca) foi mais elevada nos agroecossistemas com solos de melhor fertilidade natural (Tabela 1). A PMS foi igualmente superior para Ceraíma (11.46 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), Iuiu (9.89 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e Maniaçu (9.77 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Morrinhos, com 6.10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e Riacho de

Santana, com $3.79 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, apresentaram os palmais com as menores PMS (Tabela 6). Em Ceraíma, Donato et al. (2014a) e Barros et al. (2016) constataram aumentos na PMV de 73.90% ($132.20 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $229.90 \text{ Mg ha}^{-1}$) no primeiro ciclo de produção e de 180.00% (90.80 Mg ha^{-1} para $265.60 \text{ Mg ha}^{-1}$) no segundo ciclo de produção, respectivamente, quando compararam áreas sem adubação e áreas adubadas com $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco bovino.

Lédo et al. (2019) observaram incrementos na PMV de 104.20% (73.7 Mg ha^{-1} para 150.5 Mg ha^{-1}) no primeiro ciclo, de 153.32% (97.7 Mg ha^{-1} para 247.8 Mg ha^{-1}) no segundo ciclo e de 175.96% no terceiro ciclo de produção (116.5 Mg ha^{-1} e $321.50 \text{ Mg ha}^{-1}$) quando compararam áreas sem adubação e as que receberam adubação organomineral, equivalente à $90.00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco bovino, mais 600 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio.

A irrigação é outro fator importante no manejo que contribui para a elevação da PMV da palma forrageira. Fonseca et al. (2019), em Ceraíma e, com mesma cultivar, registraram incrementos na PMV de 92.18% (55.81 Mg ha^{-1} para $107.25 \text{ Mg ha}^{-1}$) no primeiro ciclo de produção e de 156.43% (78.53 Mg ha^{-1} para $201.38 \text{ Mg ha}^{-1}$) no segundo ciclo de produção, quando compararam palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob sequeiro e sob irrigação com água salina, mantendo a aplicação de 33% da evapotranspiração de referência (ET_o), a cada três dias.

CONCLUSÕES

A estrutura da planta e o rendimento da palma forrageira são produtos da inter-relação entre os agroecossistemas (ambiente) de cultivo com o sistema de produção agrícola adotado pelo produtor (técnicas de manejo), mais as características das plantas (genótipo).

As variáveis da estrutura da planta mais afetadas pelos agroecossistemas foram o comprimento e a largura dos cladódios. Os sistemas de produção adotados pelos produtores mais afetaram a capacidade de produção de massa de cladódios por planta, a produtividade de matéria verde, a área total de cladódios e o número de cladódios produzidos por planta.

Apesar de serem mais influenciados pelo sistema de produção, a altura de planta e a espessura dos cladódios foram similares entre os palmais estudados. A característica mais afetada pela planta (genótipo) foi a capacidade de produção de massa por cladódio.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, ao Instituto Federal Baiano – *Campus* Guanambi, à Universidade Federal de Viçosa – UFV, aos Sindicatos dos Trabalhadores Rurais de Guanambi e de Caetité, por contribuírem para a viabilização do projeto de pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

REFERÊNCIAS

BARROS, J. L. de et al. Palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.7, n.1, p.53-65, 2016.

BLANCO-MACÍAS, F. et al. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, v.173, p.927-934, 2010.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Relatório final. **Grupo de trabalho para delimitação do semiárido**. Brasília: MI, 2017. 345p. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/conselhodeliberativo/regimento-e-documentos/resolucoes/103-a-109>>. Acesso em: 10 Jul. 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAM BRASIL**. Folha SD-23 Brasília: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. 660 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 29).

COSTA, L.C. **Comportamento da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em diferentes densidades populacionais em arranjo mecanizável**. 2018. 40f. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal Baiano, Guanambi, 2018.

DIAS, L. A. dos S; BARROS, W. S. **Biometria experimental**. Viçosa: Suprema, 2009. 408p.

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**. Recife, v.9, n.1, p.151-158, 2014a.

- DONATO, P. E. R. et al. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.1, p.163 -172, 2014b.
- DONATO, S. L. R. et al. Considerações sobre clima semiárido e ecofisiologia da palma forrageira. **Informe Agropecuário**: Belo Horizonte, v.38, n.296, p.7-20, 2017.
- DUBEUX JUNIOR, J. C. B. et al. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, p.357-372, 2006.
- FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. 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: UFPE, 2005. p.81-104.
- FONSECA, V. A. et al. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 41, n.p. 426-31, 2019.
- GUIMARÃES, B. V. C. et al. Methods for estimating optimum plot size for ‘Gigante’ cactus pear. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.14, p.205-215, 2019.
- LÉDO, A. A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZU, I.; SILVA, J. A. DA; DONATO, P. E. R.; CARVALHO, A. J. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 413-418, 2019. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p413-418>.
- LIMA, G. F. C et al. effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated *Nopalea* forage cactus. **Acta Horticulturae**, v.1067, p.253-258. 2015.
- LUCENA, D. B. et al. Aptidão e Zoneamento Agroclimático da Palma Forrageira para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.4, p.809-819, 2016.
- MATOS, L. M. et al. O conhecimento local e a etnopedologia no estudo dos agroecossistemas da Comunidade Quilombola de Brejo dos Crioulos. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.26 n.3, p.497-510. 2014.
- MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. Germplasm resources and breeding opuntia for fodder production. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. **Cactus (*Opuntia spp*) as forage**. Romi: FAO, 2001. p.21-28.
- NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E.P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. João Pessoa: SEBRAE-PB: FAO, 2001. p.36-48.

- OLIVEIRA JÚNIOR, S. et al. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido Paraibano. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.3, p.7-12. 2009.
- PADILHA JÚNIOR, M. C. et al. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v.11, n.1, p.67-72, 2016.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- PINTO, M. S. C. et al. Estimativa do peso da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) a partir de medidas dos cladódios. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39. Recife, 2002. **Anais...** Recife: SBZ, v.1, p.54-64.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia: Bases para Distinção de Ambientes**. 5. ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322 p.
- RESENDE, M. et al. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.593-644.
- RESENDE, M. et al. Uso das informações pedológicas agrícola e não agrícola. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Pedologia – solos dos biomas brasileiros**. 1ª Ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p.47-110.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; MELO, A. L. P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa: Folha, 2008. 287p.
- SANTOS, D. C. et al. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, Teresina, v.15, n.2, p.111-121, 2013.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (Salvador, Bahia). **Tipologia climática**. Salvador, 2014. Disponível em: http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_koppen_2014.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.
- SILVA, J. A. da et al. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.7, suplemento, p.866-875, 2012.

SILVA, J. A. da et al. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.20, n.6, p.564-569, 2016.

SILVA, R. F.; SAMPAIO, E.V.S.B. Palmas forrageiras *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*: sistemas de produção e usos. **Revista Geama**, Recife, v.2, n.1, p.131-141. 2015.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO

(Artigo submetido à Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Agriambi)

Características bromatológicas da palma forrageira ‘Gigante’ em agroecossistemas do semiárido baiano

Resumo: As condições edafoclimáticas dos agroecossistemas de cultivo, características genóticas da planta e o sistema de manejo adotado podem influenciar a qualidade nutricional da palma forrageira utilizada na alimentação animal. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a composição bromatológica dos cladódios da palma forrageira cv. Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) em agroecossistemas do semiárido baiano. Foram estudados cinco agroecossistemas: 1 - Distrito Irrigado de Ceraíma, Guanambi-BA (14° 17' 40" S; 42° 42' 44" O); 2 - Vale do Iuiu, Iuiu-BA (14° 23' 50" S; 43° 27' 07" O); 3 - Maniaçu, Caetité-BA (13° 48' 50" S; 42° 24' 32" O); 4 - Baixio, Riacho de Santana-BA (13° 32' 08" S; 43° 09' 19" O); 5 - Morrinhos, Guanambi-BA (14° 14' 02" S; 42° 37' 08"). A coleta dos tecidos da palma forrageira foi realizada no período de agosto a setembro de 2017. Utilizou-se delineamento em modelo hierárquico, com as parcelas de plantas dispostas em três repetições dentro do fator sistemas de produção de palma forrageira representado por quatro propriedades, dentro de cinco agroecossistemas, totalizando 20 propriedades de produtores tradicionais. As variáveis bromatológicas mais afetadas pelo agroecossistema de cultivo corresponde aos teores de matéria orgânica e do material mineral na planta. Os sistemas de produção adotados pelos produtores tradicionais de palma forrageira mais afetaram os níveis de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta e fibra em detergente neutro. O genótipo da planta mais influenciou a composição da fibra em detergente neutro nos tecidos dos cladódios.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*, ambiente, qualidade da forragem

Bromatological composition of ‘Gigante’ cactus pear in agroecosystems of Bahia semiarid region

Abstract: Soil and climate conditions of the cropping agroecosystems, plant genotype, and farm system can impact the nutritional quality of cactus pear used to livestock feed. We evaluate the bromatological composition of the cactus pear cv. Gigante cladodes (*Opuntia ficus-indica* Mill) in agroecosystems of the Bahia semiarid region. Five agroecosystems were analyzed: 1 - Ceraíma, Guanambi-BA (14° 17' 40" S, 42° 42' 44" W); 2 - Vale do Iuiu, Iuiu-BA (14° 23' 50" S, 43° 27' 07" W); 3 - Maniaçu, Caetité-BA (13° 48' 50" S, 42° 24' 32" W); 4 - Baixio, Riacho de Santana-BA (13° 32' 08" S, 43° 09' 19" W); 5 - Morrinhos, Guanambi-BA (14° 14' 02" S, 42° 37' 08" W). Cactus pear tissue sampling was performed from August to September 2017. A hierarchical model design was used with three replicate plots arranged in each cactus pear production system, represented by a farm. Thus, four farms were analyzed within each of the five agroecosystems, result in 20 traditional cactus pear farmers. The bromatological variables most affected by the cropping agroecosystem correspond to the levels of organic matter and mineral material in the plant. The production systems adopted by traditional cactus pear producers most affected the levels of dry matter, nitrogen, crude protein and neutral detergent fiber. The genotype of the plant most influenced the composition of the neutral detergent fiber in the tissues of the cladodes.

Key words: *Opuntia ficus-indica*, environment, forage quality

INTRODUÇÃO

A palma forrageira é uma importante fonte alimentar na pecuária do semiárido brasileiro, em razão da adaptabilidade às adversidades edafoclimáticas, potencial de produção de massa verde e como fonte energética na dieta dos animais (Pimienta-Barrios et al., 2012; Aguiar et al., 2015).

A expressiva proporção de água contida em seus cladódios, a capacidade de reserva estratégica de alimento, a resistência às altas temperaturas diurnas, a facilidade de manejo e a baixa exigência em insumos agrícolas contribuem para a expansão do cultivo e a intensificação de pesquisas com a palma forrageira (Silva et al., 2013; Donato et al., 2017; Lédo et al., 2019).

Apesar do potencial de adaptação da cultura às condições do semiárido e do aperfeiçoamento das práticas de cultivo estabelecidas ao longo dos anos, os sistemas de produção da palma ainda podem ser melhorados (Dubeux Junior et al., 2006; Santos et al., 2013). É necessário buscar soluções práticas para otimizar os sistemas de produção de palma e melhorar a qualidade e eficiência de sua forragem na nutrição animal, ampliando os benefícios aos agricultores e permitindo maior consonância nas inter-relações econômicas, sociais e ambientais (Donato et al., 2017).

Diante de sua importância na segurança alimentar dos rebanhos no semiárido brasileiro e da influência do ambiente no desenvolvimento da planta, objetivou-se avaliar a composição bromatológica dos cladódios produzidos em diferentes sistemas de produção da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill), em agroecossistemas do semiárido baiano.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido em 20 propriedades tradicionais de produção de palma forrageira distribuídas em cinco agroecossistemas do semiárido baiano, na microrregião de Guanambi, Bahia.

O clima predominante nessa região, segundo Köppen, é o BSw_h, correspondente ao clima quente de Caatinga, com chuvas de verão e período seco bem definido. Em menor proporção a leste, ocorre a tipologia Aw, clima tropical chuvoso de floresta com inverno seco e verão chuvoso (SEI, 2014). A média anual de precipitação é inferior a 800 mm. O período chuvoso ocorre de novembro a abril, com seis meses de estiagem (período seco), de maio a outubro. Os meses de maior escassez de água estão compreendidos de junho a agosto.

Identificação dos agroecossistemas

Foram selecionados cinco agroecossistemas com histórico de produção da palma forrageira em comunidades tradicionais (Tabela 1) e, dentro de cada um desses, selecionou-se os sistemas de produção de quatro famílias, totalizando 20 propriedades rurais (Tabela 2).

Os agroecossistemas foram estratificados com base na distinção das características dos solos (Tabela 1), relevo, vegetação, altimetria, tipologia dos produtores e sistemas de produção da palma forrageira, a saber: 1 - Ceraíma, Guanambi-BA (14° 17' 40" S, 42° 42' 44" O e 542 m de altitude); 2 - Vale do Iuiu, Iuiu-BA (14° 23' 50" S, 43° 27' 07" O e 507 m de altitude); 3. Maniaçu, Caetité-BA (13° 48' 50" S, 42° 24' 32" O e 936 m de altitude); 4 - Baixio, Riacho de Santana-BA (13° 32' 08" S, 43° 09' 19" O e 482 m de altitude); 5 - Morrinhos, Guanambi-BA (14° 14' 02" S, 42° 37' 08" O e 843 m de altitude).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos dos solos de 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA

Agroecossistema	AG	AF	SIL	ARG	ADA	pH _{H2O}	pH _{KCl}
	----- (g kg ⁻¹) -----					-----	
Ceraíma	280	390	170	160	30	5,78	5,12
Iuiu	60	80	500	360	110	6,25	5,68
Maniaçu	530	220	30	220	40	4,38	3,83
Riacho de Santana	610	220	80	90	10	4,50	3,88
Morrinhos	330	150	180	340	80	4,84	4,11
Média	360	210	190	230	60	5,15	4,52
DP	30	20	20	20	10	0,22	0,21
Agroecossistema	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
	----- (mg dm ⁻³) -----			----- (cmol _c dm ⁻³) -----			
Ceraíma	54,33	175,92	28,05	3,36	1,40	0,00	2,42
Iuiu	41,35	261,33	47,00	10,66	2,18	0,00	2,20
Maniaçu	11,59	56,17	3,94	0,83	0,35	0,45	3,44
Riacho de Santana	3,04	37,83	0,00	0,78	0,13	0,40	2,33
Morrinhos	24,15	140,83	1,54	3,04	0,91	0,18	4,57
Média	26,89	134,42	16,11	3,74	0,99	0,21	2,99
DP	24,96	106,53	12,59	1,00	0,20	0,10	0,46
Agroecossistema	SB	t	T	V	m	ISNa	MOS
	----- (cmol _c dm ⁻³) -----			----- (%) -----		----- (dag kg ⁻¹) -----	
Ceraíma	5,33	5,33	7,75	67,89	0,00	1,40	1,62
Iuiu	13,72	13,72	15,92	85,80	0,00	1,50	2,85
Maniaçu	1,34	1,79	4,78	27,09	28,95	0,38	1,43
Riacho de Santana	1,01	1,41	3,34	30,02	29,39	0,00	0,72
Morrinhos	4,32	4,50	8,89	48,53	4,38	0,06	2,00
Média	5,14	5,35	8,14	51,87	12,54	0,67	1,720
DP	1,09	1,08	1,01	5,55	8,49	0,49	0,28
Agroecossistema	P-Rem	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	(mg L ⁻¹)	----- (mg dm ⁻³) -----					
Ceraíma	49,96	2,63	0,47	0,71	63,17	72,46	2,52
Iuiu	39,34	8,13	0,62	1,11	101,82	42,41	3,85
Maniaçu	47,00	2,01	0,68	0,83	19,78	50,45	1,66
Riacho de Santana	50,02	0,65	0,28	0,45	13,13	43,33	0,71
Morrinhos	35,67	1,93	0,81	1,47	77,09	25,06	4,71
Média	44,40	3,07	0,57	0,91	55,00	46,74	2,69
DP	2,42	4,77	0,10	0,17	14,22	14,24	1,23

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmais; Camada = 0-0.20 m; Ambiente = agroecossistemas em que os palmais foram estudados; AG = areia grossa; AF = areia fina; SIL = silte; ARG = argila; ADA = argila dispersa em água; pH_{H2O} = pH em água (relação 1:2.5); pH_{KCl} = pH em KCl (relação 1:2.5); P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; P, K e Na - extrator Mehlich-1; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl – 1 mol L⁻¹; H+Al = hidrogênio mais alumínio – extrator acetato de cálcio 0.5 mol L⁻¹ – pH 7.0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de

troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MOS = matéria orgânica do solo – MOS = Carbono orgânico x 1.724 - Walkley-Black; P-Rem = fósforo remanescente, concentração de P na solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1/10; S = enxofre – extrator fosfato monocálcico em ácido acético; B = boro (extrator água quente); Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; Cu, Mn, Fe e Zn – extrator Mehlich-1

Tabela 2. Caracterização dos sistemas de produção de palma forrageira ‘Gigante’ e classes texturais do solo em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA

P	Local	Dp	Uc	Esp. (m)	Est.	Irrig.	Classe textural	Controle de ervas
----- Ceraíma – Guanambi-BA -----								
1	Ceraíma	2013	2016	1,60 x 0,40	16	S	Franco-Arenosa	CM e CQ
2	Ceraíma	2012	2016	1,10 x 0,40	70	N	Franco-Arenosa	CM e CQ
3	Ceraíma	2014	2016	0,80 x 0,50	90	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM e CQ
4	Ceraíma	2014	2016	1,10 x 0,50	--	N	Franco-Arenosa	CM e CQ
----- Vale do Iuiu – Iuiu-BA -----								
5	Agreste	2014	2016	1,50 x 0,40	20	N	Argila	CM e CQ
6	Agreste	2016	---	2,00 x 0,10	15	S	Franco-Siltosa	CM
7	Poço de Paulo	2016	---	1,80 x 0,10	16	S	Franco-Argilosa	CM
8	Agreste	2015	---	1,80 x 0,10	16	S	Franco-Argilo-Siltosa	CM e CQ
----- Maniaçu – Caetitê-BA -----								
9	Junquinho	2016	---	1,60 x 0,50	17	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM
10	Cardoso	2012	2015	1,50 x 0,90	90	N	Franco-Arenosa	CM
11	Tabuleiro	2013	2016	1,30 x 0,90	10	N	Franco-Arenosa	CM
12	Barauninha	2014	2016	1,50 x 0,60	18	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM
----- Baixio – Riacho de Santana-BA -----								
13	Massal	2013	2015	2,50 x 1,50	---	N	Franco-Arenosa	CM
14	Várzea da Pedra	2015	---	1,00 x 0,90	16	N	Areia	CM e CQ
15	Massal	2015	---	1,50 x 1,10	50	N	Areia Franca	CM
16	Massal	2012	2016	1,40 x 0,80	90	N	Areia Franca	CM
----- Morrinhos – Guanambi-BA -----								
17	Sacoto	2005	2016	2,00 x 0,80	---	N	Franco-Argilosa	CM
18	Distrito	2013	2016	1,00 x 0,60	---	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM
19	Distrito	2010	2016	1,40 x 1,40	15	N	Franco-Argilo-Arenosa	CM
20	Distrito	2010	2016	2,80 x 0,80	48	N	Argilo-Arenosa	CM e CQ

OBS.: - Os produtores 1, 3 e 4 já utilizaram inseticidas, sem acompanhamento técnico; - Os produtores 5 e 7 utilizam a ureia na adubação, além do esterco bovino; - O produtor 7 iniciou a irrigação a partir de julho de 2017; - O produtor 12 já utilizou sulfato de amônio na adubação, além de esterco bovino; - Em Maniaçu, constatou-se forte incidência de papagaios que se alimentam da palma na região; - O produtor 17 utiliza a ureia na adubação, a cada 2 anos. - Os produtores 1, 3, 9 e 12 já utilizaram o óleo mineral para o controle de pragas e doenças. A colheita das amostras experimentais dos sistemas de produção foi realizada entre agosto a setembro de 2017.

NOTAS: P = Sistemas de produção estudados; Dp = data de plantio; Uc = data da realização da última colheita. Quando não apresenta data, significa que não fora realizada nenhuma colheita; Esp. = espaçamento; Est. = quantidade de esterco bovino

aplicada no palmar durante o último ciclo (Mg ha^{-1}); Irrig. = irriga quando apresenta o “S” e não irriga com “N”; CM = controle manual de ervas espontâneas; CQ = controle químico de ervas espontâneas.

Avaliação das características bromatológicas das plantas

Para a avaliação das características bromatológicas, na ocasião da colheita, coletaram-se, em média, 34 amostras aleatórias de cladódios na parcela, com, aproximadamente, 40 g cada. Usou-se uma serra copo com 5,8 cm de diâmetro e 4,0 cm de profundidade, adaptada a uma furadeira à bateria que, acionada sobre o cladódio, retirava uma porção circular e uniforme do tecido vegetal (Silva et al., 2013; Donato et al., 2014). A coleta dos tecidos dos cladódios foi realizada no período de agosto a setembro de 2017. Essas amostras foram coletadas dentro da área útil de cada uma das três repetições dos 20 sistemas de produção (Tabela 2).

As amostras de massa verde foram preparadas e secadas em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 h e, posteriormente, levadas a um moinho tipo *Wiley* com crivo de malha de 1 mm. No Laboratório de Bromatologia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *Campus* Itapetinga, foram determinadas, nas amostras secas (Silva & Queiroz, 2009), as seguintes frações: MS - teor de matéria seca; N- nitrogênio; PB - proteína bruta; FDN - fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; EE - teor de gordura bruta ou extrato etéreo e MM – material mineral.

Utilizou-se o delineamento em modelo hierárquico considerando a dependência dos dados de cada sistema de produção nos agroecossistemas. As características bromatológicas estão associadas às plantas de palma forrageira ‘Gigante’ de um determinado agroecossistema que representam um sistema de produção específico. Além da análise de variância, o modelo hierárquico estima os componentes e a composição da variância total (Ribeiro Júnior & Melo, 2008).

Na análise estatística, utilizou-se o SAEG (Sistema de Análises Estatísticas), versão 9.0 da Universidade Federal de Viçosa, pelo procedimento ANOVA/Modelos Hierárquicos aninhados

(Ribeiro Júnior & Melo, 2008). No caso das variâncias significativamente diferentes de zero, aplicou-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparar as médias das variáveis avaliadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de extrato etéreo (EE) não diferiram entre os palméis estabelecidos nos agroecossistemas e dentro dos respectivos sistemas de produção ($p \leq 0,05$) (Tabelas 3 e 4). Esse resultado é corroborado por Silva et al. (2013), que observaram a ausência de variação do EE com diferentes espaçamentos e fertilização química. O teor médio de EE foi de $36,5 \text{ g kg}^{-1}$ ($CV = 15,96$) (Tabela 4), superando a média de $28,6 \text{ g kg}^{-1}$ detectada por Silva et al. (2013), e de $29,8 \text{ g kg}^{-1}$, por Cavalcante et al. (2014).

Isso é justificável, pois, em todos os sistemas de produção, foi utilizada apenas a cultivar ‘Gigante’, e a composição da variância total mostra que a variação nos teores de EE está concentrada nas características genotípicas das plantas da palma forrageira (89,55%). Contudo, a despeito do uso de única cultivar e da propagação vegetativa, pode haver diferentes clones ou mesmo variação somaclonal.

Tabela 3. Análise de variância das características bromatológicas dos cladódios da palma forrageira ‘Gigante’ de 20 sistemas tradicionais de produção distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA

Variável	Fontes de Variação							
	Agroecossistema (Gl = 4; $F_{\text{tab}} = 2,61$)		Produtor / agroecossistema (Gl = 15; $F_{\text{tab}} = 1,92$)			Planta / Produtor (Gl = 40)		
	Qm	%	F_{calc}	Qm	%	F_{calc}	Qm	%
MS	103,47*	19,59	25,68	48,43*	63,21	12,02	4,03	17,21
MO	326,73*	87,58	178,09	7,64*	6,37	4,16	1,83	6,04
MM	326,73*	87,58	178,09	7,64*	6,37	4,16	1,83	6,04
N	0,32*	25,95	19,45	0,11*	49,17	6,93	0,02	24,88
PB	12,59*	25,95	19,45	4,49*	49,17	6,93	0,65	24,88
FDN	44,24*	11,73	6,97	24,48*	43,03	3,85	6,35	45,24
FDA	35,44*	35,27	11,00	6,73*	17,23	2,09	3,22	47,50
EE	0,50 ^{ns}	1,27	1,48	0,44 ^{ns}	9,17	1,31	0,34	89,55

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo; produtor = sistema de produção e práticas de manejo adotadas pelo produtor; planta = desempenho e genótipo da planta; Gl = grau de liberdade; F_{tab} = F tabelado; F_{calc} = F calculado; Q_m = quadrado médio; % = porcentagem da composição da variância total, que determina quanto da explicação da variação está contida nos diferentes níveis hierárquicos; Ambiente = locais de estudo dos palmais; Produtor / Ambiente = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional dentro de seus respectivos ambientes; Planta / Produtor = variância contida no resíduo, que no caso se refere aos efeitos atribuídos às plantas de cada produtor; MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; MM = material mineral; N = nitrogênio; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = teor de gordura bruta ou extrato etéreo; ^{ns} = não significativo; * = nível de significância de 5%

Os teores de nitrogênio (N) foram afetados em sua maior parte pelas particularidades dos sistemas de produção (49,17%), superando os efeitos dos ambientes e das plantas (Tabela 3), a despeito de não haver diferenças entre os sistemas de produção identificados pelo teste Tukey (Tabela 4). O teor médio de N foi de 11,2 g kg⁻¹ (CV=11,46%), superando as médias de 6,1 e 8,7 g kg⁻¹ detectadas por Cavalcante et al. (2014) e Pessoa et al. (2013), respectivamente.

Entre os agroecossistemas, a palma forrageira expressou maior valor de N em Maniaçu (13,9 g kg⁻¹) e menor em Morrinhos (9,1 g kg⁻¹), enquanto os outros três agroecossistemas foram similares entre si. Outrossim, para proteína bruta (PB), o maior teor foi registrado em Maniaçu (87,1 g kg⁻¹) e o menor em Morrinhos (59,3 g kg⁻¹). A despeito da baixa fertilidade média do solo em Maniaçu, a menor utilização de esterco em Morrinhos pode ter influenciado nesse resultado. Em Morrinhos, apenas 50% dos produtores utilizaram esterco, com quantidade média de 15,75 Mg ha⁻¹, enquanto, em Maniaçu e Iuiu, 100% dos produtores aplicaram com média de 33,75 Mg ha⁻¹ e 16,75 Mg ha⁻¹, respectivamente. Em Riacho de Santana, com média de 39,00 Mg ha⁻¹ e Ceraíma com 44,00 Mg ha⁻¹, 75% dos produtores usaram esterco (Tabela 2).

O N orgânico é a principal forma de N no solo, originado da decomposição da matéria orgânica, na forma de peptídeos e proteínas, aminoácidos ácidos e ureia (Hawkesford et al., 2012). Contudo, a aplicação de esterco em doses crescentes (0, 30, 60 e 90 Mg ha⁻¹) elevam os teores de N total e de PB da palma forrageira ‘Gigante’ (Donato et al., 2014; Barros et al., 2016). A aplicação de esterco no solo aporta N e P. A interação N e P é sinérgica quanto à absorção, sendo que ambos os nutrientes, em doses adequadas, aumentam mais acentuadamente

a produção que em aplicações isoladas (Silva et al., 2013), pois influenciam as reações fotossintéticas e o metabolismo do carbono, essenciais na assimilação do N.

A palma é, tradicionalmente, considerada uma forrageira com baixo teor de PB, em média, 51,0 g kg⁻¹ (Wanderley et al., 2012; Cavalcante et al., 2014), mas seus teores podem alcançar até níveis de 120 g kg⁻¹, a partir da adubação e tratos culturais que promovam a disponibilização de nutrientes, principalmente o nitrogênio (Silva et al., 2013; Donato et al., 2014).

Em experimentos conduzidos com a adoção de sistema de manejo tecnificado, na região de Ceraíma - *Campus* do IF Baiano de Guanambi, os valores de PB foram superiores, em média 120,0 g kg⁻¹ (Silva et al., 2013; Donato et al., 2014) e 102,0 g kg⁻¹ de PB (Aguiar et al., 2015). Entretanto, a média geral do teor de PB dos palmais das regiões estudadas foi de 70,2 g kg⁻¹ (Tabela 4).

Iuiu correspondeu ao único agroecossistema onde a variação não foi significativa para os teores de PB entre os produtores, diferentemente de Maniaçu, onde se observou maior contraste nessa característica (Tabela 4). Os sistemas de produção adotados pelos produtores afetaram, em maior proporção (49,17%), a composição dos teores de PB nos cladódios, em detrimento às especificidades nos agroecossistemas e características intrínsecas das plantas (genótipos) (Tabela 3). Esses resultados indicam a relação entre o ambiente e os sistemas de produção na composição bromatológica da forrageira. Tegegne (2001) detectou que, diferentemente dos cultivos adubados da palma forrageira, os teores de PB da ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*Opuntia stricta* Haw.) foram tão baixos que necessitavam de suplementos minerais e proteicos na alimentação animal. Geralmente, as pesquisas com a composição bromatológica da palma forrageira desconsideram o efeito do sistema de produção, de modo que tabelas de recomendação alimentar são utilizadas na nutrição animal, ignorando as variáveis socioambientais de sua produção e uso.

Outros autores corroboram com esses resultados ao relatarem que o componente da PB é difícil de se isolar em melhoramento genético, pois é influenciado pela fertilidade do solo e manejo da cultura (Mondragón-Jacobo & Pérez-González, 2001).

O teor de matéria seca (MS) foi superior nos palmais de Riacho de Santana (161,9 g kg⁻¹), os demais agroecossistemas ficaram em segundo nível, apresentando teores semelhantes estatisticamente ($p \leq 0,05$), variando de 92,6 a 105,4 g kg⁻¹ de MS (Tabela 4). Esse maior teor de MS em Riacho de Santana justifica-se pela menor turgidez das plantas em razão do maior déficit hídrico e menor aporte de nutrientes no solo (Tabela 1). A MS é mais afetada pelo sistema de produção adotado na propriedade (63,21%), conforme a composição da variância total (Tabela 3). Esse resultado corrobora com a diminuição dos teores de MS por meio da aplicação de doses crescentes de esterco ou adubação química (Donato et al., 2014). O incremento das doses de esterco bovino até 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ aumenta os teores de PB e FDA (fibra em detergente ácido) e reduz os teores de MS em palma forrageira 'Gigante' (Barros et al., 2016).

Os palmais de Maniaçu e Riacho de Santana apresentaram os maiores teores de matéria orgânica (MO), com 894,4 e 893,0 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Em seguida, em ordem decrescente ($p \leq 0,05$), as regiões foram Morrinhos (874,4 g kg⁻¹), Ceraíma (828,0 g kg⁻¹) e, por último, Iuiu, com 772,4 g kg⁻¹ de MO. A média geral dos teores de MO foi de 852,40 g kg⁻¹, com coeficiente de variação (CV) de apenas 1,59%, correspondente à variabilidade baixa, conforme classificação de Pimentel-Gomes & Garcia (2002). A MO foi afetada em 87,58% pelos agroecossistemas em que os palmais foram cultivados, de acordo com a composição total da variância e a prerrogativa de que não houve a variável adubação (Tabela 3).

Tabela 4. Características bromatológicas dos cladódios da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em 20 sistemas tradicionais de produção em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA

Agroecossistema	MS	MO	MM	N	PB	FDN	FDA	EE	
----- g kg ⁻¹ -----									
----- Agroecossistema (ambiente) -----									
Ceraíma	105,4 b	828,0 c	172,1 b	10,8 b	67,4 bc	185,0 b	139,0 ab	36,3	
Iuiu	92,6 b	772,4 d	227,6 a	10,9 b	68,0 bc	184,7 b	116,2 c	34,0	
Maniaçu	93,4 b	894,4 a	105,7 d	13,9 a	87,1 a	221,2 a	151,1 a	37,1	
Riacho de Santana	161,9 a	893,0 a	107,0 d	11,1 b	69,4 b	170,3 b	108,8 c	39,5	
Morrinhos	97,4 b	874,4 b	125,6 c	9,5 c	59,3 c	199,2 ab	123,6 bc	35,4	
Média	110,1	852,4	147,6	11,2	70,2	192,1	127,8	36,5	
DP	20,1	13,5	13,5	1,3	8,0	25,2	18,0	5,8	
CV (%)	18,23	1,59	9,18	11,46	11,46	13,12	14,05	15,96	
Agroecossistema	P	----- Sistemas de produção (produtor / agroecossistema) -----							
Ceraíma	1	61,8 b	823,6 ab	176,4 ab	10,8	67,4 ab	208,3	155,8	36,8
	2	134,5 a	837,4 a	162,6 b	9,9	61,6 b	180,9	130,6	40,9
	3	84,3 b	803,5 b	196,5 a	13,2	82,3 a	179,7	136,6	30,4
	4	141,1 a	847,2 b	152,8 b	9,3	58,1 b	171,0	133,0	37,3
Iuiu	5	192,8 a	762,5 b	237,5 a	10,3	64,6	231,7 a	128,6	36,0
	6	55,0 b	764,7 b	235,3 a	9,5	59,5	178,2 ab	107,8	27,0
	7	65,7 b	762,1 b	237,9 a	12,0	75,0	159,9 b	108,5	35,3
	8	56,7 b	800,3 a	199,7 b	11,6	72,7	169,0 b	120,1	38,0
Maniaçu	9	105,8 ab	897,2	102,8	11,2	70,0 c	165,3 b	121,5 b	38,4
	10	63,3 b	878,8	121,2	12,5	78,0 bc	265,4 a	184,1 a	38,2
	11	112,6 a	907,8	92,2	14,4	89,9 b	219,8 ab	146,7 ab	33,3
	12	91,7 ab	893,6	106,4	17,7	110,7 a	234,3 a	152,2 ab	38,5
Riacho de Santana	13	130,8 b	884,6	115,4	12,5	78,4 a	158,7	97,5	41,6
	14	166,3 ab	894,6	105,4	12,5	77,9 a	202,1	117,9	35,4
	15	174,4 ab	895,5	104,5	8,3	52,0 b	164,8	112,5	38,6
	16	176,0 a	897,1	102,9	11,1	69,3 ab	155,8	107,4	42,5
Morrinhos	17	140,6 a	903,1 a	96,9 b	9,9	62,0 a	174,1	114,7	32,9
	18	109,1 ab	872,0 b	128,0 a	7,0	44,0 b	183,7	119,0	35,9
	19	69,1 b	861,0 b	139,0 a	11,1	69,5 a	221,0	141,9	40,6
	20	70,8 b	861,6 b	138,4 a	9,8	61,6 ab	217,9	118,7	32,2

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo dos palmais; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; MS = teor de matéria seca nos cladódios; MO = matéria orgânica; MM = teor de material mineral; N = teor de nitrogênio; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = teor de gordura bruta ou extrato etéreo. Com exceção dos produtores 8, 10, 13, 14 e 15 que colheram os cladódios com dois anos, os demais o fizeram com o intervalo de apenas um ano após a última colheita. Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada agroecossistema, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A ausência de letras na coluna, indica que a variável não apresentou diferenças significativas para o referido agroecossistema

Os valores de MO corroboram com os 840,7 g kg⁻¹ encontrados por Cavalcante et al. (2014) em Frei Paulo-SE, 868,70 g kg⁻¹ (CV = 1,80%) detectados por Silva et al. (2013) em Guanambi-BA, 874,30 g kg⁻¹ por Wanderley et al. (2012) em Arco Verde-PE e 880,8 g kg⁻¹ por Pessoa et al. (2013) em Recife-PE.

Em contrapartida, os palmais em Iuiu apresentaram os maiores teores médios de material mineral (MM = 227,6 g kg⁻¹) na planta, diferentemente de Maniaçu (105,7 g kg⁻¹) e Riacho de Santana (107,0 g kg⁻¹), que apresentaram os menores teores (Tabela 4). Isso ocorre devido à maior composição mineral dos solos eutróficos de Iuiu (Tabela 1), condição que segue a mesma lógica para os agroecossistemas nas quais os solos são distróficos e psamíticos (Tabela 2), que resultou em menores teores de material mineral, conforme os casos de Riacho de Santana e Maniaçu (Tabela 4).

Por apresentarem correlação inversa entre si, os teores de MO e MM são influenciados em 87,58 % pelo agroecossistema de cultivo da palma forrageira (Tabela 3). A matéria orgânica do solo (MOS) apresentou correlação positiva com os teores de MM em 61% e inversa nessa mesma proporção com a matéria orgânica dos cladódios (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação entre a altitude das áreas de cultivo (ALT), teores de matéria orgânica do solo (MOS) e composição bromatológica da palma forrageira ‘Gigante’ de 20 sistemas de produção tradicionais em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA

Variável	MS	MO	MM	N	PB	FDN	FDA	EE	MOS
MO	0,315**	1							
MM	-0,315**	-1,000**	1						
N	-0,188 ^{ns}	0,103 ^{ns}	-0,103 ^{ns}	1					
PB	-0,188 ^{ns}	0,103 ^{ns}	-0,103 ^{ns}	1,000**	1				
FDN	-0,262*	0,074 ^{ns}	-0,074 ^{ns}	0,302**	0,302**	1			
FDA	-0,299*	0,072 ^{ns}	-0,072 ^{ns}	0,368**	0,368**	0,763**	1		
EE	0,224*	0,238*	-0,238*	0,026 ^{ns}	0,026 ^{ns}	-0,016 ^{ns}	0,059 ^{ns}	1	
MOS	-0,039 ^{ns}	-0,613**	0,613**	-0,188 ^{ns}	-0,188 ^{ns}	0,160 ^{ns}	-0,020 ^{ns}	-0,315**	1
ALT	-0,318**	0,475**	-0,475**	0,221*	0,221*	0,457**	0,410**	-0,020 ^{ns}	-0,027 ^{ns}

Nota: MS = teor de matéria seca nos cladódios; MO = matéria orgânica; MM = teor de material mineral; N = teor de nitrogênio; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = teor de gordura bruta ou extrato

etéreo; MOS = matéria orgânica do solo – MOS = Carbono orgânico x 1.724 - Walkley-Black; ALT = altitude da área de cultivo da palma. ^{ns} = não significativo; nível de significância: ** = 1% e * = 5%

Os teores de MO e de MM entre os palmais dos produtores de Maniaçu não apresentaram variação significativa, assim como em Riacho de Santana (Tabela 4). Aguiar et al. (2015), Silva et al. (2013) e Wanderley et al. (2012) observaram teores médios de MM de 151,00, 131,30 e 125,70 g kg⁻¹, respectivamente, e corroboram com a média de 147,60 g kg⁻¹ observada no presente estudo (Tabela 4).

Mesmo apresentando solos com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (Tabela 1), Maniaçu se destacou por apresentar os palmais com as maiores médias de teores de proteína bruta (PB = 87,1 g kg⁻¹), fibra em detergente neutro (FDN = 221,2 g kg⁻¹) e foi semelhante à Ceraíma em relação à fibra em detergente ácido (FDA= 151,1 e 139,0 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 4).

O melhor desempenho dos atributos bromatológicos da palma forrageira em Maniaçu estão em consonância com os efeitos das doses mais expressivas de adubo orgânico (esterco bovino) utilizados nos sistemas de produção, em detrimento aos demais agroecossistemas (Tabela 1) (Silva et al., 2013; Donato et al., 2014; Barros et al., 2016).

Adicionalmente, apesar da necessidade de estudos ecofisiológicos específicos para a região, infere-se que esses resultados também se beneficiam da maior altitude de Maniaçu (936 m) em relação aos demais agroecossistemas (Ceraíma 542 m, Iuiu 507 m, Riacho de Santana 482 m e Morrinhos com 843 m), que propicia a ocorrência de noites com temperaturas mais amenas. Essa condição climática atende melhor as exigências fisiológicas da cultura no processo de captação de CO₂ (Santos et al., 2013). Esses dados corroboram com o fato da altitude das áreas de cultivo da palma forrageira apresentar as maiores correlações positivas com os teores de MO, FDN, FDA em 47, 46 e 41%, respectivamente (Tabela 5).

No presente trabalho, os teores médios de FDN e MS se mantiveram baixos, com 192,1 e 110,1 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Esses teores foram inferiores aos detectados por outros autores, com médias variando de 283,0 a 318,7 g kg⁻¹ de FDN (Wanderley et al., 2012; Pessoa et al., 2013; Cavalcante et al., 2014; Aguiar et al., 2015). O componente FDN é afetado em 45,24% pelas características intrínsecas da planta (genótipo) e 43,03% pelo sistema de produção adotado pelo produtor, de modo que as especificidades ambientais pouco interferem (11,73%) na composição desse atributo importante para a qualidade bromatológica da palma forrageira (Tabela 3).

Com o maior valor de FDA, Maniáçu é exceção entre os demais agroecossistemas, onde não houveram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) nos teores entre os palmais dentro de cada um deles (Tabela 4). O teor de FDA é afetado em 47,50% pelo genótipo da planta e 35,27% pelas condições ambientais, de modo que o sistema de produção adotado pelo produtor influencia pouco (17,23%) na composição desse atributo (Tabela 3).

As variáveis bromatológicas apresentaram variabilidade baixa à média, conforme classificação de Pimentel-Gomes & Garcia (2002). A MO expressou menor CV, com valor igual a 1,59%, e o nível máximo foi atingido com os 18,23% da MS, mesmo considerando as especificidades ambientais e dos sistemas de produção (Tabela 4).

CONCLUSÕES

1. A qualidade nutricional da palma forrageira é em razão da inter-relação entre os agroecossistemas (ambiente) de cultivo e o sistema de produção adotado pelo produtor (técnicas de manejo) e as características das plantas (genótipo).

2. As variáveis bromatológicas mais afetadas pelo agroecossistema corresponde aos teores de matéria orgânica e do material mineral na planta e apresentam relação inversa na composição da planta.

3. Os sistemas de produção adotados pelos produtores tradicionais de palma forrageira mais afetaram os níveis de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta e fibra em detergente neutro.

4. O genótipo da planta mais influenciou a composição da fibra em detergente neutro nos tecidos dos cladódios.

5. Os teores de extrato etéreo nos cladódios não são afetados significativamente pelos agroecossistemas de cultivo e pelos sistemas de produção adotados pelos produtores.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, ao Instituto Federal Baiano – *Campus* Guanambi, à Universidade Federal de Viçosa – UFV, aos Sindicatos dos Trabalhadores Rurais de Guanambi e de Caetitê, por contribuírem para a viabilização do projeto de pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

LITERATURA CITADA

- Aguiar, M. do S. M. A.; Silva, F. F. da; Donato, S. L. R.; Schio, A. R.; Souza, D. D. de; Meneses, M. de A.; Lédo, A. A. Síntese de proteína microbiana e concentração de ureia em novilhas leiteiras alimentadas com palma forrageira *Opuntia*. *Semina: Ciências Agrárias*, v.36, p.999-1012, 2015.
- Barros, J. L. de; Donato, S. L. R.; Gomes, V. M.; Donato, P. E. R.; Silva, J. A. da; Padilha Júnior, M. C. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. *Revista Agrotecnologia, Ipameri*, v.7, n.1, p.53-65, 2016.

- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G.R. de A.; Silva, L. M. da; Fagundes, J. L.; Silva, M. A. da. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 44, n. 4, p.424-433, 2014.
- Donato, P. E. R.; Donato, S. L. R.; Silva, J. A.; Pires, A. J. V.; Silva Júnior, A. A. e. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of 'Gigante' cactus pear under different spacing and organic fertilization. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.21, p.238-243, 2017.
- Donato, P. E. R.; Pires, A. J. V.; Donato, S.L.R.; Silva, J.A.; Aquino, A. A. de. Valor nutritivo da palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. Revista Caatinga, Mossoró, v.27, n.1, p.163 -172, 2014.
- Dubeux Junior, J.C.B.; Santos, M.V.F. dos; Lira, M. de A.; Santos, D.C. dos; Farias, I.; Lima, L.E.; Ferreira, R.L.C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. Journal of Arid Environments, v.67, p.357-372, 2006.
- Hawkesford, M.; Horst, W.; Kickey, t.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Møller, I. S.; White, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3.rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. p.185-189.
- Lédo, A. A.; Donato, S. L. R.; Aspiazú, I.; Silva, J. A. da; Donato, P. E. R.; Carvalho, A. J. de. 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, 2019.
- Mondragón-Jacobo, C.; Pérez-González, S. Germplasm resources and breeding opuntia for fodder production. In: Mondragón-Jacobo, C.; Pérez-González, S. Cactus (*Opuntia* spp) as forage. Romi: FAO, 2001. p.21-28.

- Pessoa, R. A. S.; Ferreira, M. de A.; Silva, F. M. da; Bispo, S. V.; Wanderley, W. L.; Vasconcelos, P. C. Diferentes suplementos associados à palma forrageira em dietas para ovinos: consumo, digestibilidade aparente e parâmetros ruminais. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 14, n. 3, p. 508-517, 2013.
- Pimentel-Gomes, F.; Garcia, C.H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- Pimienta-Barrios, E.; Hernández, J. Z.; Muñoz-Urias, A.; Murguía, C. R. Ecophysiology of young stems (cladodes) of *Opuntia ficus indica* in wet and dry conditions. *Gayana Botanica*, v.69, p.232-239, 2012.
- Ribeiro Júnior, J.I.; Melo, A.L.P. Guia prático para utilização do SAEG. Viçosa: Folha, 2008. 287p.
- Santos, D. C.; Silva, M.C.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Lira, M.A.; Silva, R.M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. *Revista Científica de Produção Animal*, Teresina, v.15, n.2, p.111-121, 2013.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Secretaria de Estado de Planejamento: Bahia: 2014. Tipologia Climática. Disponível em: http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_koppen_2014.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.
- Silva, D. J.; Queiroz, A. C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 235p.
- Silva, J. A.; Bonomo, P.; Donato, S. L. R.; Pires, A. J. V.; Silva, F. F.; Donato, P. E. R. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações química. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v.8, n.2, p. 342-350, 2013.

Tegege, F. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* as a ruminant feed in ethiopia. In: Mondragón-Jacobo, C.; Pérez-González, S. Cactus (*Opuntia* spp) as forage. Romi: FAO, 2001. p.91-100.

Wanderley, W. L.; Ferreira, M. de A.; Batista, A. M. V.; Vêras, A. S. C.; Santos, D. C. dos; Urbano, S. A.; Bispo, S. V. Silagens e fenos em associação à palma forrageira para vacas em lactação. Consumo, digestibilidade e desempenho. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, Salvador, v.13, n.3, p.745-754, 2012.

CAPÍTULO III

ATRIBUTOS DOS SOLOS E A QUALIDADE E RENDIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO

(Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Journal of Arid Environments)

Atributos dos solos e a qualidade e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ em agroecossistemas do semiárido baiano

Resumo – As condições edafoclimáticas determinam variações na disponibilidade de água e nutrientes, suscetibilidade a processos erosivos e a expressão do potencial genético da palma forrageira. Assim, sistemas de manejo condizentes às especificidades ambientais influenciam a expressão dos caracteres estruturais da planta, o rendimento e a qualidade da forragem. Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho caracterizar os solos de sistemas tradicionais de produção de palma forrageira e inter-relacioná-la com a produtividade e a constituição mineral e bromatológica dos cladódios em agroecossistemas do semiárido baiano. Para isso, foram selecionados cinco agroecossistemas estratificados com base na distinção das características de solos, vegetação, relevo, altimetria, tipologia dos produtores e sistemas de produção da palma forrageira. Os dados de rendimento dos cultivos foram obtidos com base na colheita dos cladódios de todas as plantas em cada repetição, realizada entre agosto e setembro de 2017. Cada uma das três repetições, nas 20 propriedades, apresentava área útil média de 14 m² e quantidade média de 16 plantas. Para avaliação das características bromatológicas, na ocasião da colheita, coletaram-se, em média, 34 amostras de cladódios por repetição, com aproximadamente 40 g cada. Solos com melhor fertilidade natural, isto é, com maiores teores de soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e de índice de saturação de bases (V), não determinam necessariamente melhor desempenho estrutural das plantas em comparação a solos menos férteis, mas influenciam na maior produtividade. Outros fatores associados ao manejo e ao clima influenciam na estrutura da planta, na produtividade e na qualidade bromatológica dos cladódios da palma forrageira.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*, produtividade, ambiente, bromatologia.

Soil attributes and bromatological composition and yield of ‘Gigante’ cactus pear in agroecosystems of Bahia semiarid region

Abstract - The edaphoclimatic conditions determine variations in the availability of water and nutrients, susceptibility to erosive processes and the expression of the genetic potential of the crop. Thus, management systems consistent with environmental specificities influence the expression of the structural characteristics of the plant, the yield and the quality of the forage.

Therefore, the objective of the present work was to characterize the soils of traditional cactus pear production systems and interrelate it with the productivity and the chemical composition of the cladodes in agroecosystems of Bahia semiarid region. For that, five stratified agroecosystems were selected based on the distinction of the characteristics of soils, vegetation, relief, altimetry, typology of producers and production systems of cactus pear. The crop yield data were obtained based on the harvest of cladodes from all plants in each repetition, carried out between August and September 2017. Each of the three replications, in the 20 properties, had an average useful area of 14 m² and an average amount of 16 plants. For the evaluation of bromatological characteristics, at the time of harvest, an average of 34 samples of cladodes were collected per repetition, with approximately 40 g each. Soils with better natural fertility, that is, with higher levels of exchangeable base sum (SB), effective cation exchange capacity (t), cation exchange capacity at pH 7.0 (T) and base saturation index (V), do not necessarily determine better structural performance of plants compared to less fertile soils, but influence the higher productivity. Other factors associated with management and climate influence the plant structure, productivity and chemical quality of cactus pear cladodes.

Key words: *Opuntia ficus-indica*, productivity, environment, bromatology.

1. Introdução

A crescente expansão das áreas de cultivo da palma forrageira é consequência de sua adaptação às condições ambientais limitantes do semiárido brasileiro (Oliveira Júnior et al., 2009; Lucena et al., 2016; Silva et al., 2016a; Lédo et al., 2019) e da difusão do cultivo empreendida por instituições de ensino, pesquisa e extensão, principalmente em anos com seca extrema (Silva et al., 2017). A palma forrageira interage com o ambiente de cultivo, sua capacidade de absorção de nutrientes e desenvolvimento vegetativo é afetada por fatores edafoclimáticos, sistema de cultivo e o genótipo da planta (Donato et al., 2014a; Barros et al., 2016).

As condições edafoclimáticas contrastantes de agroecossistemas determinam variações na disponibilidade de nutrientes no solo, suscetibilidade a processos erosivos, capacidade de armazenar água. Assim, torna-se necessário o redesenho de sistemas de manejo diferenciados, que influenciam a expressão dos caracteres estruturais da planta e de sua composição bromatológica que irá afetar a qualidade da forragem e, conseqüentemente, o rendimento da produção animal (Blanco-Macías et al., 2010; Silva et al., 2013; Donato et al., 2014b).

A caracterização dos agroecossistemas, com enfoque nos solos, pode contribuir na compreensão dos sistemas de produção adotados pelos produtores tradicionais e suas estratégias de uso e aproveitamento da espécie, como forma de encurtar o caminho para a reorientação de tecnologias viáveis e apropriadas para a produção de palma forrageira no semiárido brasileiro (Resende et al., 2007; Alves et al., 2019a).

O reconhecimento da variabilidade nos atributos físicos e químicos dos solos nos agroecossistemas e das condições ambientais locais, considerando as exigências ecofisiológicas da cultura e as respostas da planta frente ao sistema de produção, contribui para alavancar o potencial produtivo da espécie, propiciando maiores produtividades, longevidade e sustentabilidade ambiental, principalmente no semiárido brasileiro (Fialho et al., 2013; Donato et al., 2017a).

A interação planta-homem-ambiente, considerando a influência do ambiente sobre os rendimentos e expressão do potencial genético da cultura, diante das particularidades dos agroecossistemas, permite a formulação de técnicas específicas para os sistemas de produção dentro das condições socioeconômicas e culturais dos produtores (Nobel, 2001; Pimienta-Barrios et al., 2012), pois ambientes diferentes requerem manejos específicos (Resende et al., 2017).

Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho realizar a caracterização dos solos de sistemas tradicionais de produção de palma forrageira e inter-relacioná-la com os rendimentos das plantas e constituição mineral e bromatológica dos cladódios em cinco agroecossistemas do semiárido baiano.

2. Material e Métodos

2.1. Localização e características gerais da área de estudo

O estudo foi conduzido em agroecossistemas do semiárido da microrregião de Guanambi, área sobre o domínio do Pediplano Sertanejo em superfície de aplainamento degradada e desnudada, à jusante da sub-bacia hidrográfica do rio das Rãs. Essas feições evoluíram sobre a geologia do Complexo Guanambi, que tem sua grande área de ocorrência na porção leste da bacia hidrográfica do médio São Francisco, em extensa região aplainada, cuja monotonia é quebrada por *inselbergs* de formas suaves e esparsas. Coberturas Detríticas (Terciário/Quaternário) foram constatadas em pequenas áreas isoladas e planas, em interflúvios, sobre o Complexo Santa Isabel, à montante da sub-bacia do rio das Rãs (Brasil, 1982).

A área da sub-bacia do rio das Rãs apresenta amplo domínio de Caatinga Hipoxerófila, que faz transição com a Floresta Estacional Decidual (Mata Seca), além da ocorrência de áreas de transição Cerrado-Caatinga (Ecótono) (Brasil, 1982).

O período chuvoso ocorre de novembro até abril, com seis meses de estiagem (período seco) de maio a outubro. Os meses de maior escassez de água estão compreendidos de junho a agosto (Tabela 1). O clima predominante na microrregião de Guanambi é BSw_h, segundo a classificação de Köppen, que corresponde ao clima quente de Caatinga, com chuvas de verão e período seco bem definido (SEI, 2014). Em menor proporção, ao leste, ocorre a tipologia Aw, clima tropical chuvoso de floresta com inverno seco e verão chuvoso (SEI, 2014).

Tabela 1. Precipitação e temperatura média mensal e anual nos municípios onde estão os cinco agroecossistemas estudados no semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Município	Precipitação (mm)												Total
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Guanambi	114.8	74.0	93.4	26.7	7.0	1.3	0.2	0.3	5.3	41.9	146.4	155.9	667.1
Iuiu	127.0	98.0	94.0	52.0	5.0	1.0	1.0	1.0	11.0	68.0	151.0	173.0	781.0
Caetité	98.4	69.0	120.7	45.8	12.5	10.1	10.4	4.90	17.6	61.9	153.6	164.6	769.5
Riacho de Santana	142.0	108.0	106.0	60.0	5.0	1.0	1.0	1.0	9.0	68.0	160.0	174.0	837.0
	Temperatura (°C)												Média
Guanambi	26.4	26.9	26.9	26.6	25.5	24.4	24.0	24.7	26.1	27.2	26.4	26.3	25.9
Iuiu	24.5	24.5	24.4	23.6	22.2	21.0	20.7	22.0	23.5	24.5	24.5	24.3	23.3
Caetité	22.9	23.5	22.9	22.5	21.5	19.9	19.6	20.4	22.3	23.5	23.1	22.9	22.1
Riacho de Santana	24.4	24.4	24.2	23.6	22.2	21.1	20.8	22.0	23.5	24.5	24.4	24.2	23.3

Fonte: 1. Precipitações médias anuais registradas em Ceraíma, distrito de Guanambi. Posto Meteorológico da Codevasf (1982-2007) e IF Baiano *Campus* Guanambi, BA (2008 a 2019) (mm ano⁻¹); 2. Séries temporais de temperatura média - considera o período de 1988 – 2019 no Perímetro Irrigado de Ceraíma; posto meteorológico da Codevasf de 1982-2007; estação automática do IF Baiano *Campus* Guanambi de 2008-2019; 3. Os dados climatológicos de Iuiu e Riacho de Santana são oriundos de várias fontes brasileiras e mundiais para estimar as informações meteorológicas no Brasil. Um total de 2400 estações meteorológicas apresentam séries temporais de dados mensais de temperatura com mais de 25 anos, entre 1950 e 1990 (Alvares et al., 2013); 4. Precipitação acumulada e temperatura média mensal de Caetité - normais climatológicas do Brasil (1981-2010) (Diniz et al., 2018; Inmet, 2018).

2.2. Identificação dos agroecossistemas e seleção dos sistemas tradicionais de produção de palma forrageira

Realizou-se a seleção e apresentação da proposta de estudo junto às comunidades tradicionais e o reconhecimento de cinco agroecossistemas com histórico de produção de palma forrageira. Os cinco agroecossistemas foram estratificados com base na distinção das características de solos, vegetação, relevo, altimetria, tipologia dos produtores e sistemas de produção da palma forrageira nos locais: 1 - Distrito Irrigado de Ceraíma, Guanambi-BA (14° 17' 40" S; 42° 42' 44" O e 542 m de altitude) - região inserida em perímetro irrigado, condição

que possibilita a irrigação de alguns palmais. A maior parte da área pesquisada apresenta relevo plano a suave ondulado, com o predomínio de Planossolos Háplicos eutróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos, mais as inclusões de Neossolos Flúvicos Tb eutróficos (Embrapa, 1977; 2013); 2 - Vale do Iuiu, Iuiu-BA (14° 23' 50" S; 43° 27' 07" O e 507 m de altitude) - região com amplo domínio de solos de boa fertilidade natural, representantes dos Cambissolos Háplicos Ta eutróficos; 3. Maniaçu, Caetitê-BA (13° 48' 50" S; 42° 24' 32" O e 936 m de altitude) - representa a área com maior altitude entre as estudadas, com relevo suave ondulado a ondulado. Os solos apresentam baixa fertilidade, com amplo domínio de Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos (Embrapa, 1977; 2013); 4 - Baixio, Riacho de Santana-BA (13° 32' 08" S; 43° 09' 19" O e 482 m de altitude) - apresenta a menor altitude entre as áreas estudadas, em relevo plano a suave ondulado e solos com baixa fertilidade, com o predomínio dos Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, com inclusões de Neossolos Quartzarênicos órticos. 5 - Morrinhos, Guanambi-BA (14° 14' 02" S; 42° 37' 08" O e 843 m de altitude média) - área com relevo movimentado e o predomínio de Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos e distróficos, mais a inclusão de Cambissolos Háplicos Ta eutróficos (Embrapa, 1977; 2013).

Em cada agroecossistema, foram selecionadas quatro famílias de produtores tradicionais, com sistemas de produção representativos de cada região, totalizando 20 propriedades no semiárido da microrregião de Guanambi (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização dos sistemas de produção de palma forrageira ‘Gigante’ e classes texturais dos solos nos agroecossistemas.

P	Local	Dp	Uc	Esp. (m)	Est.	Irrig.	Classe textural	Controle de ervas
----- Região de Ceraíma – Guanambi-BA -----								
1	Ceraíma	2013	2016	1.60x0.40	16	S	Franco-arenosa	Cm e Cq
2	Ceraíma	2012	2016	1.10x0.40	70	N	Franco-arenosa	Cm e Cq
3	Ceraíma	2014	2016	0.80x0.50	90	N	Franco-argilo-arenosa	Cm e Cq
4	Ceraíma	2014	2016	1.10x0.50	--	N	Franco-arenosa	Cm e Cq
----- Região do Vale do Iuiu - Iuiu-BA -----								
5	Agreste	2014	2016	1.50x0.40	20	N	argila	Cm e Cq
6	Agreste	2016	---	2.00x0.10	15	S	Franco-siltosa	Cm
7	Poço de Paulo	2016	---	1.80x0.10	16	S	Franco-argilosa	Cm
8	Agreste	2015	---	1.80x0.10	16	S	Franco-argilo-siltosa	Cm e Cq
----- Região de Maniaçu – Caetitê-BA -----								
9	Junquinho	2016	---	1.60x0.50	17	N	Franco-argilo-arenosa	Cm
10	Cardoso	2012	2015	1.50x0.90	90	N	Franco-arenosa	Cm
11	Tabuleiro	2013	2016	1.30x0.90	10	N	Franco-arenosa	Cm
12	Barauninha	2014	2016	1.50x0.60	18	N	Franco-argilo-arenosa	Cm
----- Região do Baixio – Riacho de Santana-BA-----								
13	Massal	2013	2015	2.50x1.50	---	N	Franco-arenosa	Cm
14	Várzea da Pedra	2015	---	1.00x0.90	16	N	Areia	Cm e Cq
15	Massal	2015	---	1.50x1.10	50	N	Areia franca	Cm
16	Massal	2012	2016	1.40x0.80	90	N	Areia franca	Cm
----- Região de Morrinhos – Guanambi-BA -----								
17	Sacoto	2005	2016	2.00x0.80	---	N	Franco-argilosa	Cm
18	Distrito	2013	2016	1.00x0.60	---	N	Franco-argilo-arenosa	Cm
19	Distrito	2010	2016	1.40x1.40	15	N	Franco-argilo-arenosa	Cm
20	Distrito	2010	2016	2.80x0.80	48	N	Argilo-arenosa	Cm e Cq

Fonte: Elaboração do autor.

NOTAS: P = Sistema de produção de cada produtor; Dp = data de plantio; Uc = data da última colheita. Quando ausente, indica que ainda não foi colhida; Esp. = espaçamento; Est. = quantidade de esterco bovino aplicado no palmar no último ciclo (Mg ha⁻¹); Irrig. = adoção da prática da irrigação: S – irriga, N – não irriga; CM = controle manual de ervas espontâneas; CQ = controle químico de ervas espontâneas.

OBS.: Os produtores 1, 3 e 4 utilizaram inseticidas, sem acompanhamento técnico; Os produtores 5 e 7 utilizam ureia e esterco bovino na adubação; O produtor 7 iniciou a irrigação em de julho de 2017; O produtor 12 utilizou sulfato de amônio e esterco bovino na adubação; Na região de Maniaçu, há alta incidência de papagaios que se alimentam da palma; O produtor 17 utiliza ureia na adubação, a cada 2 anos; Os produtores 1, 3, 9 e 12 utilizaram óleo mineral para o controle de pragas e doenças. A colheita das amostras experimentais dos sistemas de produção foi realizada entre agosto a setembro de 2017.

2.3. Caracterização dos sistemas de produção de palma forrageira de cada família

As famílias dos produtores selecionados foram entrevistadas com o subsídio de questionários semiestruturados e de acordo com as condições legais previstas na Resolução nº 466 de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde. As entrevistas possibilitaram o levantamento de informações relacionadas ao histórico da área, dados de produção e do sistema de manejo adotado, como data de plantio, adubação, controle de pragas e doenças, controle de ervas espontâneas, época e método de colheita (Tabela 2). No trabalho de campo, utilizou-se linguagem simples, procurando-se estabelecer diálogo horizontal e construtivo com os representantes das comunidades tradicionais produtoras de palma forrageira (Matos et al., 2014; Carmo et al., 2018).

2.4. Avaliações das características bromatológicas e do rendimento das plantas

Para a avaliação das características bromatológicas, na ocasião da colheita, coletaram-se, em média, 34 amostras de cladódios por repetição, com, aproximadamente, 40 g cada. Usou-se uma serra copo com 5,8 cm de diâmetro e 4,0 cm de profundidade, adaptada a uma furadeira à bateria que, acionada sobre o cladódio, retirava uma porção circular e uniforme do tecido vegetal (Silva et al., 2013; Donato et al., 2014b). A coleta dos tecidos dos cladódios foi realizada no período de agosto a setembro de 2017. Essas amostras foram coletadas dentro da área útil de cada uma das três repetições dos 20 sistemas de produção (Tabela 2).

As amostras de massa verde foram preparadas e secadas em estufa de ventilação forçada a 60 °C por 72 h e, posteriormente, levadas ao moinho tipo *Wiley* com crivo de malha de 1,00 mm. No Laboratório de Bromatologia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *Campus* Itapetinga, foram determinadas, nas amostras secas (Silva e Queiroz, 2009), as seguintes frações: MS - teor de matéria seca; PB - proteína bruta; FDN - fibra em detergente neutro.

Os dados de rendimento dos palmais foram obtidos com base na colheita dos cladódios de todas as plantas em cada repetição, realizada entre agosto e setembro de 2017. Cada uma das três repetições, nas 20 propriedades, apresentava área útil média de 14 m² e quantidade média de 16 plantas. Os cladódios foram cortados na articulação com a planta. Todos os cladódios colhidos tiveram sua massa determinada em campo para as respectivas parcelas e produtores e, posteriormente, foram estimadas as produtividades. As variáveis analisadas na determinação do rendimento dos palmais foram: PANUAL – produtividade anual de cada palmal nas diferentes propriedades e PMS – produtividade de matéria seca, calculada em função do teor de MS do tratamento multiplicado pela PMV, produtividade de massa verde.

2.5. Análises estatísticas

Utilizou-se o delineamento em modelo hierárquico, que considera a dependência dos dados de cada sistema de produção dentro dos agroecossistemas. Esse delineamento refere-se à estrutura dos fatores e seus níveis e é utilizado quando os níveis de um fator B só ocorrem em determinados níveis de um fator A. No presente trabalho (Figura 1), o fator A corresponde aos ambientes ou agroecossistemas, e o fator B aos sistemas de produção representados pelos produtores e suas propriedades (P) dentro de um determinado ambiente.

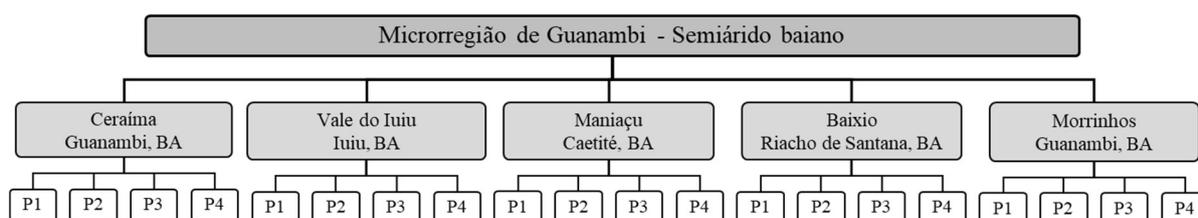


Figura 1. Esquema do experimento em delineamento hierárquico.

Fonte: Elaboração do autor.

As características avaliadas, constituição bromatológica das plantas e o rendimento dos palmas, foram relacionadas aos atributos químicos e físicos dos solos dos sistemas de produção de palma forrageira de cada agroecossistema, satisfazendo, assim, a condição hierárquica do delineamento (Ribeiro Júnior e Melo, 2008). Além da análise de variância, com o modelo hierárquico, estimaram-se os componentes de variância e a composição da variância total, ou seja, determinando quanto da explicação da variação está contida nos diferentes fatores dos níveis hierárquicos (Dias e Barros, 2009).

Nos casos das variâncias significativamente diferentes de zero, que indicaram a existência de pelo menos uma diferença entre agroecossistemas e entre os sistemas de produção dentro de cada agroecossistema, aplicou-se o teste Tukey ($p \leq 0.05$) para comparar as médias das variáveis avaliadas.

3. Resultados

Os agroecossistemas apresentam maior influência na manutenção das características físicas e químicas dos solos, mesmo diante da intervenção do homem por meio do sistema de manejo. Contudo, essa explicação não se aplica a todos os elementos, a exemplo do P (18.62%), K (18.45%), Na (35.82%), S (11.00%) e o Fe (16.79%), que não representaram a maior composição da variância no agroecossistema (Tabela 3).

Os teores de Ca^{2+} no solo registraram correlações, significativas e positivas, com os teores de Mg^{2+} no solo e com os de Ca^{2+} nos tecidos vegetais, ambas com magnitude forte. Já os teores de Mg^{2+} no solo apresentaram maiores correlações significativas, positivas e de magnitude forte com o Ca^{2+} (0.76) e o Na (0.71). Já com os teores de Mg^{2+} (0.65) e de P (0.52) nos tecidos da palma forrageira, as correlações foram moderadas (Tabela 6).

Solos com melhor potencial de fertilidade natural, com maiores teores de soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e de índice de saturação de bases (V), não determinam necessariamente melhor desempenho estrutural das plantas em comparação às cultivadas em solos menos férteis (Tabela 7). Outros fatores associados ao manejo e ao clima influenciam a estrutura da planta, rendimento e qualidade bromatológica dos cladódios da palma forrageira.

Os teores de B do solo registraram as maiores correlações, significativas e positivas, com os teores de Cu (0.62) e de Zn (0.59) nos solos e com os teores de Cu (0.45) nos tecidos vegetais, todas com magnitude moderada, além da correlação com a composição em FDN (0.30) (Tabela 8). Apesar de apresentar correlação baixa, essa é a maior magnitude de associação registrada para a FDN, que inclui também sua correlação com os teores de PB (0.30) e os de Cu no solo (0.32). Esses resultados corroboram com a dinâmica do B ao estar relacionado com outros elementos e se estabelecer nos processos de extração e exportação de nutrientes pelas plantas e poder afetar a qualidade da forragem.

Os teores de Cu no solo apresentaram as maiores correlações, significativas e positivas, com os teores de Mn (0.45) e de Zn (0.66) do solo e com os teores de Cu dos tecidos vegetais (0.51), estabelecendo magnitude moderada para todas. As correlações entre os teores de Mn do solo com os de Zn do solo (0.66) com os teores de S dos tecidos da palma (0.42) foram significativas, positivas e de moderada magnitude (Tabela 8). As correlações do S com os teores de micronutrientes nos solos e nos tecidos vegetais foram não significativas ($p > 0.05$), com a exceção da associação com o Mn dos tecidos vegetais de magnitude moderada (0.41).

4. Discussão

4.1. Análise de variâncias dos atributos físicos e químicos dos solos dos agroecossistemas

As variáveis dos atributos físicos e químicos dos solos, estudadas nos sistemas de produção de palma forrageira ‘Gigante’, foram significativas, com as exceções do alumínio (Al^{3+}), índice de saturação por alumínio (m) e do boro (B) referentes aos sistemas de produção

(produtor) dentro de cada agroecossistema (ambiente) (Tabela 3). Com base nas composições da variância total, as explicações da variação dos atributos físicos estão concentradas nos agroecossistemas com média de 80.23%, em detrimento do efeito dos sistemas de produção (16.60%) e das plantas (3.17%) (Tabela 3). Os atributos químicos apresentaram composição média de variação de 58.07% nos agroecossistemas, 25.60% nos sistemas de produção e 16.33% nas plantas. Esses resultados demonstram a maior influência dos ambientes na manutenção das características físicas e químicas dos solos, mesmo diante da intervenção do homem por meio do sistema de manejo (Curi e Kämpf, 2015), com destaque para os atributos físicos, pois são pouco passíveis de alteração com o manejo, principalmente a textura.

Vale ressaltar que a composição de variância dos atributos químicos não se concentrou nos agroecossistemas para todas as variáveis, isso demonstra a possibilidade dos efeitos das ações antrópicas nos sistemas de produção, principalmente na aplicação de esterco bovino e a adoção da irrigação, além dos efeitos do erro na composição amostral. Nesses casos, as variáveis com as suas respectivas porcentagens com menor explicação para os agroecossistemas foram representadas pelo P (18.62%), K (18.45%), Na (35.82%), S (11%) e o Fe (16.79%) (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância dos atributos físicos e químicos dos solos em 20 sistemas tradicionais de produção da palma forrageira ‘Gigante’ distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Variável	Fontes de Variação							
	Agroecossistema			Produtor / Agroecossistema			Planta / Produtor	
	(Gl = 4; F _{tab} = 2,61)			(Gl = 15; F _{tab} = 1,92)			(Gl = 40)	
	Qm	%	F _{calc}	Qm	%	F _{calc}	Qm	%
AG	0.57*	90.72	499.32	0.01*	7.05	10.50	0.00	2.23
AF	0.16*	89.44	375.84	0.00*	7.64	8.84	0.00	2.92
SIL	0.41*	90.79	1788.67	0.01*	8.59	42.29	0.00	0.62
ARG	0.16*	67.55	119.26	0.02*	29.51	13.73	0.00	2.94
ADA	0.02*	62.65	119.26	0.00*	30.23	13.73	0.00	7.13
pH _{H2O}	8.20*	83.37	167.51	0.30*	10.43	6.05	0.05	6.20
pH _{KCl}	8.24*	81.40	187.00	0.36*	13.13	8.22	0.04	5.46
P	5317.55*	18.62	8.53	2181.22*	37.00	3.50	623.11	44.39
K	99968.00*	18.45	8.81	41688.84*	38.43	3.67	11348.10	43.12
Na	5149.78*	35.82	32.49	1374.22*	46.13	8.67	158.52	18.05
Ca ²⁺	197.25*	73.20	199.00	14.72*	22.02	14.80	0.99	4.78
Mg ²⁺	8.25*	79.67	201.77	0.42*	15.34	10.22	0.04	4.99
Al ³⁺	0.54*	80.04	58.47	0.01 ^{ns}	3.09	1.55	0.01	16.87
H+Al	12.22*	56.39	58.33	1.63*	30.23	7.77	0.21	13.38
SB	317.47*	81.16	265.74	15.16*	14.99	12.69	1.19	3.85
t	297.00*	80.23	255.93	15.04*	15.80	12.96	1.16	3.96
T	286.58*	76.31	283.31	18.76*	20.23	18.55	1.01	3.46
V	7531.82*	90.92	244.11	123.21*	4.53	3.99	30.85	4.54
m	2803.31*	71.12	38.87	127.38 ^{ns}	5.88	1.77	72.12	23.00
ISNa	6.35*	24.21	26.31	2.52*	57.49	10.43	0.24	18.29
MOS	7.34*	56.57	92.86	1.05*	34.90	13.27	0.08	8.53
P-Rem	513.18*	67.77	87.69	44.06*	22.08	7.53	5.85	10.15
S	102.11*	0.11	4.50	101.48*	53.57	4.47	22.71	46.32
B	0.51*	74.75	46.17	0.02 ^{ns}	5.06	1.75	0.01	20.20
Cu	1.83*	51.55	62.57	0.30*	36.61	10.28	0.03	11.83
Mn	17218.70*	76.20	85.18	872.28*	12.49	4.31	202.15	11.31
Fe	3526.98*	16.79	17.38	1770.43*	59.94	8.73	202.89	23.27
Zn	31.29*	40.94	20.63	6.06*	29.51	4.00	1.52	29.54

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Gl = grau de liberdade; F_{tab} = F tabelado; F_{calc} = F calculado; Qm = quadrado médio; % = porcentagem da composição da variância total, que determina quanto da explicação da variação está contida nos diferentes níveis hierárquicos; agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / Agroecossistema = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional dentro de seus respectivos agroecossistemas; Planta / Produtor = variância contida no resíduo, que no caso se refere aos efeitos atribuídos às plantas de cada produtor; AG = areia grossa; AF = areia fina; SIL = silte; ARG = argila; ADA = argila dispersa em água; pH_{H2O} = pH em água (relação 1:2.5); pH_{KCl} = pH em KCl (relação 1:2.5); P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; P, K e Na - extrator Mehlich-1; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl - 1 mol L⁻¹; H+Al = hidrogênio mais alumínio - extrator acetato de cálcio 0.5 mol L⁻¹ - pH 7.0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7.0; V = índice de saturação

por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MOS = matéria orgânica do solo – MOS = Carbono orgânico x 1.724 - Walkley-Black; P-Rem = fósforo remanescente, concentração de P na solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1/10; S = enxofre - extrator fosfato monocálcico em ácido acético; B = boro (extrator água quente); Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; Cu, Mn, Fe e Zn – extrator Mehlich-1; ^{ns} = não significativo; * = nível de significância de 5%.

4.2. Atributos físicos e pH dos solos dos agroecossistemas e dos sistemas de produção

Os solos de Ceraíma e Iuiu apresentaram o pH médio mais elevado ($p \leq 0.05$), variando de 5.78 a 6.25 no pH em H₂O e de 5.12 a 5.68 no pH em KCl 1 mol L⁻¹, respectivamente, enquanto as demais regiões mantiveram os valores, estatisticamente semelhantes, em segundo nível (Tabela 4). Os valores médios de pH em H₂O (5.15) foram superiores àqueles em KCl 1 mol L⁻¹ (4.52), indicando o domínio de cargas negativas no complexo de troca (Pavan e Miyazawa, 1997).

Considerando as interpretações dos resultados de análise de solos propostos por CFSEMG (1999), a classificação agrônômica para acidez dos solos de Ceraíma é considerada boa e de Iuiu é alta. Nas demais regiões, o pH em H₂O foi considerado de baixo a muito baixo (CFSEMG, 1999). Em estudos específicos para a cultura, Donato et al. (2017c) preconizam que o pH do solo suficiente para a palma forrageira ‘Gigante’ é de 5.6 a 6.3, com base em experimentos desenvolvidos no semiárido da microrregião de Guanambi.

Na composição granulométrica dos solos dos agroecossistemas estudados, houve diferenças significativas para a fração areia grossa, com o maior valor em Riacho de Santana, Maniaçu, Morrinhos e Ceraíma, diferentemente de Iuiu que concentrou os solos com granulometria mais fina (Tabela 4). Apesar de ser cultivada em solos com textura que varia de arenosa à argilosa, a palma forrageira é mais indicada para solos argilo-arenosos (Lopes et al., 2012; Donato et al., 2017d).

A baixa produtividade da palma forrageira no semiárido brasileiro é resultado do entendimento equivocado dela ser uma cultura tolerante às limitações ambientais e que não demanda terras com melhor aptidão agrícola. Por isso, muitos palmais são implantados em áreas marginais, com solos compactados e pedregosos, com baixa disponibilidade de nutrientes e ocorrência de salinidade e, ainda, são conduzidos sem as práticas agrônômicas necessárias ao potencial produtivo da cultura (Silva et al., 2016a; Donato et al., 2017a; Donato et al., 2017d). Destarte, a palma forrageira apresenta respostas às especificidades dos ambientes e formas de manejo e, ao considerá-las, tem-se a otimização dos rendimentos e possibilidade de maior sustentabilidade ambiental e do cultivo (Oliveira Júnior et al., 2009; Silva et al., 2012; Donato et al., 2014b; Barros et al., 2016).

Tabela 4. Atributos físicos e pH dos solos de 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	AG	AF	SIL	ARG	ADA	pH _{H2O}	pH _{KCl}	
----- (g kg ⁻¹) -----								
----- Agroecossistema -----								
Ceraíma	280ab	390	170	160	30	5.78a	5.12a	
Iuiu	60b	80	500	360	110	6.25a	5.68a	
Maniaçu	530a	220	30	220	40	4.38b	3.83b	
Riacho de Santana	610a	220	80	90	10	4.50b	3.88b	
Morrinhos	330ab	150	180	340	80	4.84b	4.11b	
Média	360	210	190	230	60	5.15	4.52	
DP	30	20	20	20	10	0.22	0.21	
CV (%)	9.36	9.70	7.88	9.60	23.23	4.30	4.64	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
Ceraíma	1	270	430	170	120	20	5.73	5.32
	2	360	390	110	140	30	5.76	4.95
	3	220	340	240	200	50	6.09	5.47
	4	250	390	170	180	20	5.55	4.73
Iuiu	5	30	30	370	570	190	6.36	5.48ab
	6	40	100	610	250	60	6.30	5.91ab
	7	90	120	490	300	80	5.48	4.85b
	8	70	60	550	310	110	6.88	6.46a
Maniaçu	9	450	260	40	250	50	4.72	3.93
	10	570	200	40	190	40	4.15	3.67
	11	610	200	10	180	20	4.30	3.82
	12	490	220	40	260	40	4.33	3.89
Riacho de Santana	13	580	220	50	150	20	4.34	3.88
	14	700	200	40	60	10	4.58	3.92
	15	510	280	140	70	10	4.63	3.89
	16	650	180	80	90	20	4.46	3.83
Morrinhos	17	260	150	220	380	100	4.93	4.13
	18	340	170	170	320	70	5.01	4.22
	19	390	160	160	290	60	4.85	4.10
	20	330	130	160	380	100	4.57	3.99

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmais; Camada = 0-0.20 m; AG = areia grossa; AF = areia fina; SIL = silte; ARG = argila; ADA = argila dispersa em água; pH_{H2O} = pH em água (relação 1:2.5); pH_{KCl} = pH em KCl (relação 1:2.5). Médias seguidas de mesma letra na coluna de cada ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey (P≤0.05). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou significância para o referido ambiente (P≤0.05).

As médias da argila dispersa em água (ADA) entre as diferentes regiões estudadas foram similares (Tabela 4). Com exceção do pH em KCl no Iuiu, as médias de cada fração da composição granulométrica, na ADA e pH entre os solos dos sistemas de produção de cada região, não diferiram, fato que demonstra homogeneidade nos atributos dentro de cada agroecossistema ($p \leq 0.05$) (Tabela 3).

A alta relação silte/argila indica um baixo grau de evolução pedogenética dos solos nos sistemas de produção de palma forrageira em Iuiu (Embrapa, 2013), diferentemente das demais regiões (Tabela 4). O elevado valor da relação silte/argila de 1,38 indica alto potencial de encrostamento (Resende et al., 2007), o que pode ser mais acentuado em cultivos irrigados com sistemas de aspersão convencional e pivô. O predomínio da areia fina sobre a fração mais grosseira nos solos de Ceraíma e a composição expressiva em argilas em Iuiu contribui para a maior capacidade de manutenção de umidade durante o período chuvoso, principalmente, ao considerar as condições de precipitação no semiárido (Tabela 4). Por outro lado, o predomínio da fração areia nos solos de Riacho de Santana e Maniaçu sugere baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes, maior albedo, o que demanda ajustes no manejo para obtenção de produtividade mais elevada.

4.3. Teores de macronutrientes, sódio, acidez trocável e acidez potencial nos solos dos agroecossistemas e sistemas de produção

Os teores de fósforo (P) foram mais elevados nos solos de Ceraíma e Iuiu, com respectivamente, 54.33 e 41.35 mg dm⁻³, considerado muito bom em ambos agroecossistemas (Tabela 5) (CFSEMG, 1999; Novais e Smith, 1999). Iuiu se beneficia da influência do material de origem nas características dos solos, apresentando maior aporte de nutrientes. Ceraíma, por se tratar de uma região de perímetro irrigado, tem histórico de aplicação de adubos em suas áreas, outrossim, na área de estudo, há inclusão de Neossolo Flúvico eutrófico (Santos et al., 2016) formado por adição ocasionada pelas enchentes do rio Carnaíba de Dentro.

O nível crítico (NC) de um nutriente é definido como a sua concentração no tecido ou no solo referente ao limiar da máxima produção da cultura, de modo a atingir 90% da sua produtividade ou crescimento (Novais et al., 2007; Donato et al, 2017c).

Donato et al. (2017c) aplicou a técnica do nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida (NCRIz) (Maia et al., 2001) para gerar padrões e níveis críticos de interpretação de nutrientes no solo (Alves et al., 2019a, b) e nos tecidos vegetais da palma forrageira no semiárido da microrregião de Guanambi. De acordo com Donato et al. (2017c), o NCRIz de P no solo é 21.7 mg dm⁻³, duas vezes maior que o valor determinado por Dubeux

Júnior et al. (2010) de 11 mg dm^{-3} . Vale ressaltar que o nível crítico varia conforme o método de análise, a espécie e a idade da cultura, ao nível de adsorção do fósforo, teor de argila e a capacidade do fator de correção do extrator estimar o P-Rem de forma condizente com a realidade (Novais et al., 2007; Donato et al., 2017c).

Os agroecossistemas com solos de granulometria mais grosseira, representados por Riacho de Santana e Maniaçu, apresentaram os menores teores de nutrientes nos solos (Tabela 5). A magnitude da produtividade da palma forrageira depende da disponibilidade de nutrientes e de sua capacidade de extração do solo, de modo que o sistema de produção adotado pode favorecer essas condições para o alcance da produtividade potencial (Galizzi et al., 2004).

Os solos de Iuiu, Ceraíma e Morrinhos apresentaram os maiores teores de potássio (K), variando de 140.83 a $261.33 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 5), que correspondem às classes média a muito alta (muito boa) (Donato et al., 2017c). Já em Ceraíma e Iuiu, houve duas diferenciações nos níveis de P e K entre os solos dos sistemas de produção dentro dessas regiões; nas demais, não houve diferenças significativas. Por serem os nutrientes mais extraídos pela palma forrageira, o K seguido do Ca, demandam monitoramento adequado de seus teores nos solos e nas plantas, de modo que esses nutrientes possam ser restituídos aos solos e disponibilizados adequadamente às plantas (Silva et al., 2016b; Donato et al., 2017d).

Os solos de Iuiu apresentaram os maiores teores médios de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) justificados pela sua origem de rocha calcária, diferentemente de Riacho de Santana e Morrinhos que tiveram os menores teores desses nutrientes (Tabela 4). Os teores de Mg^{2+} foram muito baixos para Riacho de Santana ($0.13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Maniaçu ($0.35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), médios para Ceraíma ($1.4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e muito bons para Iuiu ($2.18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 5) (Donato et al., 2017d). As diferenças nos níveis de Mg^{2+} entre os solos das propriedades dentro de Iuiu, Maniaçu, Riacho de Santana e Morrinhos não foram significativas; apenas em Ceraíma, houve diferenciação. Para o Ca^{2+} , houve diferença significativa apenas entre os sistemas de produção de Iuiu (Tabela 5).

De acordo com Marschner (2012), os níveis de Ca^{2+} exigidos para o pleno crescimento radicular são mais elevados em pH baixo. Os teores no solo de 2.0 a $3.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e 1.0 a $1.6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg^{2+} são considerados médios para a palma forrageira ‘Gigante’ (Donato et al., 2017c).

Os teores médios de Ca^{2+} nos solos, em Maniaçu e Riacho de Santana, foram considerados muito baixos, em Ceraíma e Morrinhos, bons e muito bons, em Iuiu (Donato et al., 2017c). Na metodologia do CFSEMG (1999), a classificação boa dos teores de Ca^{2+} ocorre na faixa de 2.41 a $4.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Essas faixas evidenciam a alta exigência da palma em Ca^{2+} e

Mg²⁺ e, conseqüentemente, sua necessidade elevada em extrair esses elementos do solo (Silva et al., 2016a; Donato et al., 2017c).

A maior média nos teores de sódio (Na) foi encontrada nos solos em Iuiu (47.00 mg dm⁻³), seguida de Ceraíma (28.05 mg dm⁻³), de modo que essas são as únicas regiões que os produtores realizam a irrigação. A salinização dos solos (Tabela 5) é explicada pela irrigação, já que a água captada é oriunda de poços tubulares com presença de sódio. Nas demais regiões, os teores de Na variaram de 0.00 a 3.94 mg dm⁻³ (Tabela 5). Somente em Ceraíma e Iuiu, observaram-se variações significativas ($p \leq 0.05$) nos teores de Na entre os solos dos sistemas de produção em seus respectivos agroecossistemas. Silva et al. (2016c) estimaram quantidades extraídas/exportadas de Na na MS na ordem de 32.3 g Mg⁻¹. Marschner (2012) informa que o Na é um elemento importante para o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), por isso, é considerado essencial para essas plantas.

A *Opuntia ficus-indica* é sensível à salinidade do solo, assim como a maioria dos cactos. A inibição do crescimento, muitas vezes, apresenta efeito linear com o teor de sódio. Níveis de 150 mg dm⁻³ de Na podem acarretar 50% de inibição do acúmulo de biomassa da palma forrageira ‘Gigante’ (*Opuntia ficus-indica*) (Nobel, 2001).

As variações nos teores de P, K, Na, Ca²⁺ e Mg²⁺ nos solos de cada sistema de produção que compõem as regiões de Maniaçu, Riacho de Santana e Morrinhos não foram significativas ($p \leq 0.05$), o que demonstra homogeneidade dos atributos dentro de cada região (Tabela 4). O cultivo da palma forrageira exige teores de nutrientes na seguinte ordem decrescente: potássio (K), cálcio (Ca²⁺), nitrogênio (N) e magnésio (Mg²⁺) (Donato et al., 2017b).

Com base na CFSEMG (1999), o nível crítico no solo para K, Ca e Mg é de 70 mg dm⁻³, 2.4 cmol_c dm⁻³ e 0.90 cmol_c dm⁻³, respectivamente. Os NCRIZ desses nutrientes para a palma forrageira são 101.4 mg dm⁻³, 2.2 cmol_c dm⁻³ e 1.0 cmol_c dm⁻³, respectivamente. O NCRIZ para o K (Donato et al., 2017c) com maior valor que o indicado para condições genéricas, ou seja, sem considerar espécie, pela CFSEMG (1999), é compatível com os níveis elevados de extração/exportação de K pela palma forrageira ‘Gigante’ (Silva et al., 2016; Donato et al., 2017c).

Tabela 5. Teores de macronutrientes, sódio, acidez trocável (Al^{3+}) e acidez potencial (H+Al) dos solos de 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira 'Gigante' em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	
	----- (mg dm ⁻³) -----			----- (cmol _c dm ⁻³) -----				
----- Agroecossistema -----								
Ceraíma	54.33a	175.92ab	28.05b	3.36b	1.40b	0.00	2.42c	
Iuiu	41.35ab	261.33a	47.00a	10.66a	2.18a	0.00	2.20c	
Maniaçu	11.59c	56.17bc	3.94c	0.83c	0.35cd	0.45	3.44b	
Riacho de Santana	3.04c	37.83c	0.00c	0.78c	0.13d	0.40	2.33c	
Morrinhos	24.15bc	140.83abc	1.54c	3.04b	0.91bc	0.18	4.57a	
Média	26.89	134.42	16.11	3.74	0.99	0.21	2.99	
DP	24.96	106.53	12.59	1.00	0.20	0.10	0.46	
CV (%)	92.82	79.25	78.17	26.67	20.36	46.77	15.30	
Agroecossistema	Pr	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
	1	47.30ab	74.67b	35.50b	3.42	1.42ab	0.00	1.90b
Ceraíma	2	96.83a	103.33b	0.97c	2.40	0.84b	0.00	2.30ab
	3	43.93ab	411.00a	74.77a	3.82	2.41a	0.00	2.20b
	4	29.27b	114.67b	0.97c	3.81	0.92b	0.00	3.27a
	5	21.00b	172.00b	6.97c	17.81a	1.95	0.00	3.03a
Iuiu	6	26.13b	196.67b	60.13ab	7.48b	1.92	0.00	1.67b
	7	6.67b	112.00b	81.40a	7.79b	2.19	0.00	3.33a
	8	111.60a	564.67a	39.50b	9.57b	2.68	0.00	0.77b
	9	4.80	70.00	13.47	0.73	0.36	0.43	3.10b
Maniaçu	10	11.77	28.00	0.10	0.62	0.27	0.49	2.83b
	11	9.83	28.00	0.00	0.55	0.14	0.56	3.57ab
	12	19.97	98.67	2.20	1.42	0.60	0.31	4.27a
	13	2.30	26.67	0.00	0.89	0.11	0.52	2.77a
Riacho de Santana	14	3.03	42.00	0.00	0.61	0.15	0.31	1.73b
	15	1.63	54.00	0.00	0.85	0.14	0.40	2.47ab
	16	5.20	28.67	0.00	0.77	0.13	0.37	2.37ab
Morrinhos	17	5.07	118.67	6.07	3.18	1.08	0.18	5.17a
	18	54.77	190.67	0.00	3.82	0.77	0.09	4.83a
	19	22.60	125.33	0.00	2.67	0.90	0.21	3.80b
	20	14.17	128.67	0.10	2.50	0.89	0.25	4.47ab

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmas; Camada = 0-0.20 m; agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; Pr = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; P, K e Na - extrator Mehlich-1; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio (acidez trocável); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl - 1mol L⁻¹; H+Al = hidrogênio mais alumínio (acidez total ou potencial) - extrator acetato de cálcio 0.5 mol L⁻¹ - pH 7.0. Médias seguidas de mesma letra na coluna de cada ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey (p≤0.05). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou significância para o referido ambiente (p≤0.05).

As variações nos teores de alumínio (Al^{3+}) entre os solos dos agroecossistemas não foram significativas ($p \leq 0.05$). Vale ressaltar que as análises não constataram a presença de Al^{3+} nos solos dos agroecossistemas de Ceraíma e Iuiu, enquanto Morrinhos apresentou acidez trocável muito baixa (0.0-0.20 $cmol_c dm^{-3}$), Riacho de Santana e Maniaçu, baixa (0.21-0.50 $cmol_c dm^{-3}$) de acordo com CFSEMG (1999) (Tabela 5). As diferenças nos níveis de Al^{3+} entre os sistemas de produção dentro de cada agroecossistema não foram significativas ($p \leq 0.05$).

Contudo, os solos em Morrinhos tiveram os maiores níveis de H+Al com 4.57 $cmol_c dm^{-3}$, sendo considerada como acidez potencial média (CFSEMG, 1999). Os menores níveis de H+Al ocorreram nos agroecossistemas de Iuiu, Riacho de Santana e Ceraíma, variando de 2.20 a 2.42 $cmol_c dm^{-3}$, o que representa baixa acidez potencial pelo método da CFSEMG (1999) e alta a muito alta com base em Donato et al. (2017c). Dentro dos agroecossistemas, a acidez potencial nos solos dos sistemas de produção apresentou apenas dois níveis de diferenciação (Tabela 5).

Com base nas análises de correlação das variáveis (Tabela 6), os teores de P no solo apresentaram as maiores correlações significativas e positivas com os teores de K no solo (0.66) e com os de P (0.76) e K (0.46) nos tecidos vegetais da palma forrageira. O K no solo se correlacionou, de forma significativa e positiva, mais com os teores de Mg^{2+} no solo (0.62) e com os de P nos tecidos vegetais (0.51), ambos com valores de magnitude moderada. Isso demonstra a capacidade da palma forrageira em extrair esses nutrientes do solo.

Os teores de Na no solo registraram maior correlação significativa e positiva com os teores de Mg^{2+} no solo, com magnitude forte, e, nos tecidos vegetais, a intensidade da associação com o Na foi forte, e com os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foi moderada. Essas correlações entre esses elementos estão associadas à prática da irrigação nos locais que apresentaram os maiores teores de Na, além da qualidade das águas utilizadas, originadas de poços tubulares que, provavelmente, contenham Ca^{2+} e Mg^{2+} (Tabela 6). O Ca^{2+} no solo apresentou correlação significativa, positiva e de magnitude forte com o Mg^{2+} no solo e com o Ca^{2+} nos tecidos vegetais. O Mg^{2+} no solo apresentou maiores correlações significativas e positivas, nos tecidos da palma forrageira, com os teores de Ca^{2+} e Na, de forte magnitude, e para os teores de Mg^{2+} e o P, a associação foi moderada (Tabela 6).

Foram registradas correlações significativas e positivas entre os teores de P nos tecidos vegetais e o K (0.55) e com o Mg^{2+} (0.43) nos tecidos vegetais, com magnitude moderada. O K se correlacionou de forma significativa e positiva com o Mg^{2+} (0.44), ambos nos tecidos vegetais e com magnitude moderada. O Na dos tecidos vegetais apresentou correlação, significativa, positiva e de forte intensidade com o Ca^{2+} na planta (0.81), assim como, esse

último apresentou correlação moderada com o Mg^{2+} nos tecidos vegetais, de forma significativa e positiva (0.41) (Tabela 6). Como os teores de Na foram mais expressivos nos sistemas de produção irrigados, essa maior correlação entre o Ca e o Na pode estar associada à qualidade da água utilizada na irrigação dos palmais.

A produtividade de matéria seca (PMS) registrou correlação significativa, positiva e de moderada magnitude com o P dos tecidos vegetais (0.57). No solo, suas maiores correlações significativas e positivas foram com o P, K, Na, Ca^{2+} e o Mg^{2+} , todas de moderada magnitude (Tabela 6). Donato et al. (2017c) destacaram a correlação do Ca^{2+} com a PMS, corroborando com a necessidade de entender os processos de extração/exportação dos nutrientes para favorecer o desenvolvimento da palma forrageira de acordo com as especificidades de cada ambiente de cultivo.

Tabela 6. Correlação entre os teores dos macronutrientes no solo e nos tecidos vegetais, com a produtividade de matéria seca (PMS), fibra em detergente neutro (FDN) e proteína Bruta (PB) da palma forrageira ‘Gigante’ de 20 sistemas de produção tradicionais distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Variável	P	K	Na	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CMP	CMK	CMNa	CMCa	CMMg	PMS	PB
K	0.66**	1.00										
Na	0.12 ^{ns}	0.35**	1.00									
Ca^{2+}	0.21 ^{ns}	0.37**	0.37**	1.00								
Mg^{2+}	0.39**	0.62**	0.75**	0.75**	1.00							
CMP	0.76**	0.51**	0.36**	0.22*	0.52**	1.00						
CMK	0.46**	0.30**	0.35**	0.12 ^{ns}	0.38**	0.55**	1.00					
CMNa	0.04 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.72**	0.63**	0.71**	0.18 ^{ns}	0.23*	1.00				
CMCa	0.17 ^{ns}	0.35**	0.62**	0.87**	0.76**	0.22*	0.19 ^{ns}	0.81**	1.00			
CMMg	0.22*	0.25*	0.69**	0.23*	0.65**	0.43**	0.44**	0.50**	0.41**	1.00		
PMS	0.37**	0.33**	0.29*	0.32**	0.44**	0.57**	0.19 ^{ns}	0.27*	0.25*	0.30**	1.00	
PB	-0.12 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.12 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.24*	0.03 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1.00
FDN	-0.03 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.24*	0.03 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.11 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.27*	0.30**

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: P = teor de fósforo no solo; K = teor de potássio no solo; Na = teor de sódio no solo; Ca^{2+} = teor de cálcio no solo; Mg^{2+} = teor de magnésio no solo; CMP = teor de fósforo no tecido vegetal; CMK = teor de potássio no tecido vegetal; CMNa = teor de sódio no tecido vegetal; CMCa = teor de cálcio no tecido vegetal; CMMg = teor de magnésio no tecido vegetal; PMS = produtividade de matéria seca; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro. ^{ns} = não significativo; nível de significância: ** = 1% e * = 5%

A correlação positiva e significativa do conteúdo de macronutrientes nos tecidos vegetais da palma forrageira com os teores de nutrientes em solos que tiveram a aplicação de fertilizantes, possibilitou o estabelecimento de faixas de suficiência para a avaliação do estado nutricional da palma forrageira por Alves et al. (2019a). Essas correlações entre os teores de nutrientes nos tecidos vegetais e no solo foram estabelecidas entre K com P e K, Mg^{2+} com P e

Ca²⁺, P com Mg²⁺. As correlações negativas ocorreram com K e Ca²⁺ (Galizzi et al., 2004; Alves et al., 2019a). No presente trabalho, as magnitudes das correlações foram inferiores pelo fato da maioria dos produtores tradicionais não realizar a fertilização mineral no cultivo da palma forrageira para esses nutrientes, apenas para N, com uso de sulfato de amônio por um produtor de Maniaçu e ureia por um produtor de Morrinhos.

4.4. Complexo de troca catiônica, índices de saturação por bases, alumínio e sódio e teor de matéria orgânica nos solos dos agroecossistemas e sistemas de produção

Iuiu apresentou os solos com o melhor potencial de fertilidade natural, alcançando os maiores teores de soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e de índice de saturação de bases (V) (Tabela 7). Em ordem decrescente de fertilidade natural, após a região de Iuiu, segue um patamar formado por Ceraíma e Morrinhos. E, por fim, com menor potencial de fertilidade, Riacho de Santana e Maniaçu aparecem juntas, ainda com os maiores índices de saturação por alumínio (m).

De acordo com Donato et al. (2017c), a SB de Iuiu (13.72 cmol_c dm⁻³) se enquadra na classe muito alta de produtividade de matéria seca para a palma forrageira, enquanto que Ceraíma (5.33 cmol_c dm⁻³) e Morrinhos (4.32 cmol_c dm⁻³) se enquadraram na alta e suficiente, respectivamente. Para o CFSEMG (1999), a classe que compreende a SB entre 3.61 a 6.00 cmol_c dm⁻³ é considerada boa. As variações nos teores de SB e t não foram significativas entre os solos dos produtores dentro das regiões de Maniaçu, Riacho de Santana e Morrinhos (Tabela 7).

O desempenho dos cultivos, com relação aos solos, varia quanto à tolerância da espécie vegetal à acidez ativa, à acidez trocável e saturação por alumínio, exigência por nutrientes e níveis de saturação por bases, além da aeração (CFSEMG, 1999). A palma forrageira ‘Gigante’ apresenta maior produtividade em solos com pH que varia de acidez média à acidez fraca (Donato et al., 2017c), pela classificação química, e boa a muito alta na classificação agrônômica (CFSEMG, 1999). Contudo, as classes de interpretação dos atributos químicos do solo apresentam referências de interpretação, mas que, dificilmente, contemplam as interações específicas entre solo, genótipos, condições edafoclimáticas, sistema de produção e aspectos socioeconômicos e culturais do produtor (Donato et al., 2017c).

Tabela 7. Complexo de troca catiônica, índices de saturação por alumínio e sódio e teor de matéria orgânica nos solos em 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ distribuídos em cinco agroecossistemas contrastantes do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	SB	t	T	V	m	ISNa	MOS	
	----- (cmol _c dm ⁻³) -----			----- (%) -----			(dag kg ⁻¹)	
----- Agroecossistema -----								
Ceraíma	5,33b	5.33b	7.75b	67.89b	0.00b	1.40a	1.62bc	
Iuiu	13.72a	13.72a	15.92a	85.80a	0.00b	1.50a	2.85a	
Maniaçu	1.34c	1.79c	4.78c	27.09d	28.95a	0.38b	1.43bc	
Riacho de Santana	1.01c	1.41c	3.34d	30.02d	29.39a	0.00b	0.72c	
Morrinhos	4.32b	4.50b	8.89b	48.53c	4.38b	0.06b	2.00ab	
Média	5.14	5.35	8.14	51.87	12.54	0.67	1.720	
DP	1.09	1.08	1.01	5.55	8.49	0.49	0.28	
CV (%)	21.24	20.13	12.36	10.71	67.70	73.71	16.32	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
	1	5.19b	5.19b	7.09bc	73.06a	0.00	2.13b	1.59
Ceraíma	2	3.51b	3.51b	5.81c	60.16b	0.00	0.08c	1.24
	3	7.60a	7.60a	9.80a	77.63a	0.00	3.32a	1.51
	4	5.03b	5.03b	8.30ab	60.70b	0.00	0.06c	2.13
	5	20.23a	20.23a	23.26a	86.46ab	0.00	0.13c	4.30a
Iuiu	6	10.17c	10.17c	11.83c	85.76ab	0.00	2.20ab	3.02ab
	7	10.62c	10.62c	13.95bc	76.16b	0.00	2.52a	2.44ab
	8	13.87b	13.87b	14.63b	94.80a	0.00	1.14bc	1.64b
	9	1.33	1.76	4.43ab	30.03a	24.93bc	1.32a	1.33
Maniaçu	10	0.97	1.46	3.80b	25.60ab	34.20ab	0.01b	1.11
	11	0.77	1.33	4.34b	17.43b	45.03a	0.00b	1.46
	12	2.29	2.60	6.56a	35.30a	11.63c	0.16b	1.82
	13	1.06	1.58	3.83	27.73	33.43	0.00	0.80
Riacho de Santana	14	0.87	1.17	2.60	32.20	29.06	0.00	0.44
	15	1.13	1.53	3.60	31.16	26.90	0.00	0.93
	16	0.98	1.35	3.34	28.96	28.16	0.00	0.71
Morrinhos	17	4.59	4.77	9.75ab	46.76	4.13	0.25	2.53
	18	5.08	5.17	9.91a	51.30	1.86	0.00	2.18
	19	3.90	4.11	7.70b	50.63	5.30	0.00	1.42
	20	3.72	3.96	8.18ab	45.43	6.20	0.01	1.86

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmais; Camada = 0-0.20 m; agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MOS = matéria orgânica do solo – MOS = Carbono orgânico x 1.724 – Walkley-Black. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey (p≤0.05). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou significância (p≤0.05).

A saturação por bases (V), em Morrinhos (48.53%), Riacho de Santana (30.02%) e Maniaçu (27.09), foi considerada muito baixa segundo critérios de Donato et al. (2017c). Com base na CFSEMG (1999), a V foi baixa em Maniaçu e Riacho de Santana, média em Morrinhos, boa em Ceraíma (67.89%) e muito boa em Iuiu (85.80%) (Tabela 6). A classe de V no solo considerada média foi 61.1% a 78.5% e o NCRIz, 67.4% (Donato et al., 2017d). Os maiores índices de saturação por sódio (ISNa) foram encontrados em Iuiu e Ceraíma, que correspondem às regiões que se utilizam da irrigação (Tabela 7).

Os solos constituídos de granulometria mais fina, representados por Iuiu e Morrinhos, apresentaram os maiores conteúdos de matéria orgânica do solo (MOS), com respectivamente, 2.85 e 2.00 dag kg⁻¹; ambos se enquadram na classificação média (CFSEMG, 1999) (Tabela 7). Pela CFSEMG (1999), Morrinhos é boa, Iuiu se enquadra em muito boa e Riacho de Santana, com 0.72 dag kg⁻¹, é baixo. Entre os sistemas de produção, houve diferença significativa no conteúdo de matéria orgânica do solo apenas em Iuiu.

A aplicação de esterco ao solo contribui para a redução de adsorção de P, favorece o incremento nos teores de S e N disponíveis, além de proporcionar maior mobilidade de N e do P em sua forma orgânica solúvel (Novais et al., 2007). Adicionalmente, contribui para melhorias nas características físicas dos solos e, conseqüentemente, favorece a disponibilização de nutrientes às plantas (Donato et al., 2017c).

Em experimento realizado em Guanambi, semiárido baiano, Donato et al. (2017c) apresentaram a equivalência da aplicação do esterco em disponibilização de nutrientes, de modo que a dose de esterco de 71.8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, aplicada à época de plantio e repetida na segunda estação de chuvas, resultou em um aporte equivalente a 310-640-180 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O por aplicação. Isso evidencia a expressiva quantidade de nutrientes adicionada ao solo.

4.5. Teores de fósforo remanescente, enxofre e micronutrientes nos solos dos agroecossistemas e sistemas de produção de palma forrageira ‘Gigante’

O fósforo remanescente (P-Rem) reflete a medida indireta da capacidade máxima de adsorção de P dos solos e, por isso, é usado na interpretação dos teores de P disponível do solo (CFSEMG, 1999). Os teores de P-Rem foram maiores em Riacho de Santana e Ceraíma e os menores em Iuiu, por se tratarem de solos calcários e argilosos (Tabela 8) (Brasil, 1982). Os teores de P-Rem foram muito baixos em Morrinhos, baixos em Iuiu e muito altos em Riacho de Santana, Ceraíma e Maniaçu (Donato et al., 2017c).

O fósforo remanescente (P-Rem) expressa a quantidade de P que permanece em solução de equilíbrio em resposta à concentração de P adicionada ao solo. Em solos mais oxídicos,

espera-se maior incremento da adsorção e a conseqüente redução dos teores de P-Rem. Essa diminuição dos valores de P-Rem também ocorre com a remoção de MOS (Donagemma et al., 2008). Isso corrobora com a importância do conteúdo da matéria orgânica na melhoria das características dos solos, nesse caso, com a maior disponibilização de fósforo para as plantas.

Valores de P-Rem maiores que 30 mg L^{-1} , como apresentados em todos os agroecossistemas, indicam relativamente baixa adsorção de P, comparados a solos com alta capacidade máxima de adsorção de P, que, normalmente apresentam valores de P-Rem inferiores a 20 mg L^{-1} . A classe de interpretação de disponibilidade de fósforo foi muito baixa em Riacho de Santana e muito boa em Iuiu (CFSEMG, 1999).

Os maiores teores de enxofre (S) e manganês (Mn), com 8.13 e $101.82 \text{ mg dm}^{-3}$, foram constatados em Iuiu, por influência do material de origem (Brasil, 1982). Solos ácidos, normalmente, apresentam elevados teores de Al^{3+} e Mn, o que pode afetar o desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, comprometer a parte aérea da planta, com diminuição de produtividade no cultivo (Marschner, 2012; Alves et al., 2019b). Apesar disso, no presente estudo, os solos mais ácidos não apresentaram teores elevados de Mn, conforme os casos de Riacho de Santana e Maniaçu (Tabelas 8 e 3). O Mn é o micronutriente mais extraído/exportado pela palma forrageira na MS (Donato et al., 2017c), variando de 638.1 a $1,968.23 \text{ g Mg}^{-1}$ (Donato, 2011; Silva et al., 2016), a depender do ambiente e da fonte de fertilizante utilizada.

Os teores de cobre (Cu) foram mais elevados em Morrinhos e Iuiu, 1.47 e 1.11 mg dm^{-3} , com boa e média disponibilidade, respectivamente (CFSEMG, 1999). O maior teor de ferro (Fe) foi em Ceraíma (72.46 mg dm^{-3}), considerado alto, e o menor em Morrinhos (25.06 mg dm^{-3}), classificado como médio. Os maiores teores de zinco (Zn) ocorreram em Morrinhos (4.71 mg dm^{-3}) e Iuiu (3.85 mg dm^{-3}), ambos considerados altos (Tabela 8) (CFSEMG, 1999). De acordo com Donato (2011), o Zn é o terceiro micronutriente mais extraído/exportado na MS, 58.3 g Mg^{-1} , diferentemente, é apontado por Silva et al. (2016) como o segundo, 65.1 g Mg^{-1} . Silva et al. (2016) trabalharam com sulfato de amônio como fonte acidificante da rizosfera, o que contribui para o aumento da disponibilidade de cátions metálicos como Mn, Zn, Cu e Fe, ocorrendo o contrário com Donato (2011), que trabalhou com adubação orgânica, que aumenta a adsorção desses cátions e, conseqüentemente, diminui a extração pela planta. A deficiência de Zn afeta a síntese de auxina, proteínas e prejudica o crescimento da planta (Marschner, 2012).

Tabela 8. Teores de fósforo remanescente, enxofre e micronutrientes em solos de 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	P-Rem (mg L ⁻¹)	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	
----- Agroecossistema -----								
Ceraíma	49.96a	2.63ab	0.47ab	0.71bc	63.17b	72.46a	2.52bc	
Iuiu	39.34c	8.13a	0.62ab	1.11ab	101.82a	42.41b	3.85ab	
Maniaçu	47.00b	2.01b	0.68a	0.83bc	19.78c	50.45b	1.66cd	
Riacho de Santana	50.02a	0.65b	0.28b	0.45c	13.13c	43.33b	0.71d	
Morrinhos	35.67d	1.93b	0.81a	1.47a	77.09b	25.06c	4.71a	
Média	44.40	3.07	0.57	0.91	55.00	46.74	2.69	
DP	2.42	4.77	0.10	0.17	14.22	14.24	1.23	
CV (%)	5.45	155.30	18.34	18.71	25.85	30.47	45.81	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
Ceraíma	1	51.17	3.97	0.39	0.94	51.47b	83.57b	3.47
	2	52.63	1.63	0.40	0.60	59.83b	21.50c	3.41
	3	48.33	1.30	0.55	0.71	48.80b	62.40b	1.28
	4	47.70	3.63	0.54	0.58	92.57a	122.37a	1.90
Iuiu	5	29.60b	0.00b	0.61	1.26	136.93a	21.27b	4.13ab
	6	45.47a	4.13b	0.55	1.12	90.30b	43.70ab	2.98b
	7	40.80a	26.57a	0.61	0.84	76.57b	55.27a	2.51b
	8	41.50a	1.80b	0.69	1.22	103.47b	49.40ab	5.77a
Maniaçu	9	45.00	0.00	0.63	0.68	20.67	39.17b	1.36
	10	49.93	2.60	0.69	1.27	15.50	48.27ab	1.77
	11	48.03	0.00	0.63	0.65	8.47	73.63a	1.04
	12	45.03	5.43	0.78	0.73	34.50	40.73b	2.47
Riacho de Santana	13	46.50b	1.30	0.37	0.41	8.97	18.57b	0.35
	14	54.70a	1.30	0.15	0.49	20.83	46.43ab	0.87
	15	49.30b	0.00	0.23	0.46	13.47	77.53a	1.04
	16	49.57ab	0.00	0.35	0.45	9.27	30.80b	0.57
Morrinhos	17	32.73	5.10	0.79	0.96	82.77ab	24.20	2.74b
	18	36.40	0.00	0.91	1.89	82.77ab	28.13	8.37a
	19	37.33	2.60	0.81	2.06	54.80b	32.63	4.24b
	20	36.20	0.00	0.74	0.96	88.03a	15.27	3.50b

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmas; Camada = 0-0.20 m; agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; P-Rem = fósforo remanescente, concentração de P na solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1/10; S = enxofre – extrator fosfato monocalcico em ácido acético; B = boro (extrator água quente); Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; Cu, Mn, Fe e Zn – extrator Mehlich-1. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey (p≤0.05). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou significância (p≤0.05).

Ceraíma, Maniaçu e Morrinhos não apresentaram diferenças significativas nos teores de P-Rem, S, B, Cu e Zn dentro de seus respectivos sistemas de produção e, em Iuiu, somente o B e Cu não variaram significativamente ($p \leq 0.05$). Quando o pH se torna elevado, diminui a disponibilidade de alguns micronutrientes cátions metálicos, como o Cu, Fe, Mn e Zn, além do B. Em estudo realizado no semiárido da microrregião de Guanambi, Donato (2011) detectou as quantidades extraídas/exportadas de micronutrientes na seguinte ordem decrescente, Mn (638.1 g Mg^{-1}), Fe (72.5 g Mg^{-1}), Zn (58.3 g Mg^{-1}), B (29.8 g Mg^{-1}) e Cu (0.07 g Mg^{-1}).

Os maiores teores de B foram encontrados nos solos em Morrinhos (0.81 mg dm^{-3}), Maniaçu (0.68 mg dm^{-3}), Iuiu (0.62 mg dm^{-3}) e Ceraíma (0.47 mg dm^{-3}). A classe que considera o teor médio de B varia de 0.36 a 0.60 mg dm^{-3} (CFSEMG, 1999). O B foi o penúltimo micronutriente em ordem de extração/exportação pela palma forrageira na MS, 29.8 g Mg^{-1} (Donato, 2011) e 22.8 g Mg^{-1} (Silva et al., 2016). Donato et al. (2017d) consideram compatível com o menor nível de associação entre teor no cladódio e a extração de B (0.36).

Com base nas análises de correlação das variáveis apresentadas na Tabela 9, os teores de S no solo apresentaram as maiores correlações significativas e positivas com os teores de S (0.43) e Mn (0.41) nos tecidos da palma forrageira, ambas de moderada magnitude. Os teores de B do solo se correlacionaram de forma significativa, positiva e de moderada magnitude com os valores de Cu (0.62) e de Zn (0.59) nos solos e com os teores de Cu (0.45) nos tecidos vegetais, além da correlação fraca com FDN (0.30). A maior correlação significativa e positiva dos teores de Zn do solo, com micronutrientes nos tecidos vegetais, foi registrada com os teores de B (0.28), porém, de magnitude fraca. Esses resultados corroboram com a dinâmica do B ao estar relacionado com outros elementos e se estabelecer nos processos de extração e exportação de nutrientes pelas plantas.

Os teores de Cu no solo registraram correlação significativa, positiva e de moderada intensidade com o Mn e Zn do solo e com o Cu dos tecidos vegetais, além da associação fraca com a FDN. Os teores de Mn do solo registraram correlação significativa, positiva e de magnitude moderada com o Zn do solo e com os teores S dos tecidos da palma (Tabela 7). Nos tecidos vegetais, o S registrou correlação significativa e positiva com o Zn (0.47) e com a PMS (0.35). O Fe dos tecidos vegetais registrou maior correlação significativa e positiva com o Zn (0.30) na planta, ainda assim, com baixa magnitude (Tabela 9).

Na determinação de faixas de suficiência de micronutrientes para a palma forrageira, Alves et al. (2019) detectaram correlações positivas entre os teores de nutrientes nos tecidos dos cladódios e os do solo, como o Zn com P (0.26). No entanto, os teores de Mn nos cladódios

se correlacionaram de forma negativa com os valores de Ca^{2+} no solo (-0.29) (Galizzi et al., 2004; Alves et al., 2019b).

Tabela 9. Correlação entre os teores de enxofre e de micronutrientes no solo e nos tecidos vegetais, produtividade de matéria seca (PMS) e fibra em detergente neutro (FDN) da palma forrageira ‘Gigante’ de 20 sistemas de produção tradicionais distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Variável	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	CMS	CMB	CMCu	CMMn	CMFe	CMZn	PMS
B	0.05 ^{ns}	1.00											
Cu	-0.01 ^{ns}	0.62**	1.00										
Mn	0.11 ^{ns}	0.45**	0.45**	1.00									
Fe	0.03 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	1.00								
Zn	-0.03 ^{ns}	0.59**	0.66**	0.62**	-0.19 ^{ns}	1.00							
CMS	0.43**	0.09 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.42**	0.20 ^{ns}	0.17 ^{ns}	1.00						
CMB	-0.02 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	0.28*	0.17 ^{ns}	1.00					
CMCu	0.17 ^{ns}	0.45**	0.51**	0.16 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.24*	0.05 ^{ns}	1.00				
CMMn	0.41**	-0.24*	-0.09 ^{ns}	0.24*	-0.01 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.22*	1.00			
CMFe	-0.04 ^{ns}	0.27*	0.10 ^{ns}	0.23*	-0.13 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.11 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.26*	-0.02 ^{ns}	1.00		
CMZn	0.12 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.47**	-0.07 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.30**	1.00	
PMS	0.15 ^{ns}	0.23*	0.15 ^{ns}	0.23*	0.24*	0.22*	0.35**	0.10 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.07 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.13 ^{ns}	1.00
FDN	-0.13 ^{ns}	0.30*	0.32**	0.05 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.12	-0.06 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	0.27*

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: S = teor de enxofre no solo; B = teor de boro no solo; Cu = teor de cobre no solo; Mn = teor de manganês no solo; Fe = teor de ferro no solo; Zn = teor de zinco no solo; CMS = teor de enxofre no tecido vegetal; CMB = teor de boro no tecido vegetal; CMCu = teor de cobre no tecido vegetal; CMMn = teor de manganês no tecido vegetal; CMFe = teor de ferro no tecido vegetal; CMZn = teor de zinco no tecido vegetal; PMS = produtividade de matéria seca; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro. ^{ns} = não significativo; nível de significância: ** = 1% e * = 5%.

4.6. Rendimento da cultura e qualidade da forragem

As maiores produtividades anuais ocorreram em Ceraíma (131.73 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e Iuiu (101.74 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Além de corresponderem aos agroecossistemas com solos com maior fertilidade natural, essas regiões foram as únicas em que os produtores irrigaram os cultivos e, com isso, proporcionaram condições para o alcance de maiores produtividades de massa verde dos cladódios (Tabela 10). Iuiu e Ceraíma também apresentaram os maiores índices de área dos cladódios, com 3.92 e 3.11 m² de cladódio por m² de solo, respectivamente.

Por outro lado, em Riacho de Santana, foram registradas as menores produtividades anuais, com média de 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 10). Riacho de Santana e Maniaçu correspondem aos agroecossistemas com solos de menor fertilidade natural. Contudo, mesmo apresentando solos com maiores restrições de fertilidade e de capacidade de armazenamento de água e matéria orgânica, Maniaçu se destacou em rendimentos e melhores características bromatológicas dos cladódios para uso na alimentação animal.

Considerando as características morfométricas da planta, Maniaçu produziu cladódios com maior largura (17.10 cm) e, juntamente com Ceraíma, tiveram os cladódios com maior comprimento (31.72 e 32.15 cm, respectivamente). A largura é afetada em 49.90% pelo agroecossistema de cultivo do palmar. Os maiores números de cladódios produzidos por planta foram em Morrinhos e Ceraíma, com 28 e 24, respectivamente.

O maior teor médio de proteína bruta (PB) foi detectado em Maniaçu (87.1 g kg⁻¹) e o menor em Morrinhos (59.3 g kg⁻¹). Os sistemas de produção afetaram em maior proporção (49.17%) a composição dos teores de PB nos cladódios (Tabela 10). Outros autores corroboram ao considerar a influência da aplicação de esterco em doses crescentes (0, 30, 60 e 90 Mg ha⁻¹), pois essa prática eleva os teores de nitrogênio total e de PB da palma forrageira ‘Gigante’ (Donato et al., 2014b; Barros et al., 2016; Lédo et al., 2019), além da adubação mineral com suprimento de N e P (Silva et al., 2013).

Os teores médios de FDN se mantiveram baixos, com 192.1 g kg⁻¹. Outros autores detectaram médias que variaram de 283.0 a 318.7 g kg⁻¹ de FDN (Pessoa et al., 2013; Cavalcante et al., 2014; Aguiar et al., 2015). Os palmais de Maniaçu e Morrinhos apresentaram os maiores teores médios de FDN com 221.2 e 199.2 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 10).

O teor de matéria seca (MS) foi superior nos palmais em Riacho de Santana (161,9 g kg⁻¹); nos demais agroecossistemas, variou de 92.6 a 105.4 g kg⁻¹ de MS, sendo mais afetada pelo sistema de produção adotado na propriedade (63.21%) (Tabela 10). O maior teor de MS nos tecidos vegetais dos palmais em Riacho de Santana é justificado pela menor turgidez das plantas em razão do maior déficit hídrico e menor aporte de nutrientes no solo. Essa situação se agrava com o maior albedo provocado nos solos arenosos, com 600 g kg⁻¹ de areia grossa (Tabela 4), e o maior espaçamento, conforme se observou em Riacho de Santana com até 2.5 x 1.5 m (Tabela 2).

A produtividade de matéria seca (PMS) foi igualmente superior para Ceraíma (11.46 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), Iuiu (9.89 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e Maniaçu (9.77 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Morrinhos com 6.10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e Riacho de Santana, com 3.79 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, apresentaram os palmais com as menores PMS (Tabela 10).

A baixa produtividade por planta dos palmais em Iuiu, 5.54 kg por colheita, equiparou-se à de Riacho de Santana, com 5.03 kg, porém, a produtividade em Iuiu superou devido ao maior adensamento utilizado no cultivo com 26,603 plantas ha⁻¹, enquanto Riacho de Santana teve média de 9,317 plantas ha⁻¹ (Tabela 10).

A maior densidade de plantas no cultivo para elevar a produtividade de MS ocasiona maior extração de nutrientes do solo, de início, principalmente, para os elementos móveis, como

N e Ca (Novais et al., 2007). Ademais, o cultivo da palma forrageira apresenta alta extração/exportação de nutrientes (Donato et al., 2017b).

Além de apresentar os melhores rendimentos no número de cladódios por planta, Maniaçu se destacou com as maiores médias de teores de PB e FDN (Tabela 10). Esse melhor desempenho do cultivo da palma forrageira ‘Gigante’ em Maniaçu está relacionado ao fato de a planta se beneficiar das temperaturas noturnas mais amenas da região (exigência ecofisiológica), devido à sua altitude local mais elevada (936 m), constituindo um fator não nutricional que traduz em temperaturas mais amenas (Tabela 1) compatíveis com as temperaturas da região do centro de origem da palma forrageira (Santos et al., 2013), associado às adubações. A altitude das áreas de cultivo da palma forrageira apresentou as maiores correlações positivas com os teores de MO, FDN, FDA em 47, 46 e 41%.

Apesar de os clones serem utilizados regionalmente e pertencerem à mesma cultivar, pode ter ocorrido variação somaclonal no material genético que implica em variações em seu potencial, e, por exemplo, o teor de FDN ser influenciado em parte pela planta também (fator genético). Adicionalmente, destaca-se que todos os sistemas de produção de palma forrageira em Maniaçu foram adubados, prática que influencia a produtividade e o valor nutritivo da palma forrageira (Silva et al., 2013; Léo et al., 2019).

O nível crítico de um nutriente no solo e na planta varia conforme a sua disponibilidade e a capacidade máxima de adsorção do solo (Novais et al., 2007). Adubações químicas (Silva et al., 2013) e orgânicas (Donato et al., 2014b; Barros et al., 2016) provocam redução nos teores de MS e contribuem para a elevação nos teores de PB e da produtividade da palma forrageira ‘Gigante’ (Silva et al., 2017). A adubação aumenta a eficiência nutricional, sendo que adubações orgânicas e organomineral proporcionam maior eficiência nutricional de N, S, P, Mn e Zn em palma forrageira ‘Gigante’ e estão associadas a maiores produtividades de matéria seca, enquanto de K é maior com adubação mineral, para as mesmas quantidades de nutrientes aplicados (Léo et al., 2020).

Portanto, conforme o caso de Maniaçu, na recomendação de adubação não se deve considerar somente as exigências das plantas em determinado nutriente e a disponibilização pelo solo, mas, também, a inter-relação de outros fatores, assim como as questões socioeconômicas e culturais do produtor e das condições ecofisiológicas das plantas e sua consonância com o ambiente que, assim, pode proporcionar melhores condições de adaptação e produção da cultura (Curi e Kämpf, 2015; Donato et al., 2017c).

Tabela 10. Características bromatológicas dos cladódios e o rendimento médio da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em 20 sistemas tradicionais de produção em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	PANUAL (Mg ha ⁻¹)	DENS (plantas ha ⁻¹)	PMS (Mg ha ⁻¹)	MS (g kg ⁻¹)	PB (g kg ⁻¹)	FDN (g kg ⁻¹)	
----- Agroecossistema (ambiente) -----							
Ceraíma	131.74a	14.617b	11.46a	105,4 b	67,4 bc	185,0 b	
Iuiu	101.75ab	26.603a	9.89a	92,6 b	68,0 bc	184,7 b	
Maniaçu	88.58b	9.317c	9.77a	93,4 b	87,1 a	221,2 a	
Riacho de Santana	15.12c	6.657d	3.79b	161,9 a	69,4 b	170,3 b	
Morrinhos	68.43b	6.621d	6.10b	97,4 b	59,3 c	199,2 ab	
Média	81.12	12.763	8.20	110,1	70,2	192,1	
DP	28.68	1734.10	2.02	20,1	8,0	25,2	
CV (%)	35.36	13.59	24.66	18,23	11,46	13,12	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----					
	1	202.64a	14.067ab	11.99ab	61,8 b	67,4 ab	208,3
Ceraíma	2	75.76b	10.692b	10.32ab	134,5 a	61,6 b	180,9
	3	182.53a	16.863a	14.31a	84,3 b	82,3 a	179,7
	4	66.03b	16.846a	9.21b	141,1 a	58,1 b	171,0
	5	65.80b	12.126d	12.63a	192,8 a	64,6	231,7 a
Iuiu	6	55.86b	42.222a	3.04b	55,0 b	59,5	178,2 ab
	7	173.39a	24.113c	11.19a	65,7 b	75,0	159,9 b
	8	111.93ab	27.949b	12.68a	56,7 b	72,7	169,0 b
Maniaçu	9	51.54b	11.238	5.39b	105,8 ab	70,0 c	165,3 b
	10	116.05a	7.743	14.78a	63,3 b	78,0 bc	265,4 a
	11	106.69ab	9.004	11.92a	112,6 a	89,9 b	219,8 ab
	12	80.05ab	9.284	7.00b	91,7 ab	110,7 a	234,3 a
Riacho de Santana	13	14.78	2.571b	3.38	130,8 b	78,4 a	158,7
	14	8.52	9.308a	2.60	166,3 ab	77,9 a	202,1
	15	14.85	7.542a	5.23	174,4 ab	52,0 b	164,8
	16	22.33	7.208a	3.96	176,0 a	69,3 ab	155,8
Morrinhos	17	44.08	5.261b	6.20	140,6 a	62,0 a	174,1
	18	71.56	12.067a	7.56	109,1 ab	44,0 b	183,7
	19	102.00	5.010b	6.70	69,1 b	69,5 a	221,0
	20	56.08	4.144b	3.97	70,8 b	61,6 ab	217,9

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; PANUAL = produtividade anual da palma em cada sistema de produção; DENS = densidade, corresponde ao número de plantas por hectare; PMS = produtividade de massa seca; MS = teor de matéria seca nos cladódios; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro. Com exceção dos produtores 8, 10, 13, 14 e 15 que colheram os cladódios com dois anos, os demais o fizeram com o intervalo de apenas um ano após a última colheita. Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada ambiente, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). A ausência de letras na coluna, indica que a variável não apresentou diferenças significativas para o referido ambiente.

5. Agradecimentos

À Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, ao Instituto Federal Baiano – *Campus* Guanambi, à Universidade Federal de Viçosa – UFV, aos Sindicatos dos Trabalhadores Rurais de Guanambi e de Caetité, por contribuírem para a viabilização do projeto de pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. Referências

- Aguiar, M do S.M.A.; Silva, F.F. da S.; Donato, S.L.R.; Rodrigues, E.S. de O.; Costa, L.T.; Mateus, R.G.; Souza, D.R de; Silva, V.L. da, 2015. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: desempenho e viabilidade econômica. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 36 (2), 1013-1030. <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p1013>.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Alves, J.F.T; Donato, S. L. R.; Donato, P.E.R.; Silva, J.A. da; Guimarães, B.V.C., 2019b. Establishment of sufficiency ranges to determine the nutritional Status of 'Gigante' cactus pear - Micronutrients. *Journal of Agricultural Science*, 11 (18), 222-229. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n18p222>.
- Alves, J.F.T; Donato, S.L.R.; Donato, P.E.R.; Silva, J.A. da; Guimarães, B.V.C., 2019a. Establishment of sufficiency ranges to determine the nutritional status of 'Gigante' Cactus Pear - Macronutrients. *Journal of Agricultural Science*, 11 (18), 213-221. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n18p213>.
- Barros, J.L. de; Donato, S.L.R.; Gomes, V. M.; Donato, P.E.R.; SILVA, J.A. da; Padilha Júnior, M.C., 2016. Palma forrageira 'gigante' cultivada com adubação orgânica. *Revista Agrotecnologia*, Ipameri, 7 (1), 53-65.
- Blanco-Macías, F.; Magallanes-Quintanar, R.; Valdez-Cepeda, R.D.; Vázquez-Alvarado, R.; Olivares-Sáenz, E.; Gutiérrez-Ornelas, E.; Vidales-Contreras, J.A.; Murillo-Amador, B., 2010. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, 173, 927-934. <https://dx.doi.org/10.1002/jpln.200900147>.

- Brasil. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAM BRASIL., 1982. Folha SD-23 Brasília: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra (Levantamento de Recursos Naturais, 29). Rio de Janeiro, RJ, Brazil, pp.660.
- Carmo, V.A. do; Matos, L.V.; Mancio, D.; Freitas, H.R.; Oliveira, C.V. de; Cardoso, I.M., 2018. Etnopedologia: buscando o olhar de quem amanha a terra. In: CARDOSO, I.M.; FÁVERO, C. (Eds.). Solos e agroecologia (Coleção Transição Agroecológica, v.4) Brasília, DF, Brazil: Embrapa. 5, 161-200.
- Cavalcante, L.A.D.; Santos, G.R. de A; Silva, L.M. da; Fagundes, J.L.; Silva, M.A. da., 2014. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, Goiânia, 44 (4), 424-433. <https://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000400010>.
- CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. aproximação. Viçosa, MG, Brazil, pp. 359.
- Curi, N.; Kämpf, N., 2015. Caracterização do solo. In: Ker, J.C; Curi, N; Schaefer, C.E.G.R.; Vidal-Torrado, P. (Eds.). *Pedologia - Fundamentos*. SBCS, Viçosa, MG, Brazil, pp. 81-146.
- Dias, L.A. dos S; Barros, W.S., 2009. *Biometria experimental*. Suprema, Viçosa, MG, Brazil, pp. 408.
- Diniz, F.A.; Ramos, A.M.; Rebello, E.R.G. Brazilian climate normals for 1981-2010., 2018. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53 (2), 131-143. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000200001
- Donagemma, G.K.; Ruiz, H.A., Alvarez, V.H.; Ker, J.C.; Fontes, M.P.F., 2008. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32 (4), 1785-1791. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400043>
- Donato, P.E R.; Pires, A.J.V.; Donato, S.L.R., Bonomo, P., Silva, J.A.; Aquino, A.A., 2014a. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife*, 9 (1), 151-158. <https://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3252>.
- Donato, P.E.R. 2011. Avaliação bromatológica, morfológica, nutricional e de rendimento em palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, BA, Brazil, pp. 134.

- Donato, P.E.R., Donato, S.L.R., Silva, J.A., Pires, A.J.V.; Silva Junior, A.A. e., 2017a. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacings and organic fertilization. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, Campina Grande, 21 (4), 238-243. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p238-243>.
- Donato, P.E.R.; Donato, S.L.R.; Silva, J.A. da; Londe, L.N.C.; Rodrigues, M.G.V., 2017b. Implantação da lavoura de palma forrageira. *Informe Agropecuário*, 38 (296), 21-33.
- Donato, P.E.R.; Pires, A.J.V.; Donato, S.L.R.; Silva, J.A.; Aquino, A.A., 2014b. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. *Caatinga*, 27, 163 -172.
- Donato, S.L.R.; Donato, P.E.R.; Silva, J.A. da; Rodrigues, M.G.V., 2017c. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira ‘Gigante’. *Informe Agropecuário*, 38 (296), 46-58.
- Donato, S.L.R.; Silva, J.A. da; Donato, P.E.R.; Rodrigues, M.G.V.; Rufino, L.D. de A.; Silva Júnior, A.A e., 2017d. Exigências nutricionais e manejo da adubação em palma forrageira. *Informe Agropecuário*, 38, (296), 62-75.
- Dubeux Júnior, J.C.B.; Araújo Filho, J.T.; Santos, M.V.F. dos; Lira, M. de A.; Santos, D.C. dos; Pessoa, R.A.S., 2010. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, 5 (1), 129-135. <https://dx.doi.org/10.5039/agraria.v5i1a591>.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, estudo da Bahia (EMBRAPA-SNLCS. Boletim técnico, 52; SUDENE-DRN. Série Recursos de solos, 10). Recife, 735p. 1977.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Organizadores: Humberto Gonçalves dos Santos et al. 3.ed. revista e ampliada. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.
- Fialho, J.; Aguiar, M.; Maia, L.; Magalhães, R.; Araújo, F.; Campanha, M.; Oliveira, T., 2013. Soil quality, resistance and resilience in traditional agricultural and agroforestry ecosystems in Brazil’s semiarid region. *African Journal of Agricultural Research*, Victoria Island, 8 (40), 5020 – 5031. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2545.4485>.
- Galizzi, F.A.; Felker, P.; González, C.; Gardiner, D., 2004. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus-indica* in a traditional farm setting in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 59 (1), 115-132. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.01.015>

- Inmet. Instituto Nacional de Meteorologia. [Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010]. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: Maio de 2020.
- Lédo, A.A.; Donato, S. L. R.; Aspiazú, I.; Silva, J. A. da; Donato, P. E. R.; Carvalho, A.J. Nutrient concentration and nutritional efficiency in ‘Gigante’ cactus pear submitted to different spacings and fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 3, p.154-161, 2020. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p154-16>.
- Lédo, A.A.; Donato, S.L.R.; Aspiazú, I.; Silva, J.A.; Donato, P.E.R.; Carvalho, A.J., 2019. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, 413-418. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p413-418>.
- Lopes, E.B.; Santos, D.C.; Vasconcelos, M.F., 2012. Cultivo da palma forrageira. In: LOPES, E.D. (Org.). *Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino*. EMEPA, João Pessoa, PB, Brazil, 1, 21-60.
- Lucena, D.B; Medeiros, R.M.; Saboya, L.M.; Nascimento, P.L., 2016. Aptidão e Zoneamento Agroclimático da Palma Forrageira para o Estado do Piauí. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 10 (4), 809 – 819. <https://dx.doi.org/10.7127/rbai.v10n400450>.
- Maia, C.E.; Morais, E.R.C. de; Oliveira, M. de., 2001. Nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida: uma nova proposta para interpretação de análise foliar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 5 (2), 235-238.
- Marschner, P. (Ed.), 2012. *Marschner’s mineral nutrition of higher plants*. 3.rd ed. Amsterdam: Elsevier, pp. 651.
- Matos, L.M.; Ker, J.C.; Cardoso, I.M.; Lani, J.L.; Schaefer, C.E.G.R., 2014. O conhecimento local e a etnopedologia no estudo dos agroecossistemas da Comunidade Quilombola de Brejo dos Crioulos. *Soc. & Nat.*, Uberlândia, 26 (3), 497-510. <https://dx.doi.org/10.1590/1982-451320140308>.
- Nobel, P.S., 2001. *Biologia ambiental*. In: Barbera, G.; Inglese, P.; Pimienta-Barrios, E.P. (Ed.). *Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira*. Sebrae-PB: FAO, João Pessoa, PB, Brazil, pp.36-48.
- Novais, R. F.; Smith, T. J., 1999. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil, pp. 399.

- Novais, R.F. et al. (Ed.), 2007. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, Brazil, pp. 1017.
- Oliveira Júnior, S.; Barreiro Neto, M.; Ramos, J.P.F.; Leite, M.L.V.; Brito, E.A.; Nascimento, J. P., 2009. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido Paraibano. *Tecnologia & Ciências Agropecuária*, 3, 7-12.
- Pavan, M.A.; Miyazawa, M., 1997. Lições de fertilidade do solo: pH (Circular, 93). IAPAR Londrina, PR, Brazil, pp. 47.
- Pessoa, R.A.S.; Ferreira, M. de A; Silva, F.M. da; Bispo, S.V.; Wanderley, W.L.; Vasconcelos, P.C., 2013. Diferentes suplementos associados à palma forrageira em dietas para ovinos: consumo, digestibilidade aparente e parâmetros ruminais. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, 14 (3), 508-517. <https://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402013000300012>.
- Pimienta-Barrios, E.; Hernández, J.Z.; Muñoz-Urias, A.; Murguía, C.R., 2012. Ecophysiology of young stems (cladodes) of *Opuntia ficus indica* in wet and dry conditions. *Gayana Botanica*, 69, 232-239.
- Resende, M. et al., 2007. *Pedologia: Bases para Distinção de Ambientes*. 5.ed. rev. Editora UFLA, Lavras, MG, Brazil, pp. 322.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B., 2017. Uso das informações pedológicas agrícola e não agrícola. In: Curi, N.; Ker, J.C.; Novais, R.F.; Vidal-Torrado, P.; Schaefer, C.E.G.R. (Ed.). *Pedologia – solos dos biomas brasileiros*. 1ª Ed., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, Brazil, pp.47-110.
- Ribeiro Júnior, J.I.; Melo, A.L.P de., 2008. Guia prático para utilização do SAEG. Folha, Viçosa, MG, Brazil, pp. 287.
- Santos, M.R.; Donato, S.L.R.; Coelho, E.F.; Cotrim Júnior, P.R.F.; Castro, I.N., 2016. Irrigation deficit strategies on physiological and productive parameters of ‘Tommy Atkins’ mango. *Revista Caatinga*. 29 (1), 173-182. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n120rc>
- Sei. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Secretaria de Estado de Planejamento: Bahia: 2014. Disponível em: http://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=110&Itemid=96. Acesso em 11 Nov. 2015.
- Silva, D. J.; Queiroz, A.C., 2009. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil, pp. 235.
- Silva, J.A. da; Bonomo, P.; Donato, S.L.R.; Pires, A.J.V.; Rosa, R.C.C.; Donato, P.E.R., 2012. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e

- adubações químicas. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife, 7, 866-875. <https://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7isa2134>.
- Silva, J.A. da; Donato, S.L.R.; Donato, P.E.R.; Rodrigues, M.G.V., 2017. Cultivares e manejo de palma forrageira. Informe Agropecuário, 38 (296), 34-45.
- Silva, J.A. da; Donato, S.L.R.; Donato, P.E.R.; Souza, E. dos S., Padilha Júnior, M.C.; Silva Junior, A.A., 2016c. Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacings and chemical fertilizers. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., Campina Grande, 20 (3), 236-242. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p236-242>.
- Silva, J.A. da; Donato, S.L.R.; Donato, P.E.R.; Souza, E. dos S.; Padilha Júnior, M.C.; Silva Junior, A.A. e., 2016a. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 20 (6), p.564-569. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p564-569>.
- Silva, J.A.; Bonomo, P.; Donato, S.L.R.; Pires, A.J.V.; Silva, F.F.; Donato, P.E.R., 2013. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações químicas. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife, 8 (2), 242-350. <https://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2431>.
- Silva, N.G. de M. et al., 2016b. effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. Rev. Caatinga, Mossoró, 29 (4), 976-983. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n423rc>.

CAPÍTULO IV

SISTEMAS TRADICIONAIS DE PRODUÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BAIANO

(Artigo formatado de acordo com as normas técnicas da ABNT - NBR)

Sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ em agroecossistemas do semiárido baiano

Resumo - A produtividade e a qualidade nutricional da palma forrageira são afetadas pelas inter-relações entre as características edafoclimáticas do ambiente de cultivo, com as práticas de manejo e o potencial genético da planta. Ao articular a caracterização dos solos dos agroecossistemas, o detalhamento dos sistemas de produção de palma forrageira, mais o levantamento dos atributos estruturais e rendimento das plantas, com a qualidade do cladódio para uso como forragem, espera-se estabelecer a melhor relação planta-ambiente-homem. Assim, é possível identificar e/ou formular tecnologias viáveis e apropriadas para a otimização da produção da palma forrageira em quantidade e qualidade, com práticas condizentes às especificidades locais. Objetivou-se, com o presente trabalho, sistematizar parte dos resultados da pesquisa “O cultivo da palma forrageira ‘Gigante’ em agroecossistemas de semiárido baiano” com vista à sua apresentação e disponibilização aos produtores tradicionais. Constatou-se que as características dos agroecossistemas afetaram mais o comprimento e largura dos cladódios, a matéria orgânica e o material mineral na planta. Os sistemas de produção estabelecidos afetaram, maiormente, a produção de massa de cladódios por planta, a produtividade de massa verde, a área total de cladódios, o número de cladódios produzidos por planta, teores de matéria seca, teores de nitrogênio, proteína bruta e fibra em detergente neutro. Os componentes mais afetados pelo efeito da planta (genótipo) foram os teores de gordura ou extrato etéreo na planta, a capacidade de produção de massa por cladódio e os teores de fibra em detergente neutro nos tecidos dos cladódios. Espera-se disponibilizar as informações geradas de forma mais acessível e possível de serem incorporadas aos sistemas de produção de palma forrageira na perspectiva de torná-los mais sustentáveis.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*, ambiente, qualidade da forragem, rendimento, manejo, conhecimento local.

Traditional systems of ‘Gigante’ cactus pear production in agroecosystems of Bahia semiarid region

Abstract - The productivity and nutritional quality of the cactus pear are affected by the interrelationships between the edaphoclimatic characteristics of the cultivation environment, with the management practices and the genetic potential of the plant. By articulating the characterization of agroecosystem soils, detailing the production systems of cactus pear, plus the survey of structural attributes and plant yield, with the quality of the cladodes for use as forage, it is expected to establish the best plant-environment-man relationship. Thus, it is possible to identify and / or formulate viable and appropriate technologies to optimize the production of cactus pear in quantity and quality, with practices consistent with local specificities. The objective of this work was to systematize part of the results of the research “The cropping of cactus pear 'Gigante' in agroecosystems in the Bahia semiarid region”, with a view to its presentation and availability to traditional producers. It was found that the characteristics of agroecosystems most affected the length and width of the cladodes, the organic matter and the mineral material in the plant. The established production systems most affected the mass production of cladodes per plant, the productivity of green mass, the total area of cladodes, the number of cladodes produced per plant, dry matter content, nitrogen content, crude protein and fiber in neutral detergent. The components most affected by the effect of the plant (genotype) were the levels of fat or ether extract in the plant, the capacity for mass production by cladode and the levels of neutral detergent fiber in the tissues of the cladodes. It is hoped that the information generated will be made available in a more accessible and possible way to be incorporated into their cactus pear production systems with a view to making them more sustainable.

Key words – *Opuntia ficus-indica*, environment, forage quality, yield, management, local knowledge.

1. Introdução

As crescentes limitações ambientais inerentes ao semiárido brasileiro têm contribuído para o maior interesse e expansão das áreas de cultivo da palma forrageira diante da possibilidade de maior adaptabilidade da planta e da sustentabilidade da atividade agropecuária (SILVA et al., 2016; GOMES et al., 2018). Nesses períodos de secas extremas e longas, ou de

maior imprevisibilidade com atraso do início da estação de chuvas, o cultivo da palma forrageira assume importância para produtores, governos e instituições de ensino, pesquisa e extensão, o que deveria ser uma preocupação contínua na elaboração e implementação de políticas públicas mais eficazes (SILVA et al., 2017).

A palma forrageira apresenta-se como uma importante fonte de forragem para os animais, devido à sua acessibilidade e fácil multiplicação pelos produtores, associadas aos mecanismos fisiológicos de eficiência fotossintética, resistência ao déficit hídrico, eficiência no uso da água e qualidade nutricional (BLANCO-MACÍAS et al., 2010; SILVA et al., 2014; LOPES et al., 2019).

O rendimento, resiliência e qualidade nutricional da palma forrageira são consequências das inter-relações entre as características edafoclimáticas do ambiente de cultivo, das técnicas e práticas de manejo adotadas pelo produtor e do potencial genético da planta (NOBEL, 2001; RESENDE et al., 2002; PIMIENTA-BARRIOS et al., 2012; DONATO et al., 2017d). As respostas das plantas frente ao ambiente de cultivo e manejo afetam a qualidade dos cladódios para uso como forragem, o rendimento e a longevidade do palmar (AGUIAR et al., 2015a; DONATO et al., 2017b).

O emprego das estratégias de manejo perpassa por todas as etapas do cultivo, desde a seleção do material propagativo, escolha adequada do local de plantio, preparo do solo, época de plantio, adensamento e arranjo espacial das plantas, adubação de plantio, controle de pragas e doenças, tratos culturais e controle de plantas daninhas, época e intervalos entre as colheitas e a preservação de cladódios remanescentes após a colheita para manutenção de reserva da planta (SANTOS et al., 2013; CAVALCANTE et al., 2014). E, ainda, a realização de adubações considerando a demanda nutricional da palma forrageira e a capacidade do solo em suprir a extração de nutrientes pela planta (FIALHO et al., 2013; DONATO et al., 2014b).

A adubação mineral constitui uma prática pouco adotada pelos produtores tradicionais do semiárido, em razão dos custos elevados dos fertilizantes químicos, difícil acesso à assistência técnica, agravada pelas limitações na eficiência da aplicação com a variabilidade do regime de chuvas (DONATO et al., 2017c).

Contudo, o esterco bovino é uma opção adotada pelos produtores tradicionais de palma forrageira, porém, sem o devido reconhecimento das proporções adequadas de uso e o real potencial para a melhoria do cultivo, ou mesmo por não disporem do suficiente na propriedade (BARROS et al., 2016). Geralmente, o esterco é aplicado em quantidades que não atendem as exigências da planta ou não aproveitam o potencial da cultura (DUBAUX JÚNIOR et al., 2010; ALVES et al., 2019).

O uso do esterco bovino na adubação do solo contribui para maior disponibilização de nutrientes, beneficia a estrutura da planta e melhora sua qualidade para uso como forragem (BARROS et al., 2016; DONATO et al., 2017a). Adubações orgânicas e organominerais proporcionam maior eficiência nutricional de N, S, P, Mn e Zn em palma forrageira ‘Gigante’ e estão associadas a maiores produtividades de matéria seca, enquanto que a adubação mineral apresenta maior eficiência nutricional para K, para as mesmas quantidades de nutrientes aplicados (LÉDO et al., 2020).

Ao articular a caracterização dos solos dos agroecossistemas com a especificação dos sistemas de produção de palma forrageira, com o levantamento dos rendimentos de massa verde, atributos estruturais das plantas e a qualidade do cladódio para uso como forragem, espera-se identificar as melhores combinações planta-ambiente-homem. Assim, é possível otimizar e formular tecnologias viáveis e apropriadas para produção de palma forrageira em quantidade e qualidade e potencializar a criação de animais no semiárido brasileiro (PADILHA JÚNIOR et al., 2016; LÉDO et al., 2019).

Objetivou-se com o presente trabalho sistematizar parte dos resultados da pesquisa “O cultivo da palma forrageira ‘Gigante’ em agroecossistemas de semiárido baiano” com vista à sua apresentação e disponibilização aos produtores tradicionais. Espera-se tornar as informações geradas mais acessíveis e possíveis de serem incorporadas aos seus sistemas de produção de palma forrageira, na perspectiva de torná-los mais sustentáveis.

2. Material e métodos

2.1. Localização e características gerais da área de estudo

A microrregião de Guanambi está sobre o domínio que abrange o Pediplano Sertanejo, mais à jusante da sub-bacia do rio das Rãs. A geologia do Complexo Guanambi ocorre na margem direita do rio São Francisco, em extensa região aplainada, cuja monotonia é quebrada por *inselbergs* (picos rochosos isolados) de formas suaves e esparsas. Coberturas Detríticas (Terciário/Quaternário) foram constatadas em áreas isoladas e planas, em interflúvios, sobre o Complexo Santa Isabel, à montante da sub-bacia do rio das Rãs (BRASIL, 1982).

A área da sub-bacia do rio das Rãs apresenta amplo domínio de Caatinga Hipoxerófila, que faz transição com a Floresta Estacional Decidual (Mata Seca), além da ocorrência de áreas de transição Cerrado-Caatinga (ecótono), reconhecido localmente como ‘carrasco’ (BRASIL, 1982). Essa condição propiciou o estabelecimento de diferentes comunidades tradicionais com

os seus saberes populares construídos em estreita relação com esses ambientes, gerando, assim, diversidade de agroecossistemas.

A média anual de precipitação na região é inferior a 800 mm. O período chuvoso ocorre de novembro até abril, seguidos de seis meses de estiagem (período seco), de maio a outubro. Os meses de maior escassez de água estão compreendidos de junho a agosto, que pode se prolongar até novembro.

A microrregião de Guanambi apresenta clima quente de Caatinga, com chuvas de verão e período seco bem definido (BSwh - Köppen). Ao leste, em menor proporção, ocorre o clima tropical chuvoso de floresta com inverno seco e verão chuvoso (Aw), que pode ocorrer em áreas de vegetação de caatinga, floresta estacional e nas transições de vegetação (SEI, 2014).

2.2. Apresentação da proposta de estudo junto a entidades de representação de produtores rurais na microrregião de Guanambi

O projeto de pesquisa foi idealizado e construído considerando o perfil de atuação profissional do pós-graduando, servidor do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – Bahia), juntamente com a experiência do professor Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IFBaiano) em pesquisas com palma forrageira na microrregião de Guanambi. O projeto foi aperfeiçoado e apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido com a participação dos coorientadores professor Dr. Marcos Koiti Kondo (Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES) e do professor Dr. João Luiz Lani (Universidade Federal de Viçosa - UFV).

Para a viabilização de sua execução, o projeto de pesquisa foi apresentado ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Guanambi, à Casa de Agroecologia do Semiárido (CASA), ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Caetité, à Cooperativa de Assessoria Técnica e Educacional para o Desenvolvimento da Agricultura Familiar (COOTRAF) e aos produtores rurais dos municípios de Iuiu e Riacho de Santana. Essas entidades de representação, lideranças comunitárias e assessoria técnica se interessaram em participar da pesquisa e se comprometeram a apresentar comunidades de produtores rurais com tradição no cultivo de palma forrageira aos pesquisadores, na microrregião de Guanambi. Essa intervenção foi importante no sentido de facilitar a receptividade e confiança das famílias de produtores de palma forrageira com relação à pesquisa.

As fotos de visitas técnicas às comunidades rurais, juntamente com as entidades de representação, para apresentação do projeto de pesquisa e sondagem do interesse dos produtores e de suas famílias em participarem das atividades propostas, são apresentadas na Figura 1.



Figura 1. Apresentação e mobilização de produtores nos diferentes agroecossistemas de palma forrageira em relação ao projeto de pesquisa.
Fotos: Laudiceio Viana Matos.

2.3. Identificação dos agroecossistemas de cultivo tradicional da palma forrageira

Para avaliar o desempenho e potencial produtivo, as características estruturais da planta e a qualidade da forragem produzida sob diferentes condições ambientais e de manejo, foram

identificadas e delimitadas regiões com agroecossistemas contrastantes no semiárido da microrregião de Guanambi. Assim, foram estratificados cinco agroecossistemas com base na distinção do uso e cobertura do solo, vegetação, relevo, altimetria, disponibilidade hídrica, tipologia dos produtores e sistemas de produção da palma forrageira.

Os agroecossistemas selecionados para a realização do estudo de sistemas de produção da palma forrageira foram nas seguintes regiões: 1 - Distrito Irrigado de Ceraíma, Guanambi-BA (14° 17' 40" S; 42° 42' 44" O e 542 m de altitude); 2 - Vale do Iuiu, Iuiu-BA (14° 23' 50" S; 43° 27' 07" O e 507 m de altitude); 3 - Maniaçu, Caetité-BA (13° 48' 50" S; 42° 24' 32" O e 936 m de altitude); 4 - Baixio, Riacho de Santana-BA (13° 32' 08" S; 43° 09' 19" O e 482 m de altitude); 5 - Morrinhos, Guanambi-BA (14° 14' 02" S; 42° 37' 08" O e 843 m de altitude) (Figura 2).

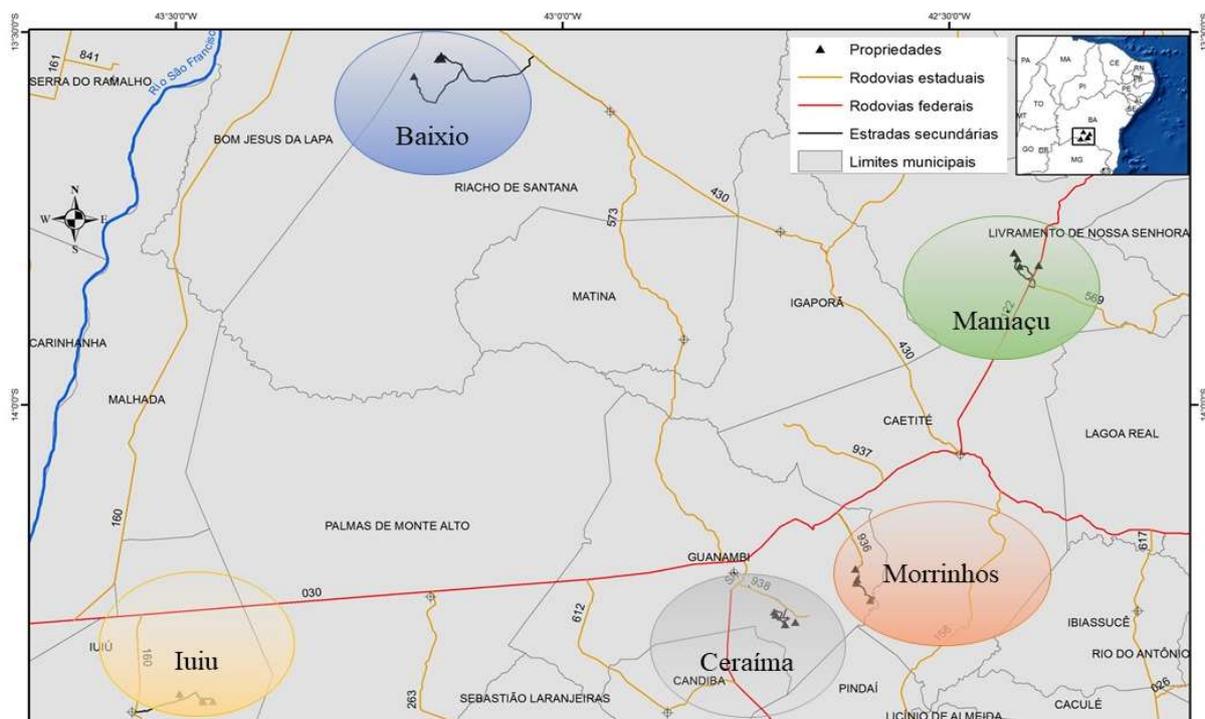


Figura 2. Localização dos agroecossistemas e os respectivos sistemas de produção selecionados para a realização da pesquisa na microrregião de Guanambi, semiárido baiano.
Fonte: Elaboração do autor.

Foram selecionadas quatro propriedades tradicionais com sistemas de produção da palma forrageira específicos a cada agroecossistema identificados nessa microrregião do semiárido baiano (Figura 3). Esses agroecossistemas apresentam diferentes características e, em cada situação, é necessário um manejo adequado dos cultivos e dos recursos naturais para maior produtividade e sustentabilidade ambiental, formando, assim, elementos fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa (RESENDE et al., 2002). Os sistemas de produção

incorporam os saberes populares construídos ao longo do tempo pelos agricultores, o que inclui conhecimentos adquiridos de instituições de ensino, pesquisa e extensão, e por entidades de representação e assessoria técnica.



Figura 3. Vista geral das paisagens de ocorrência dos cinco agroecossistemas onde foram selecionados os sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’.
Fotos: Laudiceio Viana Matos.

2.4. Seleção e caracterização dos sistemas de produção de palma forrageira

Com o intuito de facilitar o diálogo com as comunidades e o acesso ao conjunto de informações e resultados dos saberes e experiências acumuladas pelos produtores tradicionais com o cultivo da palma forrageira, foram envolvidas as organizações de trabalhadores rurais e assessoria técnica na região, como os sindicatos, para estabelecerem o contato inicial com os produtores. Essas organizações acompanharam os pesquisadores até as comunidades dentro dos agroecossistemas identificados e os apresentaram às famílias de produtores de palma forrageira. Dessa forma, conseguiu-se agilizar e qualificar a seleção dos sistemas de produção representativos de cada agroecossistema.

Na seleção dos produtores, considerou-se a necessidade de apresentarem relação estreita e complexa com o agroecossistema, de modo que já residam e a família tenha a tradição no cultivo da palma forrageira e demais atividades agropecuárias em sua região. Dentro de cada agroecossistema, procurou-se identificar sistemas de produção de palma forrageira mais uniformes, com a manutenção e padronização dos espaçamentos e dos tratos culturais em toda área de cultivo, observação da sanidade do palmal (controle de pragas e doenças), uniformidade na colheita e solos mais homogêneos.

A observância dessas condições foi adotada para reduzir o erro amostral entre as áreas experimentais. Outros critérios utilizados referem-se à existência de processos organizativos, facilidade de acesso e interesse da unidade familiar de produção em participar da pesquisa. Também, considerou-se a observância da compatibilidade e possibilidade do atendimento dos objetivos propostos, além do cuidado de se evitar a geração de expectativas por parte dos produtores, que não poderiam ser atendidas pela presente pesquisa.

Nas visitas técnicas às comunidades, buscou-se obter o máximo de informação possível da realidade local e do modo de vida de seus habitantes, o que inclui a relação com a terra e as formas de manejo adotadas no cultivo da palma e seu aproveitamento. A pesquisa realizada junto aos produtores de palma forrageira no semiárido da microrregião de Guanambi considerou as normas e condições legais previstas na Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde.

Assim, foram selecionadas quatro famílias de produtores tradicionais com sistemas de produção de palma forrageira ‘Gigante’ representativos de cada agroecossistema, totalizando 20 propriedades (áreas experimentais) no semiárido da microrregião de Guanambi (Tabela 1).

Nas propriedades selecionadas, buscou-se caracterizar cada sistema de produção adotado pelo produtor, para isso, utilizou-se métodos e abordagens de metodologias participativas e entrevistas semiestruturadas. Assim, fez-se o levantamento de informações

referentes ao conhecimento local e sua relação com o sistema de produção da palma forrageira, e, também, coleta de alguns dados socioeconômicos de cada unidade de produção familiar (CARMO et al., 2018).

Tabela 1. Caracterização dos sistemas de produção de palma forrageira ‘Gigante’ e classes texturais dos solos nos agroecossistemas.

P	Local	Dp	Uc	Esp.	Est.	Irrig.	Classe	Controle
				(m)			textural	de ervas
----- Ceraíma – Guanambi-BA -----								
1	Ceraíma	2013	2016	1,60x0,40	16	S	Franco-Arenosa	Cm e Cq
2	Ceraíma	2012	2016	1,10x0,40	70	N	Franco-Arenosa	Cm e Cq
3	Ceraíma	2014	2016	0,80x0,50	90	N	Franco-Argilo-Arenosa	Cm e Cq
4	Ceraíma	2014	2016	1,10x0,50	--	N	Franco-Arenosa	Cm e Cq
----- Vale do Iuiu - Iuiu-BA -----								
5	Agreste	2014	2016	1,50x0,40	20	N	Argila	Cm e Cq
6	Agreste	2016	---	2,00x0,10	15	S	Franco-Siltosa	Cm
7	Poço de Paulo	2016	---	1,80x0,10	16	S	Franco-Argilosa	Cm
8	Agreste	2015	---	1,80x0,10	16	S	Franco-Argilo-Siltosa	Cm e Cq
----- Maniaçu – Caetitê-BA -----								
9	Junquinho	2016	----	1,60x0,50	17	N	Franco-Argilo-Arenosa	Cm
10	Cardoso	2012	2015	1,50x0,90	90	N	Franco-Arenosa	Cm
11	Tabuleiro	2013	2016	1,30x0,90	10	N	Franco-Arenosa	Cm
12	Barauninha	2014	2016	1,50x0,60	18	N	Franco-Argilo-Arenosa	Cm
----- Baixio – Riacho de Santana-BA -----								
13	Massal	2013	2015	2,50x1,50	---	N	Franco-Arenosa	Cm
14	Várzea da Pedra	2015	---	1,00x0,90	16	N	Areia	Cm e Cq
15	Massal	2015	---	1,50x1,10	50	N	Areia Franca	Cm
16	Massal	2012	2016	1,40x0,80	90	N	Areia Franca	Cm
----- Morrinhos – Guanambi-BA -----								
17	Sacoto	2005	2016	2,00x0,80	---	N	Franco-Argilosa	Cm
18	Distrito	2013	2016	1,00x0,60	---	N	Franco-Argilo-Arenosa	Cm
19	Distrito	2010	2016	1,40x1,40	15	N	Franco-Argilo-Arenosa	Cm
20	Distrito	2010	2016	2,80x0,80	48	N	Argilo-Arenosa	Cm e Cq

Fonte: Elaboração do autor.

Notas: P = Sistemas de produção estudados; Dp = data de plantio; Uc = data da última colheita. Quando ausente, indica que ainda não foi colhida; Esp. = espaçamento; Est. = quantidade de esterco bovino aplicado no palmar no último ciclo (Mg ha⁻¹); Irrig. = adoção da prática da irrigação: S - irriga, N - não irriga; CM = controle manual de ervas espontâneas; CQ = controle químico de ervas espontâneas.

OBS.: Os produtores 1, 3 e 4 utilizaram inseticidas, sem acompanhamento técnico; os produtores 5 e 7 utilizam ureia e esterco bovino na adubação; o produtor 7 iniciou a irrigação em de julho de 2017; o produtor 12 utilizou sulfato de amônio e esterco bovino na adubação; em Maniaçu, há alta incidência de papagaios que se alimentam da palma; o produtor 17 utiliza ureia na adubação, a cada dois anos; os produtores 1, 3, 9 e 12 utilizaram óleo mineral para o controle de pragas e doenças. A colheita das amostras experimentais dos sistemas de produção foi realizada entre agosto e setembro de 2017.

Na caracterização dos sistemas de produção, durante a pesquisa de campo juntamente com os agricultores, realizou-se o levantamento de informações relacionadas ao histórico da área, dados de produção na linha do tempo e a especificação do sistema de manejo adotado, como a configuração e população de plantas, tratamentos culturais, adubações, controle de pragas e doenças, sistema de colheita e aproveitamento da forragem da palma, controle de ervas espontâneas, época e método de colheita e incursões nas unidades produtivas familiares (UPF) (Figura 4). Utilizou-se linguagem simples, procurando-se estabelecer diálogo horizontal e construtivo com os representantes das comunidades tradicionais produtoras de palma forrageira (MATOS et al., 2014; CARMO et al., 2018).

Na ocasião da coleta dos dados de produção, ou seja, colheita dos palmais referentes aos sistemas de produção, no período de agosto a setembro de 2017, foram realizados os levantamentos morfométricos (estrutura da planta) e de rendimento das plantas (produtividade de cladódios). Além disso, foram coletadas amostras de tecidos dos cladódios para a realização de análises bromatológicas (qualidade do cladódio para uso como forragem) e de composição mineral, identificando os teores de diferentes minerais nas plantas. Também, foram coletadas amostras de solos (0-20 cm de profundidade) em todos os sistemas de produção para a realização de análises físicas e químicas, conforme especificações nos itens a seguir.



Figura 4. Caracterização dos sistemas tradicionais de produção de palma forrageira - semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Fotos: Laudiceio Viana Matos.

2.5. Composição mineral e bromatológica das plantas de palma forrageira

Para a avaliação da composição mineral (teores de nutrientes) e bromatológica (qualidade para uso como forragem) dos cladódios, coletaram-se, em média, 34 amostras de cladódios por repetição (talhões de coleta demarcados nas áreas de cultivo), com aproximadamente 40 g cada, na ocasião da colheita na área experimental. Essas amostras foram coletadas dentro da área útil de cada uma das três repetições dos 20 sistemas de produção (Tabela 1). A coleta dos tecidos dos cladódios foi realizada no período de agosto a setembro de 2017.

Usou-se uma serra copo com 5,8 cm diâmetro e 4,0 cm de profundidade, adaptada a uma furadeira à bateria que, acionada sobre o cladódio, retirava uma porção circular e uniforme do tecido vegetal (SILVA et al., 2013; DONATO et al., 2014b). As amostras de massa verde foram preparadas e secadas em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 h e, posteriormente, levadas ao moinho tipo *Wiley* com crivo de malha de 1,00 mm.

As análises de composição mineral foram realizadas no Laboratório de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Epamig Norte, em Nova Porteirinha-MG. Foram determinados, nas amostras secas, os seguintes minerais: P = fósforo; K = potássio; S = enxofre; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco; Na = sódio, todos determinados pelo método da digestão nítrico-perclórica; o N – nitrogênio – digestão sulfúrica – método Kjeldahl e o B = boro – método da digestão seca.

No Laboratório de Bromatologia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *Campus* Itapetinga, foram determinadas, nas amostras secas (SILVA; QUEIROZ, 2009), as seguintes frações: MS - teor de matéria seca; N- nitrogênio; PB - proteína bruta; FDN - fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; EE - teor de gordura bruta ou extrato etéreo e MM – material mineral.



Figura 5. Coleta e preparo das amostras para a determinação da composição mineral e caracterização bromatológica dos tecidos vegetais da palma forrageira ‘Gigante’ conforme Silva et al. (2013) e Donato et al. (2014b).

Fotos: Laudiceio Viana Matos.

Nota: A - Extração do tecido vegetal por meio de uma serra copo adaptada a uma furadeira à bateria; B - Cladódios na planta após a extração das amostras do tecido vegetal; C - Tecido vegetal extraído e conduzido ao laboratório para preparo de amostra; D - preparo de amostras do tecido vegetal; E - amostras de massa verde levadas ao forno para secagem; F - amostras de massa verde preparadas e secadas em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 h; G - amostras secas levadas ao moinho tipo Wiley com crivo de malha de 1,00 mm para moagem; H - amostras prontas para a realização das análises de constituição mineral e bromatológica do tecido da palma forrageira.

2.6. Características estruturais e rendimento das plantas de palma forrageira

Para a caracterização estrutural, foram avaliadas quatro plantas ao acaso em cada uma das três repetições (talhões demarcados em cada área de cultivo), sendo 12 plantas por palmal, em 20 propriedades, perfazendo o total de 240 plantas. As principais variáveis estruturais e a descrição da forma de obtenção dessas medidas são apresentadas na Tabela 2 e Figura 6.

Tabela 2. Principais características estruturais das plantas levantadas nos sistemas de produção de palma forrageira em cinco agroecossistemas do semiárido baiano.

Variável		Descrição
ECL	Espessura do cladódio	- Uso do paquímetro na porção mediana do cladódio (cm);
LCL	Largura do cladódio	- Uso da fita métrica para realizar as medições na porção de maior largura nos cladódios (cm);
CCL	Comprimento do cladódio	- Uso da fita métrica para as medições de comprimento dos cladódios, considerou-se a região de maior comprimento;
NCL	Número de cladódios	- Contagem do número de cladódios por planta;
ALT	Altura da planta	- Distância compreendida desde a extremidade do cladódio mais alto até o solo;
AC	Área dos cladódios	- $AC (cm^2) = CC \times LC \times 0,693$, em que: CC, comprimento do cladódio e LC, largura do cladódio em (cm) e 0,693 é fator de correção em função da forma de elipse do cladódio (PINTO et al., 2002);
ATC	Área total dos cladódios	- Área dos cladódios multiplicada pelo número de cladódios na planta (cm^2);
IAC	Índice de área dos cladódios	- Corresponde à área total dos cladódios da planta, considerando-se os dois lados e dividindo pela área ocupada pela planta no solo (m^2 de área de cladódio m^2 de solo).

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Foram realizados os levantamentos em quatro plantas ao acaso por repetição = 4 plantas x 3 repetições = 12 plantas por palmal estudado.

Os dados de rendimento dos palmais foram obtidos com base na colheita dos cladódios de todas as plantas das repetições, realizada entre agosto e setembro de 2017. Cada uma das três repetições, nas 20 propriedades, apresentava uma área útil média de 14 m^2 e quantidade média de 16 plantas.

Os cladódios foram cortados na articulação com a planta. Todos os cladódios colhidos tiveram sua massa determinada em campo para as respectivas parcelas e produtores e, posteriormente, foram estimadas as produtividades. As variáveis analisadas na determinação do rendimento dos palmais foram: PANUAL - produtividade anual de cada palmal nas

diferentes propriedades; PPL - produção por planta em cada ciclo anual; PMV - produtividade de massa verde; e PMS - produtividade de matéria seca, calculada em função do teor de MS do tratamento multiplicado pela PMV.



Figura 6. Levantamento de dados estruturais das plantas nos sistemas tradicionais de produção de palma forrageira. Fonte: Elaboração do autor.

2.7. Atributos físicos e químicos dos solos dos sistemas de produção

Os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxada, de três amostras simples (camada de 0-20 cm de profundidade), que após serem misturadas, formaram uma amostra composta por repetição (talhão). Nesse caso, em cada sistema de produção de palma forrageira foram obtidas três amostras compostas que, ao considerar as 20 propriedades, gerou o total de 60 amostras compostas.

Na caracterização física e química dos solos, foram determinadas as seguintes variáveis nas amostras: AG = areia grossa; AF = areia fina; SIL = silte; ARG = argila; ADA = argila dispersa em água; $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ = pH em água (relação 1:2.5); pH_{KCl} = pH em KCl (relação 1:2.5); P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; P, K e Na - extrator Mehlich-1; Ca^{2+} = cálcio; Mg^{2+} = magnésio; Al^{3+} = alumínio (acidez trocável); Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} - extrator KCl – 1 mol L⁻¹; H+Al = hidrogênio mais alumínio – extrator acetato de cálcio 0.5 mol L⁻¹ – pH 7.0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7.0; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MOS = matéria orgânica do solo - MOS = Carbono orgânico x 1.724 – Walkley-Black; P-Rem = fósforo remanescente, concentração de P na solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1/10; S = enxofre – extrator fosfato monocálcico em ácido acético; B = boro (extrator água quente); Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; Cu, Mn, Fe e Zn - extrator Mehlich-1.



Figura 7. Coleta de amostras para caracterização dos atributos físicos e químicos dos solos em cada sistema tradicional de produção de palma forrageira.
Foto: Laudiceio Viana Matos.

2.8. Análises estatísticas

Utilizou-se o delineamento em modelo hierárquico. A condição hierárquica do delineamento considera a dependência dos dados de cada sistema de produção dentro dos seus respectivos agroecossistemas (RIBEIRO JÚNIOR; MELO, 2008). As características estruturais, composição mineral e bromatológica das plantas e o rendimento dos palmas foram relacionadas aos atributos físicos e químicos dos solos dos sistemas de produção de palma forrageira dentro de cada agroecossistema (Figura 8).

O modelo hierárquico estimou os componentes de variância e investigou a composição da variância total, ou seja, determinou quanto da explicação da variação está contida nos diferentes fatores dos níveis hierárquicos (agroecossistemas, sistema de produção e a planta) (DIAS; BARROS, 2009).

Quando as variâncias foram significativas, aplicou-se o teste Tukey ($p \leq 0,05$) para comparar as médias das variáveis avaliadas, com a ocorrência, de pelo menos, uma diferença entre agroecossistemas e entre os sistemas de produção dentro de cada agroecossistema.

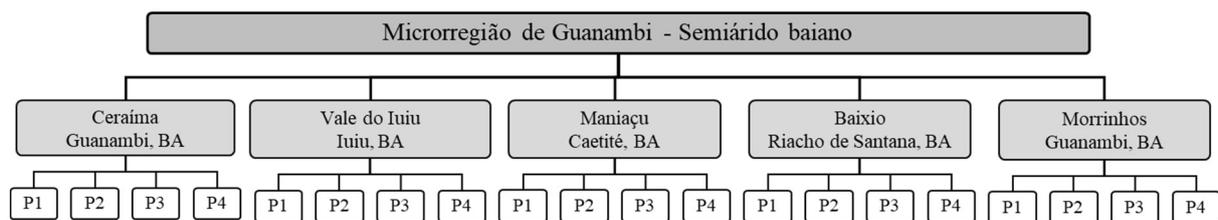


Figura 8. Esquema do experimento em delineamento hierárquico.
Fonte: Elaboração do autor.

3. Resultados e discussão

3.1. Características dos solos nos sistemas de produção e agroecossistemas

Os solos de Ceraíma e Iuiu apresentaram o pH mais elevado, variando de 5,78 a 6,25 no pH em H₂O e de 5,12 a 5,68 no pH em KCl 1 mol L⁻¹, favorecendo melhor disponibilização de nutrientes para as plantas (Tabela 3). A classificação agrônômica para acidez dos solos de Ceraíma é considerada boa e de Iuiu é alta CFSEMG (1999).

Tabela 3. Atributos físicos e pH dos solos de 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema		AG	AF	SIL	ARG	ADA	pH _{H2O}	pH _{KCl}
		----- (g kg ⁻¹) -----					-----	
----- Agroecossistema -----								
Ceraíma		280ab	390	170	160	30	5,78a	5,12a
Iuiu		60b	80	500	360	110	6,25a	5,68a
Maniaçu		530a	220	30	220	40	4,38b	3,83b
Riacho de Santana		610a	220	80	90	10	4,50b	3,88b
Morrinhos		330ab	150	180	340	80	4,84b	4,11b
Média		360	210	190	230	60	5,15	4,52
DP		30	20	20	20	10	0,22	0,21
CV (%)		9,36	9,70	7,88	9,60	23,23	4,30	4,64
Agroecossistema	P	----- Sistemas de produção (produtor / agroecossistema) -----						
	1	270	430	170	120	20	5,73	5,32
Ceraíma	2	360	390	110	140	30	5,76	4,95
	3	220	340	240	200	50	6,09	5,47
	4	250	390	170	180	20	5,55	4,73
	5	30	30	370	570	190	6,36	5,48ab
Iuiu	6	40	100	610	250	60	6,30	5,91ab
	7	90	120	490	300	80	5,48	4,85b
	8	70	60	550	310	110	6,88	6,46a
Maniaçu	9	450	260	40	250	50	4,72	3,93
	10	570	200	40	190	40	4,15	3,67
	11	610	200	10	180	20	4,30	3,82
	12	490	220	40	260	40	4,33	3,89
Riacho de Santana	13	580	220	50	150	20	4,34	3,88
	14	700	200	40	60	10	4,58	3,92
Morrinhos	15	510	280	140	70	10	4,63	3,89
	16	650	180	80	90	20	4,46	3,83
	17	260	150	220	380	100	4,93	4,13
	18	340	170	170	320	70	5,01	4,22
	19	390	160	160	290	60	4,85	4,10
	20	330	130	160	380	100	4,57	3,99

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmais; Camada = 0-0,20 m; agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; AG = areia grossa; AF = areia fina; SIL = silte; ARG = argila; ADA = argila dispersa em água; pH_{H2O} = pH em água (relação 1:2,5); pH_{KCl} = pH em KCl (relação 1:2,5). Médias seguidas de mesma letra na coluna de cada ambiente, não

diferem entre si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou significância para o referido ambiente ($p \leq 0,05$).

Nos demais agroecossistemas, o pH em H₂O foi considerado baixo a muito baixo (CFSEMG, 1999) (Tabela 3). Com base em experimentos desenvolvidos no semiárido da microrregião de Guanambi, Donato et al. (2017c) indicam que o pH do solo suficiente para a palma forrageira ‘Gigante’ é de 5,6 a 6,3.

O entendimento equivocado de que a palma forrageira é resistente às limitações ambientais e que pode ser cultivada em terras com restrições de aptidão agrícola tem contribuído para o baixo rendimento da cultura no semiárido brasileiro. Essa situação é comprovada diante da baixa produtividade dos palmais implantados em áreas marginais, com solos compactados e pedregosos, com limitações na disponibilidade de nutrientes, salinidade e conduzidos sem as práticas agronômicas necessárias ao melhor desempenho da cultura (SILVA et al., 2016a; DONATO et al., 2017a; DONATO et al., 2017d).

A palma forrageira apresenta respostas às especificidades dos ambientes e formas de manejo, ao considerá-las, tem-se a otimização dos rendimentos e qualidade da forragem, além da possibilidade de maior sustentabilidade ambiental e do cultivo (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2009; SILVA et al., 2012; DONATO et al., 2014b; BARROS et al., 2016).

Os teores de fósforo (P) foram superiores nas regiões de Ceraíma e Iuiu, com, respectivamente, 54,33 e 41,35 mg dm⁻³, considerado muito bom em ambas regiões (Tabela 4) (CFSEMG, 1999; NOVAIS; SMITH, 1999). Iuiu se beneficia da influência da geologia nas características dos solos, apresentando maior aporte de nutrientes. Ceraíma, por se tratar de uma região de perímetro irrigado, tem histórico de aplicação de adubos em suas áreas. Também há, no perímetro, Neossolos Flúvicos eutróficos formados por adição decorrente das enchentes do rio Carnaíba de Dentro.

Tabela 4. Teores de macronutrientes, sódio, acidez trocável e acidez potencial dos solos de 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema		P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		----- (mg dm ⁻³) -----			----- (cmol _c dm ⁻³) -----			
----- Agroecossistema -----								
Ceraíma		54,33a	175,92ab	28,05b	3,36b	1,40b	0,00	2,42c
Iuiu		41,35ab	261,33a	47,00a	10,66a	2,18a	0,00	2,20c
Maniaçu		11,59c	56,17bc	3,94c	0,83c	0,35cd	0,45	3,44b
Riacho de Santana		3,04c	37,83c	0,00c	0,78c	0,13d	0,40	2,33c
Morrinhos		24,15bc	140,83abc	1,54c	3,04b	0,91bc	0,18	4,57a
Média		26,89	134,42	16,11	3,74	0,99	0,21	2,99
DP		24,96	106,53	12,59	1,00	0,20	0,10	0,46
CV (%)		92,82	79,25	78,17	26,67	20,36	46,77	15,30
Agroecossistema	Pr	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
	1	47,30ab	74,67b	35,50b	3,42	1,42ab	0,00	1,90b
Ceraíma	2	96,83a	103,33b	0,97c	2,40	0,84b	0,00	2,30ab
	3	43,93ab	411,00a	74,77a	3,82	2,41a	0,00	2,20b
	4	29,27b	114,67b	0,97c	3,81	0,92b	0,00	3,27a
	5	21,00b	172,00b	6,97c	17,81a	1,95	0,00	3,03a
Iuiu	6	26,13b	196,67b	60,13ab	7,48b	1,92	0,00	1,67b
	7	6,67b	112,00b	81,40a	7,79b	2,19	0,00	3,33a
	8	111,60a	564,67a	39,50b	9,57b	2,68	0,00	0,77b
	9	4,80	70,00	13,47	0,73	0,36	0,43	3,10b
Maniaçu	10	11,77	28,00	0,10	0,62	0,27	0,49	2,83b
	11	9,83	28,00	0,00	0,55	0,14	0,56	3,57ab
	12	19,97	98,67	2,20	1,42	0,60	0,31	4,27a
	13	2,30	26,67	0,00	0,89	0,11	0,52	2,77a
Riacho de	14	3,03	42,00	0,00	0,61	0,15	0,31	1,73b
Santana	15	1,63	54,00	0,00	0,85	0,14	0,40	2,47ab
	16	5,20	28,67	0,00	0,77	0,13	0,37	2,37ab
	17	5,07	118,67	6,07	3,18	1,08	0,18	5,17a
Morrinhos	18	54,77	190,67	0,00	3,82	0,77	0,09	4,83a
	19	22,60	125,33	0,00	2,67	0,90	0,21	3,80b
	20	14,17	128,67	0,10	2,50	0,89	0,25	4,47ab

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmais; Camada = 0-0.20 m; Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; Produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; Pr = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; P, K e Na - extrator Mehlich-1; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio (acidez trocável); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl - 1mol L⁻¹; H+Al = hidrogênio mais alumínio (acidez total ou potencial) - extrator acetato de cálcio 0.5 mol L⁻¹ - pH 7.0. Médias seguidas de mesma letra na coluna de cada ambiente não diferem entre si, pelo teste Tukey (p≤0,05). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou significância para o referido ambiente (p≤0,05).

Os agroecossistemas com solos mais arenosos, como Riacho de Santana e Maniaçu (Tabela 3 e Figura 9), apresentaram os menores teores de nutrientes nos solos (Tabela 4). Esses ambientes favorecem a maior reflectância da radiação do solo para a planta, principalmente em regiões com plantios realizados em espaçamentos mais largos, caso de Riacho de Santana, com até 2,5x1,50 m (Tabela 1). Essa situação contribui para maior ocorrência de estresse hídrico, térmico e por radiação, levando a palma forrageira à murcha no período seco. A produtividade da palma forrageira depende da disponibilidade de nutrientes e de sua capacidade de extração do solo, de modo que o sistema de produção adotado pode favorecer essas condições para o alcance do máximo potencial da cultura (GALIZZI et al., 2004).



Figura 9. Solos dos agroecossistemas do Baixio, Riacho de Santana-BA.
Fotos: Laudiceio Viana Matos.

Iuiu, Ceraíma e Morrinhos apresentaram os maiores teores de potássio (K), variando de 140,83 a 261,33 mg dm⁻³ (Tabela 4), enquadrados nas classes média a muito alta (DONATO et al., 2017c). Por serem os nutrientes mais extraídos pela palma forrageira, o K seguido do Ca demandam acompanhamento adequado de seus teores nos solos e nas plantas, de modo que esses nutrientes possam ser restituídos aos solos e disponibilizados adequadamente às plantas (SILVA et al., 2016b; DONATO et al., 2017d). Essa preocupação assume maior importância em solos com baixa capacidade tampão para esses nutrientes, como os de Riacho de Santana e Maniaçu.

Os solos de Iuiu apresentaram os maiores teores médios de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) em razão de sua origem calcária, diferentemente de Riacho de Santana e Morrinhos que tiveram os menores teores desses nutrientes (Tabela 4). Os teores de Mg²⁺ foram muito baixos para Riacho de Santana (0,13 cmol_c dm⁻³) e Maniaçu (0,35 cmol_c dm⁻³), médios para Ceraíma (1,4 cmol_c dm⁻³) e muito altos para Iuiu (2,18 cmol_c dm⁻³) (Tabela 4) (DONATO et al., 2017d).

Os teores médios de Ca^{2+} em Maniaçu e Riacho de Santana foram considerados muito baixos, altos em Ceraíma e Morrinhos, e muito altos em Iuiu (DONATO et al., 2017c). Na metodologia do CFSEMG (1999), a classificação boa dos teores de Ca^{2+} ocorre na faixa de 2,41 a 4,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Essas faixas evidenciam a alta exigência da palma em Ca^{2+} e Mg^{2+} e sua elevada demanda em extrair esses elementos do solo (SILVA et al., 2016a; DONATO et al., 2017c).

A maior média nos teores de sódio (Na) foi encontrada em Iuiu (47,00 mg dm^{-3}), seguida de Ceraíma (28,05 mg dm^{-3}), de modo que essas são as únicas regiões que os produtores realizam a irrigação com águas derivadas de poços tubulares com elevados teores de Na, fato que explica a salinização dos solos por meio dessa prática (Tabela 4). Nas demais regiões, os teores de sódio variaram de 0,00 a 3,94 mg dm^{-3} (Tabela 4).

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) é sensível à salinidade do solo, assim como a maioria dos cactos. A inibição do crescimento costuma apresentar efeito linear com o aumento no teor de sódio. Níveis de 150 mg dm^{-3} de sódio pode acarretar 50% de inibição do acúmulo de biomassa na planta (NOBEL, 2001).

Iuiu apresentou os solos com melhor potencial de fertilidade natural, diante dos maiores teores de soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e de índice de saturação de bases (V) (Tabela 5). Em ordem decrescente de fertilidade natural, após a região de Iuiu, segue o patamar formado por Ceraíma e Morrinhos. E, por fim, com menor fertilidade, Riacho de Santana e Maniaçu aparecem juntas, e ainda, com os maiores índices de saturação por alumínio (m) (Tabela 5).

Tabela 5. Complexo sortivo, índices de saturação por bases, por alumínio e por sódio, e matéria orgânica dos solos em 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ distribuídos em 05 agroecossistemas contrastantes do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema		SB	t	T	V	m	ISNa	MOS
		----- (cmol _c dm ⁻³) -----			----- (%) -----			(dag kg ⁻¹)
----- Agroecossistema -----								
Ceraíma		5,33b	5,33b	7,75b	67,89b	0,00b	1,40a	1,62bc
Iuiu		13,72a	13,72a	15,92a	85,80a	0,00b	1,50a	2,85a
Maniaçu		1,34c	1,79c	4,78c	27,09d	28,95a	0,38b	1,43bc
Riacho de Santana		1,01c	1,41c	3,34d	30,02d	29,39a	0,00b	0,72c
Morrinhos		4,32b	4,50b	8,89b	48,53c	4,38b	0,06b	2,00ab
Média		5,14	5,35	8,14	51,87	12,54	0,67	1,720
DP		1,09	1,08	1,01	5,55	8,49	0,49	0,28
CV (%)		21,24	20,13	12,36	10,71	67,70	73,71	16,32
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
	1	5,19b	5,19b	7,09bc	73,06a	0,00	2,13b	1,59
Ceraíma	2	3,51b	3,51b	5,81c	60,16b	0,00	0,08c	1,24
	3	7,60a	7,60a	9,80a	77,63a	0,00	3,32a	1,51
	4	5,03b	5,03b	8,30ab	60,70b	0,00	0,06c	2,13
	5	20,23a	20,23a	23,26a	86,46ab	0,00	0,13c	4,30a
Iuiu	6	10,17c	10,17c	11,83c	85,76ab	0,00	2,20ab	3,02ab
	7	10,62c	10,62c	13,95bc	76,16b	0,00	2,52a	2,44ab
	8	13,87b	13,87b	14,63b	94,80a	0,00	1,14bc	1,64b
Maniaçu	9	1,33	1,76	4,43ab	30,03a	24,93bc	1,32a	1,33
	10	0,97	1,46	3,80b	25,60ab	34,20ab	0,01b	1,11
	11	0,77	1,33	4,34b	17,43b	45,03a	0,00b	1,46
	12	2,29	2,60	6,56a	35,30a	11,63c	0,16b	1,82
	13	1,06	1,58	3,83	27,73	33,43	0,00	0,80
Riacho de Santana	14	0,87	1,17	2,60	32,20	29,06	0,00	0,44
	15	1,13	1,53	3,60	31,16	26,90	0,00	0,93
Morrinhos	16	0,98	1,35	3,34	28,96	28,16	0,00	0,71
	17	4,59	4,77	9,75ab	46,76	4,13	0,25	2,53
	18	5,08	5,17	9,91a	51,30	1,86	0,00	2,18
	19	3,90	4,11	7,70b	50,63	5,30	0,00	1,42
	20	3,72	3,96	8,18ab	45,43	6,20	0,01	1,86

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmais; Camada = 0-0.20 m; agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MOS = matéria orgânica do solo - MOS = Carbono orgânico x 1.724 - Walkley-Black. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey (p≤0,05). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou significância (p≤0,05).

Os valores de saturação por bases (V) em Morrinhos (48,53%), Riacho de Santana (30,02%) e Maniaçu (27,09) foram considerados muito baixos segundo critérios de Donato et al. (2017c). Com base na CFSEMG (1999), a saturação por bases foi baixa em Maniaçu e Riacho de Santana, média em Morrinhos, boa em Ceraíma (67,89%) e muito boa em Iuiu (85,80%) (Tabela 5). A classe de saturação por bases no solo considerada média foi 61,1% a 78,5% (DONATO et al., 2017d).

Os solos com maiores teores de argilas, como ocorre em Iuiu e Morrinhos, apresentaram os maiores conteúdos de matéria orgânica do solo (MOS), com, respectivamente, 2,85 e 2,00 dag kg⁻¹ (Tabela 5). Com esses níveis, os solos dessas regiões se enquadram na classificação média, já, em Morrinhos, é considerada boa, Iuiu se enquadra em muito boa e Riacho de Santana com 0,72 dag kg⁻¹ é baixa (Tabela 5) (CFSEMG, 1999).

A aplicação de esterco ao solo contribui para a redução da indisponibilização de fósforo às plantas, favorece o incremento nos teores de enxofre e nitrogênio disponível (NOVAIS et al., 2007) e aumenta a eficiência nutricional desses nutrientes (LÉDO et al., 2020); além de proporcionar melhorias nas características físicas dos solos e favorecer a disponibilização de nutrientes às plantas (DONATO et al., 2017c).

Com relação aos micronutrientes, Iuiu apresentou os maiores teores de enxofre (S) e manganês (Mn), com 8,13 e 101,82 mg dm⁻³, por influência do material de origem nesse agroecossistema (Tabela 6) (BRASIL, 1982). O Mn é o micronutriente mais extraído/exportado pela palma forrageira na matéria seca, variando de 638,1 a 1.968,23 g Mg⁻¹ (DONATO, 2011; SILVA et al., 2016; DONATO et al., 2017c).

Os teores de cobre (Cu) foram mais elevados em Morrinhos e Iuiu, 1,47 e 1,11 mg dm⁻³, com boa e média disponibilidade, respectivamente (Tabela 6) (CFSEMG, 1999). Os maiores teores de ferro (Fe) ocorreram em Ceraíma (72,46 mg dm⁻³), considerado alto, e os menores em Morrinhos (25,06 mg dm⁻³), classificado como médio (CFSEMG, 1999) (Tabela 6).

Os maiores teores de zinco (Zn) ocorreram em Morrinhos (4,71 mg dm⁻³) e Iuiu (3,85 mg dm⁻³), ambos considerados altos (Tabela 6) (CFSEMG, 1999). De acordo com Donato (2011), o Zn é o terceiro micronutriente mais extraído/exportado na matéria seca, 58,3 g Mg⁻¹, porém, é apontado por Silva et al. (2016) como o segundo, 65,1 g Mg⁻¹ (Tabela 6). A deficiência de Zn prejudica o crescimento da planta (MARSCHNER, 2012).

Tabela 6. Teores de fósforo remanescente, enxofre e micronutrientes em solos de 20 sistemas tradicionais de produção de palma forrageira ‘Gigante’ em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	P-Rem	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	
	(mg L ⁻¹)	----- (mg dm ⁻³) -----						
----- Agroecossistema -----								
Ceraíma	49,96a	2,63ab	0,47ab	0,71bc	63,17b	72,46a	2,52bc	
Iuiu	39,34c	8,13a	0,62ab	1,11ab	101,82a	42,41b	3,85ab	
Maniaçu	47,00b	2,01b	0,68a	0,83bc	19,78c	50,45b	1,66cd	
Riacho de Santana	50,02a	0,65b	0,28b	0,45c	13,13c	43,33b	0,71d	
Morrinhos	35,67d	1,93b	0,81a	1,47a	77,09b	25,06c	4,71a	
Média	44,40	3,07	0,57	0,91	55,00	46,74	2,69	
DP	2,42	4,77	0,10	0,17	14,22	14,24	1,23	
CV (%)	5,45	155,30	18,34	18,71	25,85	30,47	45,81	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
	1	51,17	3,97	0,39	0,94	51,47b	83,57b	3,47
Ceraíma	2	52,63	1,63	0,40	0,60	59,83b	21,50c	3,41
	3	48,33	1,30	0,55	0,71	48,80b	62,40b	1,28
	4	47,70	3,63	0,54	0,58	92,57a	122,37a	1,90
	5	29,60b	0,00b	0,61	1,26	136,93a	21,27b	4,13ab
Iuiu	6	45,47a	4,13b	0,55	1,12	90,30b	43,70ab	2,98b
	7	40,80a	26,57a	0,61	0,84	76,57b	55,27a	2,51b
	8	41,50a	1,80b	0,69	1,22	103,47b	49,40ab	5,77a
	9	45,00	0,00	0,63	0,68	20,67	39,17b	1,36
Maniaçu	10	49,93	2,60	0,69	1,27	15,50	48,27ab	1,77
	11	48,03	0,00	0,63	0,65	8,47	73,63a	1,04
	12	45,03	5,43	0,78	0,73	34,50	40,73b	2,47
	13	46,50b	1,30	0,37	0,41	8,97	18,57b	0,35
Riacho de	14	54,70a	1,30	0,15	0,49	20,83	46,43ab	0,87
Santana	15	49,30b	0,00	0,23	0,46	13,47	77,53a	1,04
	16	49,57ab	0,00	0,35	0,45	9,27	30,80b	0,57
	17	32,73	5,10	0,79	0,96	82,77ab	24,20	2,74b
Morrinhos	18	36,40	0,00	0,91	1,89	82,77ab	28,13	8,37a
	19	37,33	2,60	0,81	2,06	54,80b	32,63	4,24b
	20	36,20	0,00	0,74	0,96	88,03a	15,27	3,50b

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Coleta = os solos foram amostrados a partir da coleta, com enxadão, de três amostras simples na área útil de cada repetição dos palmais; Camada = 0-0.20 m; agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; P-Rem = fósforo remanescente, concentração de P na solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1/10; S = enxofre - extrator fosfato monocálcico em ácido acético; B = boro (extrator água quente); Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; Cu, Mn, Fe e Zn – extrator Mehlich-1. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey (p≤0,05). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou significância (p≤0,05).

Os maiores teores de boro (B) foram encontrados nos solos de Morrinhos ($0,81 \text{ mg dm}^{-3}$), Maniaçu ($0,68 \text{ mg dm}^{-3}$), Iuiu ($0,62 \text{ mg dm}^{-3}$) e Ceraíma ($0,47 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 6). A classe que considera o teor médio de boro varia de $0,36$ a $0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ (CFSEMG, 1999). O boro é considerado o penúltimo micronutriente em ordem de extração/exportação pela palma forrageira na matéria seca, conforme Donato (2011), com $29,8 \text{ g Mg}^{-1}$, e $22,8 \text{ g Mg}^{-1}$ detectado por Silva et al. (2016).

3.2. Características estruturais das plantas nos sistemas de produção da palma forrageira

As plantas apresentaram, em média, altura de $1,03 \text{ m}$ e espessura de cladódio de $1,50 \text{ cm}$. A altura das plantas (ALT) e a espessura dos cladódios (ECL) foram semelhantes entre os palmais estabelecidos nos diferentes agroecossistemas e entre os seus respectivos sistemas de produção. Portanto, o sistema de manejo e as condições ambientais locais não afetaram, significativamente, essas características (Tabelas 7).

Tabela 7. Características estruturais da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em 20 sistemas de produção tradicionais distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	NCL	LCL	CCL	APL	AC	ATC	IAC	
	(un)	----- (cm) -----		(m ²)	----- (cm ²) -----		(m ² m ⁻²)	
----- Agroecossistema (ambiente) -----								
Ceraíma	24,00ab	15,74b	32,15a	0,58c	351,64a	1,71a	3,11a	
Iuiu	18,00c	14,70bc	27,62bc	0,33c	281,90b	1,01bc	3,92a	
Maniaçu	19,00bc	17,10a	31,72a	1,08b	377,30a	1,39ab	1,24b	
Riacho de Santana	18,00c	13,33d	26,34c	2,00a	244,43b	0,86c	0,50b	
Morrinhos	28,00a	13,60cd	29,00b	1,85a	276,44b	1,52a	1,13b	
Média	21,00	14,90	29,36	1,17	306,34	1,30	1,98	
DP	4,94	1,07	1,91	0,39	40,26	0,33	0,81	
CV (%)	23,12	7,19	6,49	33,40	13,14	25,57	40,63	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
	1	30a	16,20	33,44	0,64	375,45	2,26a	3,53ab
Ceraíma	2	26ab	15,54	31,73	0,63	343,25	1,72ab	2,83ab
	3	23ab	16,37	31,39	0,43	356,93	1,66ab	4,09a
	4	18b	14,85	32,03	0,61	330,92	1,18b	2,00b
	5	30a	13,70	28,61	0,77	271,51	1,63a	2,30b
Iuiu	6	4c	15,94	27,47	0,20	304,25	0,21b	1,10b
	7	18b	14,53	27,44	0,19	276,57	0,96a	5,26a
	8	22ab	14,61	26,94	0,18	275,25	1,23a	7,02a
	9	10b	16,66ab	29,27b	0,83	338,04b	0,66b	0,84
Maniaçu	10	26a	16,83ab	31,74ab	1,37	372,13ab	1,92a	1,41
	11	28a	16,00b	31,74ab	1,20	352,16b	1,99a	1,68
	12	11b	18,89a	34,14a	0,93	446,85a	0,97b	1,05
	13	28a	12,92ab	26,73ab	3,76a	239,56	1,32a	0,34
Riacho de Santana	14	11b	12,60b	23,92b	0,89c	208,90	0,46b	0,53
	15	13b	14,97a	28,57a	1,58bc	296,77	0,80ab	0,52
	16	18ab	12,83ab	26,13ab	1,76b	232,46	0,82ab	0,61
	17	27	14,11a	29,87ab	2,47a	292,69ab	1,53	0,69
Morrinhos	18	28	11,56b	26,87b	0,53b	215,69b	1,17	2,25
	19	24	15,41a	31,40a	2,09a	339,57a	1,69	0,86
	20	32	13,33ab	27,86ab	2,32a	257,79ab	1,67	0,73

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional NCL = quantidade de cladódios por planta; LCL = largura do cladódio; CCL = comprimento do cladódio; APL = área ocupada por cada planta; AC = área dos cladódios; ATC = área total dos cladódios; IAC = índice de área dos cladódios. Com exceção dos produtores 8, 10, 13, 14 e 15 que colheram os cladódios com dois anos, os demais o fizeram com o intervalo de apenas um ano após a última colheita. Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada ambiente, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05). A ausência de letras na coluna da variável indica diferenças não significativas.

Os agroecossistemas de Morrinhos e Ceraíma se destacaram pela produção de maior número de cladódios por planta, entre 24 e 28 (Tabela 7). Contudo, o aumento do número de plantas por área provoca a redução do número de cladódios por planta, mas, em contrapartida, contribui para o aumento da produtividade da palma forrageira, pois o maior número de plantas compensa a diminuição do número de cladódios por planta.

Maniaçu produziu cladódios com maior largura, e se igualou à Ceraíma, no maior comprimento também (Tabela 7). As maiores dimensões dos cladódios produzidos em Maniaçu ocorrem mesmo em condições de solos de baixa fertilidade natural, se comparado aos demais agroecossistemas (Tabela 5). Maniaçu está a uma altitude média de 936 m, corresponde ao agroecossistema em posição mais elevada entre os demais (Ceraíma 542 m, Iuiu 507 m, Riacho de Santana 482 m e Morrinhos com 843 m). Essa condição propicia a ocorrência de noites com temperaturas mais amenas, assim, atende melhor as exigências fisiológicas da cultura, favorecendo a captação de CO₂ e, conseqüentemente, o desenvolvimento da planta (SANTOS et al, 2013).

A primeira colheita de cladódios, na maioria dos cultivos de palma forrageira, é realizada com dois anos após o plantio (SILVA; SAMPAIO, 2015). Em regiões de solos com boa fertilidade natural (Tabelas 4 e 5) e com base na demanda por forragem, esse intervalo nas colheitas seguintes pode ser reduzido para um ano (DONATO et al., 2014b; DONATO et al., 2017).

Com a exceção do produtor 08 na região de Iuiu, do produtor 10 em Maniaçu e dos produtores 13, 14 e 15 de Riacho de Santana, que colheram os cladódios com dois anos, os demais a fizeram em apenas um ano após a última colheita. As colheitas com o intervalo de dois anos propiciam maior longevidade aos palmais, contudo, as condições do produtor definirão melhor esse período (FARIAS et al., 2005).

De acordo com o agroecossistema, na ocasião da colheita, os produtores mantiveram um número diferente de cladódios residuais na planta. Em Iuiu, os produtores colhem todos os cladódios, restando apenas a planta-mãe, assim como os produtores 09 e 12 de Maniaçu e o produtor 14 de Riacho de Santana. Nas demais regiões, são mantidos dois a três cladódios na planta após a colheita para promover rebrota mais vigorosa e proporcionar maior longevidade aos palmais (Figura 10). Essa prática de preservar o maior número de cladódios amplia a área fotossintética e de reserva na planta (DONATO et al., 2014a).



Figura 10. Quantidade de cladódios mantidos nas plantas após a colheita de acordo com as práticas dos produtores de cada agroecossistema.

Fotos: Laudiceio Viana matos.

Dentre os sistemas de produção estudados, um produtor de Ceraíma e mais três produtores de Iuiu irrigam os seus palmais (Tabela 1), mesmo sem acompanhamento técnico para o dimensionamento da lâmina a ser aplicada e do respectivo turno de rega (Figura 11). Apesar do uso da irrigação, a espessura dos cladódios não diferiu entre os sistemas de produção e agroecossistemas. Contudo, a aplicação de água, mesmo em quantidades mínimas, é uma opção viável para garantir produções mais satisfatórias e maior longevidade das plantas diante das condições da má distribuição de chuvas e baixa precipitação no semiárido (LIMA et al., 2015). Isso assume maior importância em anos com atraso no início da estação chuvosa, o que pode contribuir para a estabilização da produção (FONSECA et al., 2019).



Figura 11. Sistemas de produção de palma forrageira irrigada e não irrigada no agroecossistema do vale do Iuiu, Iuiu – BA.

Fotos: Laudiceio Viana Matos.

Por estarem inseridos em regiões constituídas de solos com menor capacidade de armazenamento de água e nutrientes (Tabelas 3 e 5) e os produtores não irrigarem (Tabela 1), os palmais estudados em Riacho de Santana demandaram, em média, 4.714 cladódios para completarem uma carga com uma tonelada (megagrama, Mg) (Tabela 7). Nos demais agroecossistemas, a massa de cada cladódio variou entre 466 a 642 g, superior aos 245 g dos cladódios em Riacho de Santana (Tabela 7).

O rendimento da palma forrageira é consequência da inter-relação entre três fatores que incorporam os agroecossistemas (ambientes) de cultivo, o sistema de produção adotado pelo produtor (técnicas de manejo) e das características das plantas (genótipo). A percepção de quais componentes da estrutura da planta e a porcentagem que eles são afetados pelos fatores que determinam o desempenho da cultura possibilita melhor tomada de decisão aos produtores, e, conseqüentemente, o planejamento de atividades produtivas mais sustentáveis.

Dessa forma, com base no delineamento hierárquico, constatou-se que o agroecossistema afeta o estabelecimento do comprimento dos cladódios em 53,36% e 49,90% de sua largura. Essas duas variáveis da estrutura da planta foram as mais afetadas pelos agroecossistemas.

Os sistemas de produção estabelecidos pelos produtores, com base no conjunto de técnicas e práticas aplicadas na condução do cultivo, afetaram, maiormente, a capacidade de produção de massa de cladódios por planta (62,25%), a produtividade de massa verde (60,32%), a área total de cladódios (53,17%), número de cladódios produzidos por planta (65,01%). Apesar de serem mais influenciados pelo sistema de produção, a altura de planta com 57,61% e espessura de cladódios com 69,89%, não apresentaram diferenças significativas entre os palmais estudados. A característica mais afetada pelo efeito da planta (genótipo) foi a capacidade de produção de massa por cladódio com 43,98%, as demais variaram de 3,00 a 33,79%.

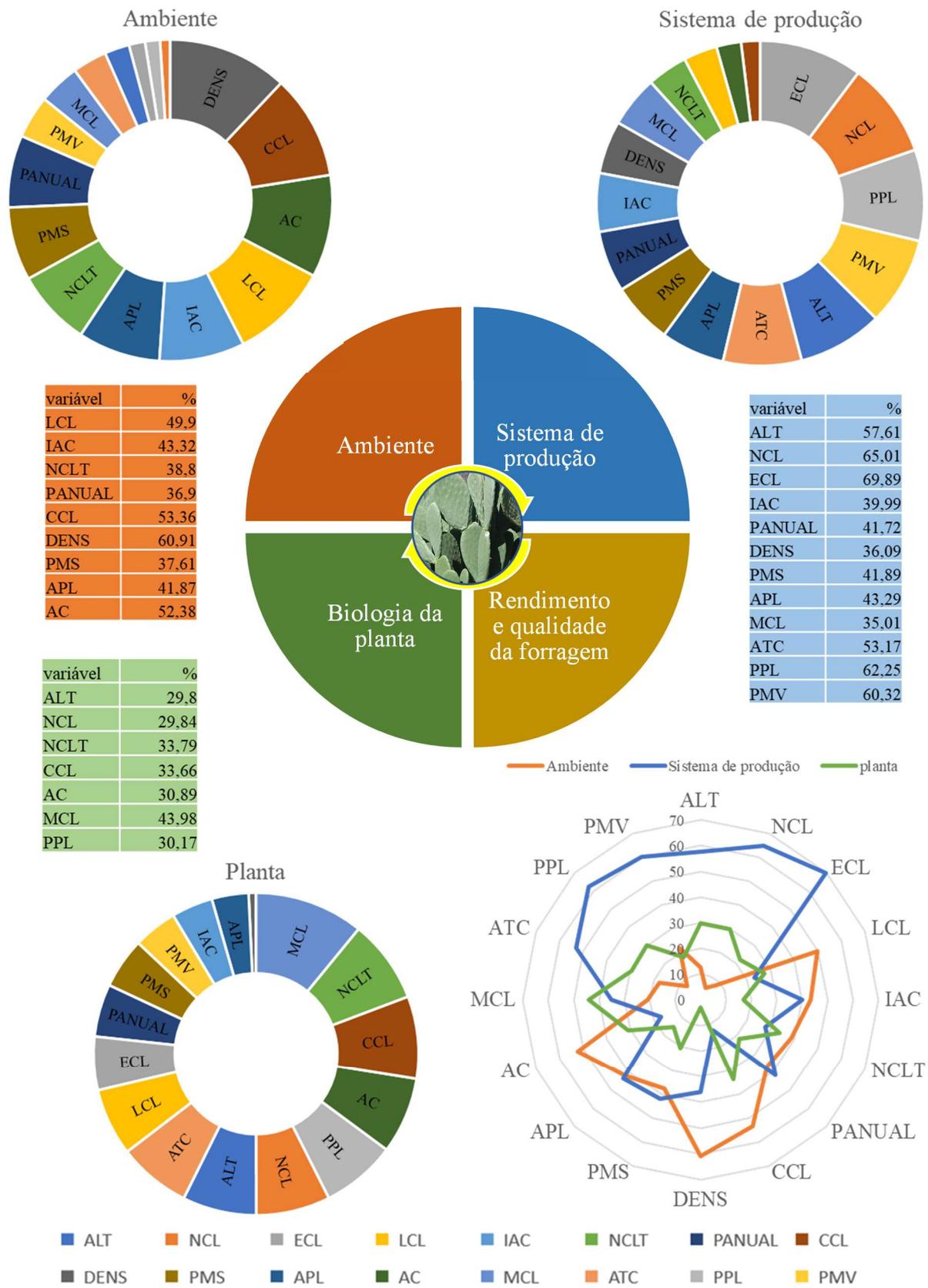


Figura 12. Composição da variância total ou quanto da explicação da variação da estrutura e rendimento das plantas estão contidos nos agroecossistemas, sistemas de produção e genótipo das plantas.
Fonte: Elaboração do autor.

Nota: ALT = altura da planta; NCL = quantidade de cladódios por planta; ECL = espessura do cladódio; LCL = largura do cladódio; CCL = comprimento do cladódio; APL = área ocupada por cada planta; AC = área dos cladódios; ATC = área total dos cladódios; IAC = índice de área dos cladódios; MCL = massa média de cada cladódio; NCLT = quantidade estimada de cladódios em uma tonelada; PANUAL = produtividade anual da palma em cada sistema de produção; PPL = produtividade anual da palma por planta; DENS = densidade, corresponde ao número de plantas por hectare; PMV = produtividade de massa verde; PMS = produtividade de massa seca.

3.3. Qualidade dos cladódios para uso na alimentação animal

A palma forrageira expressou maior valor de nitrogênio (N) em Maniaçu (13,9 g kg⁻¹) e menor em Morrinhos (9,1 g kg⁻¹), enquanto que, nos outros três agroecossistemas, os teores foram similares entre si. O teor médio de nitrogênio foi de 11,2 g kg⁻¹, superando as médias de 6,1 e 8,7 g kg⁻¹ detectadas por Cavalcante et al. (2014) e Pessoa et al. (2013), respectivamente (Tabela 8).

A média geral do teor de proteína bruta dos palmais nos agroecossistemas estudados foi de 70,2 g kg⁻¹ (Tabela 8). A palma é considerada uma forrageira com baixo teor de PB, em média, 51,0 g kg⁻¹ (WANDERLEY et al., 2012; CAVALCANTE et al., 2014), mas seus teores podem alcançar até 120 g kg⁻¹, a partir da adubação e tratos culturais que promovam a disponibilização de nutrientes, principalmente o nitrogênio (SILVA et al., 2013; DONATO et al., 2014).

O maior teor de proteína bruta (PB) foi registrado em Maniaçu (87,1 g kg⁻¹) e o menor em Morrinhos (59,3 g kg⁻¹) (Tabela 8). A aplicação do esterco bovino nas áreas de cultivo (DONATO et al., 2014) e de sulfato de amônio (SILVA et al., 2013) contribuiu para a expressão desse resultado em Maniaçu, mesmo com a baixa fertilidade natural de seus solos. Em Morrinhos, apenas 50% dos produtores utilizaram esterco, com média de 15,75 Mg ha⁻¹, enquanto, em Maniaçu e Iuiu, 100% dos produtores aplicaram com média de 33,75 t ha⁻¹ e 16,75 Mg ha⁻¹, respectivamente. Em Riacho de Santana, com média de 39,00 Mg ha⁻¹ e Ceraíma com 44,00 Mg ha⁻¹, 75% dos produtores usaram esterco (Tabela 1).

A aplicação de esterco em doses crescentes (0, 30, 60 e 90 Mg ha⁻¹) elevou os teores de nitrogênio total e de proteína bruta da palma forrageira ‘Gigante’ (DONATO et al., 2014; BARROS et al., 2016). A aplicação de esterco contribui para o aumento nos teores de fósforo no solo, além do nitrogênio aumenta a eficiência nutricional desses nutrientes e a produtividade de matéria seca (LÉDO et al., 2020). Quando esses nutrientes são aplicados conjuntamente, ocorre interação entre ambos que favorece a absorção pelas plantas, tornando a aplicação mais eficiente (SILVA et al., 2013).

Tabela 8. Características bromatológicas dos cladódios da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em 20 sistemas tradicionais de produção em cinco agroecossistemas do semiárido baiano – microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	MS	MO	MM	N	PB	FDN	FDA	EE	
----- g kg ⁻¹ -----									
----- Agroecossistema (ambiente) -----									
Ceraíma	105,4 b	828,0 c	172,1 b	10,8 b	67,4 bc	185,0 b	139,0 ab	36,3	
Iuiu	92,6 b	772,4 d	227,6 a	10,9 b	68,0 bc	184,7 b	116,2 c	34,0	
Maniaçu	93,4 b	894,4 a	105,7 d	13,9 a	87,1 a	221,2 a	151,1 a	37,1	
Riacho de Santana	161,9 a	893,0 a	107,0 d	11,1 b	69,4 b	170,3 b	108,8 c	39,5	
Morrinhos	97,4 b	874,4 b	125,6 c	9,5 c	59,3 c	199,2 ab	123,6 bc	35,4	
Média	110,1	852,4	147,6	11,2	70,2	192,1	127,8	36,5	
DP	20,1	13,5	13,5	1,3	8,0	25,2	18,0	5,8	
CV (%)	18,23	1,59	9,18	11,46	11,46	13,12	14,05	15,96	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----							
	1	61,8 b	823,6 ab	176,4 ab	10,8	67,4 ab	208,3	155,8	36,8
Ceraíma	2	134,5 a	837,4 a	162,6 b	9,9	61,6 b	180,9	130,6	40,9
	3	84,3 b	803,5 b	196,5 a	13,2	82,3 a	179,7	136,6	30,4
	4	141,1 a	847,2 b	152,8 b	9,3	58,1 b	171,0	133,0	37,3
	5	192,8 a	762,5 b	237,5 a	10,3	64,6	231,7 a	128,6	36,0
Iuiu	6	55,0 b	764,7 b	235,3 a	9,5	59,5	178,2 ab	107,8	27,0
	7	65,7 b	762,1 b	237,9 a	12,0	75,0	159,9 b	108,5	35,3
	8	56,7 b	800,3 a	199,7 b	11,6	72,7	169,0 b	120,1	38,0
	9	105,8 ab	897,2	102,8	11,2	70,0 c	165,3 b	121,5 b	38,4
Maniaçu	10	63,3 b	878,8	121,2	12,5	78,0 bc	265,4 a	184,1 a	38,2
	11	112,6 a	907,8	92,2	14,4	89,9 b	219,8 ab	146,7 ab	33,3
	12	91,7 ab	893,6	106,4	17,7	110,7 a	234,3 a	152,2 ab	38,5
	13	130,8 b	884,6	115,4	12,5	78,4 a	158,7	97,5	41,6
Riacho de Santana	14	166,3 ab	894,6	105,4	12,5	77,9 a	202,1	117,9	35,4
	15	174,4 ab	895,5	104,5	8,3	52,0 b	164,8	112,5	38,6
	16	176,0 a	897,1	102,9	11,1	69,3 ab	155,8	107,4	42,5
	17	140,6 a	903,1 a	96,9 b	9,9	62,0 a	174,1	114,7	32,9
Morrinhos	18	109,1 ab	872,0 b	128,0 a	7,0	44,0 b	183,7	119,0	35,9
	19	69,1 b	861,0 b	139,0 a	11,1	69,5 a	221,0	141,9	40,6
	20	70,8 b	861,6 b	138,4 a	9,8	61,6 ab	217,9	118,7	32,2

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; MS = teor de matéria seca nos cladódios; MO = matéria orgânica; MM = teor de material mineral; N = teor de nitrogênio; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = teor de gordura bruta ou extrato etéreo. Com exceção dos produtores 8, 10, 13, 14 e 15 que colheram os cladódios com dois anos, os demais o fizeram com o intervalo de apenas um ano após a última colheita. Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada ambiente, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou diferenças significativas para o referido ambiente.

O teor de matéria seca (MS) foi superior nos palméis de Riacho de Santana (161,9 g kg⁻¹), nos demais agroecossistemas ficaram em segundo nível, apresentando teores semelhantes, variando de 92,6 a 105,4 g kg⁻¹ de MS (Tabela 8). Esse maior teor de matéria seca em Riacho de Santana é explicado pela menor turgidez das plantas em razão do maior déficit hídrico e menor aporte de nutrientes no solo (Tabela 4). A maior reflectância resultante da textura excessivamente arenosa (Tabela 3), com predomínio de areia grossa e do maior espaçamento de plantio utilizado, com até 2,5x1,5 m (Tabela 1), contribuem para aumentar os estresses hídrico, térmico e por radiação, com reflexo na murcha da planta.

Os palméis de Maniaçu e Riacho de Santana apresentaram os maiores teores de matéria orgânica (MO) nos cladódios, com 894,4 e 893,0 g kg⁻¹, respectivamente. Em seguida, em ordem decrescente, foram Morrinhos (874,4 g kg⁻¹), Ceraíma (828,0 g kg⁻¹) e, por último, Iuiu, com 772,4 g kg⁻¹ de matéria orgânica. A média geral dos teores de matéria orgânica foi de 852,40 g kg⁻¹ (Tabela 8).

Contudo, Iuiu apresentou os maiores teores médios de material mineral ou elementos minerais na planta (MM = 227,6 g kg⁻¹), diferentemente de Maniaçu (105,7 g kg⁻¹) e Riacho de Santana (107,0 g kg⁻¹), que apresentaram os menores teores (Tabela 8). Isso ocorre devido ao maior conteúdo de elementos minerais nos solos eutróficos de Iuiu (Tabela 5), condição que segue a mesma lógica para os agroecossistemas onde os solos são menos férteis e mais arenosos (Tabela 3), que resultou em menores teores de material mineral, conforme os casos de Riacho de Santana e Maniaçu (Tabela 8).

Mesmo diante da baixa capacidade de o solo reter água e nutrientes (Tabelas 3 e 5), Maniaçu se destacou com as melhores características de qualidade do cladódio para uso como forragem animal (Tabela 8). Maniaçu obteve as maiores médias de teores de proteína bruta (PB = 87,1 g kg⁻¹), fibra em detergente neutro (FDN = 221,2 g kg⁻¹) e foi semelhante à Ceraíma em relação à fibra em detergente ácido (FDA = 151,1 e 139,0 g kg⁻¹, respectivamente) (Tabela 8).

O incremento das doses de esterco bovino até 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ contribui para a elevação nos teores de proteína e fibra em detergente ácido (FDA) e reduz os teores de matéria seca em palma forrageira 'Gigante' (BARROS et al., 2016).

O melhor desempenho dos atributos referentes à qualidade do cladódio para uso como forragem, em Maniaçu, se deve ao fato de todos os produtores aplicarem expressivas doses de esterco bovino em seus sistemas de produção (Tabela 1) (SILVA et al., 2013; DONATO et al., 2014; BARROS et al., 2016). Adicionalmente, a maior altitude de Maniaçu (936 m) é mais condizente com a altitude do centro de origem da palma forrageira, se comparada aos demais agroecossistemas (Ceraíma 542 m, Iuiu 507 m, Riacho de Santana 482 m e Morrinhos com 843

m) (NOBEL, 2001). Essa condição propicia a ocorrência de noites com temperaturas mais amenas, e, conseqüentemente, atende melhor as exigências fisiológicas da cultura no processo de fotossíntese (SANTOS et al., 2013).

A altitude das áreas de cultivo da palma forrageira apresentou as maiores correlações significativas e positivas com os teores de MO (0,47), FDN (0,46), FDA (0,41), todas com magnitude moderada. Isso demonstra que a altitude afeta positivamente essas características relacionadas à qualidade do cladódio para uso como forragem animal.

A qualidade da palma forrageira para uso como forragem animal (composição bromatológica) é consequência da inter-relação do agroecossistema (ambiente) de cultivo com o sistema de produção adotado pelo produtor (técnicas de manejo), mais o potencial genético da planta. Assim, constatou-se, com base no delineamento hierárquico, que as variáveis mais afetadas pelo agroecossistema correspondem à matéria orgânica e ao material mineral na planta, com porcentagem de 87,58% para ambas as variáveis, por apresentarem relação inversa (Figura 13).

Os sistemas de produção adotados pelos produtores tradicionais de palma forrageira mais afetaram os níveis de matéria seca, com porcentagem de 63,21%, nitrogênio e proteína bruta com 49,17% para ambos, e 43,03% para a fibra em detergente neutro. Com esses resultados, dependendo da característica da palma forrageira que o produtor pretende melhorar, ele poderá intervir diretamente na fonte que promove o melhor desempenho.

O genótipo da planta contribuiu em 45,24% para a composição da fibra em detergente neutro nos tecidos dos cladódios. Também, verificou-se que os teores de gordura ou extrato etéreo (EE) nos cladódios não foram afetados significativamente pelos agroecossistemas (ambientes) de cultivo e pelos sistemas de produção (manejo) adotados pelos produtores (Tabela 8). Com relação ao potencial genético da planta, isso se confirma, pois em todos os sistemas de produção foi utilizada apenas a cultivar ‘Gigante’ e a composição da variação nos teores de EE está concentrada nas características genotípicas das plantas da palma forrageira (89,55%) (Figura 13). Entretanto, o uso de única cultivar e a adoção da propagação vegetativa podem gerar diferentes clones ou mesmo variação somaclonal, contribuindo assim, para esse desempenho em particular.

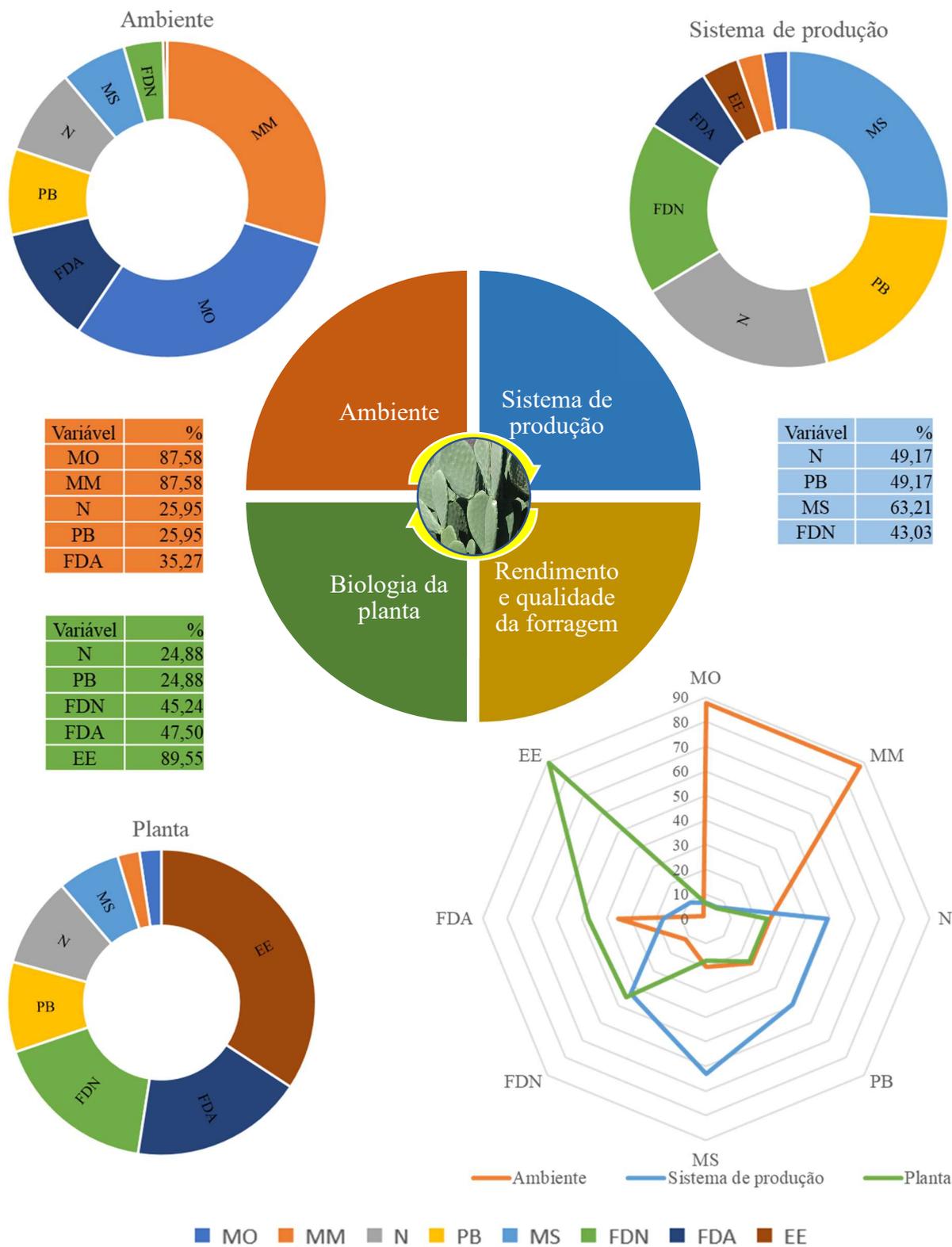


Figura 13. Composição da variância total ou quanto da explicação da variação da qualidade dos cladódios (composição bromatológica) para uso como forragem está contida nos agroecossistemas, sistemas de produção e genótipo das plantas.

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; MM = material mineral; N = nitrogênio; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = teor de gordura bruta ou extrato etéreo.

3.4. Rendimento da palma forrageira nos sistemas de produção e agroecossistemas

Comparando-se o potencial produtivo dos palmais entre os agroecossistemas, Ceraíma e Iuiu expressaram as maiores produtividades anuais, com 131,73 e 101,74 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Tabela 9). A possibilidade do uso da irrigação em alguns palmais do perímetro irrigado de Ceraíma e Iuiu (Tabela 1) foi uma prática que contribuiu para a elevação na produtividade desses palmais (FONSECA et al., 2019), quando comparados aos agroecossistemas com solos de baixa fertilidade natural e com déficit hídrico, como em Riacho de Santana (Tabelas 3 e 5).

Os palmais de Riacho de Santana expressaram as menores produtividades, com média de 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 9). A baixa produtividade por planta em Iuiu (5,54 kg) equiparou-se à de Riacho de Santana com 5,03 kg. Porém, essa menor produtividade foi compensada com o sistema de produção mais adensado em Iuiu (26.603 plantas ha⁻¹), diferentemente de Riacho de Santana e Morrinhos, com 6.657 e 6.621 plantas ha⁻¹, respectivamente (Tabela 9). Portanto, o aumento do número de plantas por área potencializou a produtividade da palma forrageira Gigante (DONATO et al., 2014a; SILVA et al., 2016).

A produtividade de massa verde (PMV) entre os agroecossistemas variou entre 24,66 a 131,74 Mg ha⁻¹, com média geral de 94,43 Mg ha⁻¹ (Tabela 9). Já a produtividade de matéria seca (PMS) foi igualmente superior para Ceraíma (11,46 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), Iuiu (9,89 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e Maniaçu (9,77 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). As menores produtividades de matéria seca entre os agroecossistemas ocorreram em Morrinhos, com 6,10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e Riacho de Santana, com 3,79 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, corroborando com o efeito da menor densidade nesses agroecossistemas (Tabela 9).

Riacho de Santana e Maniaçu correspondem aos agroecossistemas com solos de menor fertilidade natural (Tabelas 4 e 5). Contudo, mesmo apresentando solos com restrições de fertilidade e de capacidade de armazenamento de água e matéria orgânica, Maniaçu se destacou em rendimentos referentes à estrutura das plantas e melhores características bromatológicas dos cladódios para uso na alimentação animal (Tabelas 8 e 9). Esses resultados são decorrentes das práticas de manejo, principalmente, com a adoção da adubação nessas áreas, corroborando com SILVA et al. (2013), DONATO et al. (2014), BARROS et al. (2016) e LÉDO et al. (2020).

Tabela 9. Rendimento médio da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em 20 sistemas de produção tradicionais distribuídos em cinco agroecossistemas do semiárido baiano - microrregião de Guanambi-BA.

Agroecossistema	PANUAL	PPL	DENS	MCL	NCLT	PMV	PMS	
	(Mg ha ⁻¹)	(kg pl. ⁻¹)	(pl. ha ⁻¹)	(g)	(n° cl. Mg ⁻¹)	---	(Mg ha ⁻¹) ---	
----- Agroecossistema (ambiente) -----								
Ceraíma	131,74a	9,25ab	14.617b	468,88a	2.696,31b	131,74a	11,46a	
Iuiu	101,75ab	5,54b	26.603a	549,85a	2.121,87b	129,73a	9,89a	
Maniaçu	88,58b	13,85a	9.317c	642,37a	1.708,29b	117,60a	9,77a	
Riacho de Santana	15,12c	5,03b	6.657d	245,85b	4.713,96a	24,66c	3,79b	
Morrinhos	68,43b	12,09a	6.621d	466,07a	2.752,61b	68,43b	6,10b	
Média	81,12	9,15	12.763	474,60	2.798,61	94,43	8,20	
DP	28,68	4,22	1.734,10	168,42	963,64	31,78	2,02	
CV (%)	35,36	46,16	13,59	35,49	34,43	33,65	24,66	
Agroecossistema	P	----- Sistema de produção (produtor / agroecossistema) -----						
	1	202,64a	14,40a	14.067ab	645,99	2.319,23	202,64a	11,99ab
Ceraíma	2	75,76b	7,65ab	10.692b	411,17	2.674,54	75,76b	10,32ab
	3	182,53a	11,04ab	16.863a	533,26	2.071,89	182,53a	14,31a
	4	66,03b	3,91b	16.846a	285,10	3.719,60	66,03b	9,21b
	5	65,80b	5,49	12.126d	319,14b	3.164,86	65,80b	12,63a
Iuiu	6	55,86b	1,31	42.222a	781,67a	1.388,33	55,86b	3,04b
	7	173,39a	7,18	24.113c	618,18ab	1.639,90	173,39a	11,19a
	8	111,93ab	8,19	27.949b	480,40ab	2.294,39	223,86a	12,68a
	9	51,54b	4,55b	11.238	530,42b	1.988,85	51,54b	5,39b
Maniaçu	10	116,05a	30,07a	7.743	904,40a	1.150,63	232,09a	14,78a
	11	106,69ab	12,05b	9.004	472,28b	2.127,01	106,69b	11,92a
	12	80,05ab	8,72b	9.284	662,38ab	1.566,67	80,05b	7,00b
	13	14,78	11,20a	2.571b	360,81	2.835,67b	29,56	3,38
Riacho de	14	8,52	1,92b	9.308a	201,47	5.857,80a	17,03	2,60
Santana	15	14,85	3,94ab	7.542a	252,85	4.212,06ab	29,70	5,23
	16	22,33	3,05ab	7.208a	168,26	5.950,33a	22,33	3,96
	17	44,08	8,50b	5.261b	329,35b	3.142,58ab	44,08	6,20
Morrinhos	18	71,56	5,82b	12.067a	228,26b	4.459,66a	71,56	7,56
	19	102,00	20,20a	5.010b	737,77a	1.650,29b	102,00	6,70
	20	56,08	13,82ab	4.144b	568,90ab	1.757,92b	56,08	3,97

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: pl. = plantas; cl. = cladódio; Agroecossistema = ambiente de cultivo da palma forrageira; produtor / agroecossistema = cada sistema de produção em seu respectivo ambiente de cultivo; P = sistema de produção de palma de cada produtor tradicional; PANUAL = produtividade anual da palma em cada sistema de produção; PPL = produtividade anual da palma por planta; DENS = densidade, corresponde ao número de plantas por hectare; MCL = massa média de cada cladódio; NCLT = quantidade estimada de cladódios em uma tonelada; PMV = produtividade de massa verde; PMS = produtividade de massa seca. Com exceção dos produtores 8, 10, 13, 14 e 15 que colheram os cladódios com dois anos, os demais o fizeram com o intervalo de apenas um ano após a última colheita. Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada ambiente, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05). A ausência de letras na coluna indica que a variável não apresentou diferenças significativas para o referido ambiente.

4. Considerações finais

Perceber as variações nas características estruturais e no rendimento das plantas e inter-relacioná-las com as práticas de manejo (sistema de produção) e atributos físicos e químicos dos solos (agroecossistemas) permite reorientar o sistema de produção da palma forrageira de modo a alcançar melhores resultados de produtividade e qualidade da forragem.

A altura das plantas e a espessura dos cladódios constituíram características que não se alteraram de forma significativa com as diferenças ambientais (agroecossistemas) e sistema de manejo adotado pelos produtores (sistema de produção). Portanto, nas condições desses agroecossistemas da microrregião de Guanambi, espera-se que o produtor consiga aumentar a média do comprimento e largura do cladódio para obter melhores produtividades com base no potencial da planta.

Ceraíma e Iuiu apresentaram as maiores produtividades anuais e correspondem aos agroecossistemas que tiveram produtores que irrigam seus cultivos de palma forrageira. O aumento da população de plantas por área eleva a produtividade da palma forrageira ‘Gigante’, conforme observado em Iuiu. O maior número de cladódios por planta foi obtido em Morrinhos e Ceraíma. No entanto, Maniaçu produziu cladódios com maior largura e, juntamente com Ceraíma, teve os cladódios com maior comprimento.

Além de alcançar os melhores resultados estruturais dos cladódios por planta, Maniaçu destacou-se com as maiores médias nos teores de proteína bruta e de fibra em detergente neutro, que conferem melhor qualidade do cladódio para uso como forragem. Esse melhor desempenho é favorecido pelas temperaturas noturnas mais amenas, em consequência da maior altitude em Maniaçu.

A altitude apresentou as maiores correlações positivas com os teores de matéria orgânica, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. Vale ressaltar que todos os sistemas de produção de palma forrageira em Maniaçu foram adubados com esterco bovino, e um deles com sulfato de amônio, prática que contribui para maior produtividade e melhor valor nutritivo da palma forrageira.

O desempenho estrutural da planta relaciona-se diretamente com a sua capacidade de produção. De modo que os rendimentos dos palméis, expressos pela produtividade anual e produtividade de massa verde, se correlacionaram positivamente com as características estruturais da planta, como a sua altura e espessura, largura e comprimento dos cladódios.

Na maioria dos cultivos tradicionais de palma, a primeira colheita de cladódios foi realizada com dois anos após o plantio. Em agroecossistemas com solos de boa fertilidade natural e com base na demanda por forragem, esse intervalo entre as colheitas pode ser reduzido

para um ano. Aliada a essa prática, a manutenção de dois a três cladódios após a colheita confere maior reserva e capacidade de convivência da planta com as limitações climáticas no semiárido.

Os agroecossistemas, a partir da geologia local, apresentaram maior influência na manutenção das características físicas e químicas dos solos, mesmo diante da intervenção do homem por meio do sistema de manejo, inclusive com a adubação orgânica. Entretanto, essa maior influência dos agroecossistemas não se aplica a todos os elementos, a exemplo do fósforo, potássio, sódio, enxofre e o ferro, que tiveram maior efeito do sistema de produção e/ou da planta.

A ocorrência de solos com melhor potencial de fertilidade natural não significa, necessariamente, que terão plantas com melhor desempenho estrutural em relação às cultivadas em solos com restrições físicas e químicas. Outros fatores não relacionados especificamente aos solos, por exemplo, o clima, a altitude e o manejo, principalmente a adubação, exercem influência na estrutura da planta, rendimento e qualidade dos cladódios, conforme o crescimento dos cladódios e qualidade nutricional da palma produzida em Maniaçu.

O desempenho da palma forrageira é consequência da inter-relação entre o agroecossistema, o sistema de produção e o genótipo da planta. A identificação dos componentes afetados na planta e a percepção do nível de influência desses fatores possibilitam aos produtores a implementação de um sistema de produção mais eficiente, atuando diretamente nas características de maior interesse e/ou nos fatores ambientais mais limitantes à produção.

Constatou-se que o agroecossistema afetou mais o comprimento e a largura dos cladódios, a matéria orgânica e o material mineral na planta. Os sistemas de produção estabelecidos pelos produtores afetaram, maiormente, a produção de massa de cladódios por planta, a produtividade de massa verde, a área total de cladódios e o número de cladódios produzidos por planta, os níveis de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta e fibra em detergente neutro. Apesar de serem mais influenciados pelo sistema de produção, a altura de planta e espessura de cladódios não apresentaram diferenças significativas entre os palméis estudados.

As características mais afetadas pelo efeito da planta (genótipo) foram os teores de gordura ou extrato etéreo (EE) nos cladódios, a capacidade de produção de massa por cladódio e os teores de fibra em detergente neutro nos tecidos dos cladódios. O uso de única cultivar e a adoção da propagação vegetativa podem gerar diferentes clones ou mesmo variação somaclonal, com potencial genético diferente de outro local. Assim, o nível tecnológico do produtor e as condições ambientais de cultivo afetam a qualidade do cladódio da palma forrageira para uso como forragem animal.

Os resultados estão sendo devolvidos às famílias dos produtores tradicionais de palma forrageira que participaram da presente pesquisa. Os produtores que moram em cada agroecossistema e representantes de outras comunidades também são convidados para a devolução e discussão dos resultados da pesquisa, conforme já ocorreu em Maniaçu, no dia 26 de outubro de 2019 (Figura 14).



Figura 14. Reunião de devolução dos resultados da pesquisa no agroecossistema de Maniaçu, município de Caetité-BA, em 26 de outubro de 2019.

Fotos: Laudiceio Viana Matos.

A pesquisa, também, foi apresentada no IFBaiano - *Campus* Guanambi, no dia 24 de outubro de 2019, para professores, pesquisadores, acadêmicos e representantes de órgãos e organizações da microrregião de Guanambi e do norte de Minas Gerais (Figura 15). Nessa oportunidade, os pesquisadores do IFBaiano - *Campus* Guanambi apresentaram os resultados de 10 anos de pesquisa com palma forrageira, o que propiciou o debate sobre os principais avanços e desafios com a cultura, principalmente com o cenário da chegada da cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*) em alguns municípios da região, praga quarentenária A2 para o estado da Bahia até 2017.



Figura 15. Apresentação da pesquisa “O cultivo da palma forrageira ‘Gigante’ em agroecossistemas do semiárido baiano”, em 24 de outubro de 2019, no evento “Palma forrageira: 10 anos de produção científica no semiárido baiano”, organizado pelo IFBaiano – *Campus Guanambi*.

Fonte: Elaboração do autor.

Fotos: Tiago Marques e Bruno Guimarães (IFBaiano – *Campus Guanambi*).

Espera-se que os resultados da pesquisa possam contribuir para a melhoria dos sistemas de produção tradicionais de palma forrageira no semiárido da microrregião de Guanambi; de modo que os produtores possam entender e aplicar o conhecimento sobre a influência do arranjo e a população de plantas, a escolha das áreas de cultivo, o efeito dos sistemas de produção e dos agroecossistemas na estrutura da planta, no rendimento e na qualidade da forragem produzida, a importância da aplicação de adubos orgânicos, a manutenção de dois a três cladódios na planta após a colheita, a estimativa de produtividade. Além disso, haverá a possibilidade de o produtor planejar melhor e implementar práticas que promovam a sustentabilidade produtiva e ambiental em sua propriedade e no agroecossistema local.

5. Agradecimentos

Às famílias de produtores tradicionais de palma forrageira que acolheram a pesquisa, à Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, ao Instituto Federal Baiano – *Campus Guanambi*, à Cooperativa de Assessoria Técnica e Educacional para o Desenvolvimento da Agricultura Familiar -

COOTRAF, à Universidade Federal de Viçosa – UFV, aos Sindicatos dos Trabalhadores Rurais de Guanambi e de Caetité, por contribuírem para a viabilização do projeto de pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. Referências

AGUIAR, M. DO S. M. A.; SIVA, F. F. da; DONATO, S. L. R.; SCHIO, A. L. R; DICASTRO DIAS de SOUZA, D. D. DE; MENESES, M. de A.; LÉDO, A. A. Síntese de proteína microbiana e concentração de ureia em novilhas leiteiras alimentadas com palma forrageira *Opuntia*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 999-1012, 2015a. <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p999>.

ALVES, J.F.T; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. da; GUIMARÃES, B.V.C. Establishment of sufficiency ranges to determine the nutritional status of 'Gigante' Cactus Pear - Macronutrients. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 18, p. 213-221, 2019a.

BARROS, J. L. de; Donato, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. da; PADILHA JÚNIOR, M. C. Palma forrageira 'gigante' cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p.53-65, 2016.

BLANCO-MACÍAS, F.; MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; VÁZQUEZ-ALVARADO, R.; OLIVARES-SÁENZ, E.; GUTIÉRREZ-ORNELAS, E.; VIDALES-CONTRERAS, J. A.; MURILLO-AMADOR, B. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, v. 173, p. 927-934, 2010. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200900147>.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAM BRASIL. Folha SD-23 Brasília:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. 660 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 29).

CARMO, V.A. do; MATOS, L.V.; MANCIO, D.; FREITAS, H.R.; OLIVEIRA, C.V. de; CARDOSO, I.M. **Etnopedologia: buscando o olhar de quem amanhã a terra**. In: CARDOSO, I.M.; FÁVERO, C. (Eds.). Solos e agroecologia (Coleção Transição Agroecológica, v.4) Brasília, DF: Embrapa. Cap.5, p.161-200, 2018.

CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. de A.; SILVA, L. M. da; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. da. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p.424-433, Dec. 2014. <https://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000400010>.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p.

DIAS, L. A. dos S; BARROS, W. S. **Biometria experimental**. Viçosa: Suprema, 2009. 408p.

DONATO, P. E. R., DONATO, S. L. R., SILVA, J. A., PIRES, A. J. V.; SILVA JUNIOR, A. A. e. 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, apr. 2017a. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p238-243>.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, v. 27, p. 163 -172, 2014b.

DONATO, P.E.R. **Avaliação bromatológica, morfológica, nutricional e de rendimento em palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino**. 2011. 134p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. M.; BRITO, C. F. B.; RODRIGUES, M. G. V.; SILVA, J. A. DA; DONATO, P. E. R. Considerações sobre clima semiárido e ecofisiologia da palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v. 38, n. 296, p.7-20, 2017b.

DONATO, S. L. R.; DONATO, P.E.R.; SILVA, J.A. da; RODRIGUES, M.G.V. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira ‘Gigante’. **Informe Agropecuário**, v. 38, n. 296, p. 46-58, 2017c.

DONATO, S. L. R.; SILVA, J.A. da; DONATO, P.E.R.; RODRIGUES, M.G.V.; RUFINO, L.D. de A.; SILVA JÚNIOR, A.A e. Exigências nutricionais e manejo da adubação em palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v. 38, n. 296, p. 62-75, 2017d.

FARIAS, I.; SANTOS, D.C.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. **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: UFPE, 2005. p.81-104.

FIALHO, J.; AGUIAR, M.; MAIA, L.; MAGALHÃES, R.; ARAÚJO, F.; CAMPANHA, M.; OLIVEIRA, T. Soil quality, resistance and resilience in traditional agricultural and agroforestry ecosystems in Brazil’s semiarid region. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 40, p.5020 - 5031. 2013. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2545.4485>.

FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R.; SILVA, J. A.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 41, p. 426-31, 2019.

GALIZZI, F.A.; FELKER, P.; GONZÁLEZ, C.; GARDINER, D. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in Argentina. **Journal of Arid Environments**, v. 59, n. 1, p. 115-132, 2004.

GOMES, G. M. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; LOPES, M. N.; MARANHÃO, T. D.; ANDRADE, D. R. DE; COSTA, J. F. M.; SILVEIRA, W. M.; NEIVA, J. N. M. Chemical composition of cactus pear cladodes under different fertilization and harvesting managements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 2, p. 221-228, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000200011>.

LÉDO, A.A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZU, I.; SILVA, J.A. da; DONATO, P. E. R.; CARVALHO, A.J. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 413-418, 2019.

LÉDO, A.A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZU, I.; SILVA, J. A. da; DONATO, P. E. R.; CARVALHO, A.J. Nutrient concentration and nutritional efficiency in ‘Gigante’ cactus pear submitted to different spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 154-161, 2020. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p154-16>.

LIMA, G.F.C., RÊGO, M. M. T., AGUIAR, E. M., SILVA, J. G. M., DANTAS, F. D. G., GUEDES, F. X.; LÔBO, R.N.B. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated *Nopalea* forage cactus. **Acta Horticulturae**, v. 1067, p. 253-258. 2015. doi:10.17660/actahortic.2015.1067.35.

LOPES, L. A.; CARDOSO, D. B; CAMARGO, K. S.; SILVA, T. G. P. DA; SOUZA, J. DE S. R.; SILVA, J. R. C. DA; MORAIS, J. S. DE; ARAÚJO, T. P. M. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 13, n. 2, a277, p.1-10, 2019. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n3a277.1-10>

MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner’s mineral nutrition of higher plants**. 3.rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. 651p.

MATOS, L. M.; KER, J. C.; CARDOSO, I. M.; LANI, J. L.; SCHAEFER, C. E. G. R. O conhecimento local e a etnopedologia no estudo dos agroecossistemas da Comunidade Quilombola de Brejo dos Crioulos. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 3, p. 497-510. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320140308>.

NOBEL, P.S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E.P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. João Pessoa: SEBRAE-PB: FAO, 2001. p.36-48.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OLIVEIRA JÚNIOR, S.; BARREIRO NETO, M.; RAMOS, J. P. F.; LEITE, M. L. V.; BRITO, E. A.; NASCIMENTO, J. P. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido Paraibano. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v. 3, p. 7-12. 2009.

PADILHA JÚNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A. da; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. dos S. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde**, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2016.

PESSOA, R. A. S.; FERREIRA, M. de A; SILVA, F. M. da; BISPO, S. V.; WANDERLEY, W. L.; VASCONCELOS, P. C. Diferentes suplementos associados à palma forrageira em dietas para ovinos: consumo, digestibilidade aparente e parâmetros ruminais. **Revista Brasileira de**

Saúde e Produção Animal, v. 14, n. 3, p. 508-517, sept. 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402013000300012>.

PIMIENTA-BARRIOS, E.; HERNÁNDEZ, J. Z.; MUÑOZ-URIAS, A.; MURGUÍA, C. R. Ecophysiology of young stems (cladodes) of *Opuntia ficus indica* in wet and dry conditions. **Gayana Botanica**, v. 69, p. 232-239, 2012.

PINTO, M.S.C.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ANDRADE, M.V.M.; FIGUEREDO, M.V. Estimativa do peso da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) a partir de medidas dos cladódios. **In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 39. Recife, 2002. Anais... Recife: SBZ, v.1, p.54-64.

RESENDE, M.; CURTI, N.; LANI, J.L. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. **In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds. Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.593-644.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; MELO, A. L. P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa: Folha, 2008. 287p.

SANTOS, D. C., SILVA, M. C., DUBEUX JÚNIOR, J. C. B., LIRA, M. A. & SILVA, R. M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 111-121, 2013.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Secretaria de Estado de Planejamento: Bahia: 2014. **Tipologia climática**. Disponível em: http://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=110&Itemid=96. Acesso em 10 jul. 2019.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 235p.

SILVA, J. A. da; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; ROSA, R. C. C.; DONATO, P. E. R. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, suppl., p. 866-875, 2012. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7isa2134>>.

SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. dos S., PADILHA JÚNIOR, M. C.; SILVA JUNIOR, A. A. e. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 564-569, 2016a. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p564-569>.

SILVA, J. A.; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; SILVA, F. F.; DONATO, P. E. R. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações químicas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 242-350, 2013. <https://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2431>.

SILVA, L. M., FAGUNDES, J. L., VIEGAS, P. A. A., MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, n.11, p. 2064-2071, 2014. <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131305>.

SILVA, N. G. de 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, Dec. 2016b. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n423rc>.

SILVA, R. F; SAMPAIO, E. V.S.B. Palmas forrageiras *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*: sistemas de produção e usos. **Revista Geama**, v. 1, n. 2, p. 151-161, set. 2015.

WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. de A.; BATISTA, Â. M. V.; VÉRAS, A. S. C.; SANTOS, D. C. dos; URBANO, S. A.; BISPO, S. V. Silagens e fênos em associação à palma forrageira para vacas em lactação. Consumo, digestibilidade e desempenho. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 3, p. 745-754. 2012. <https://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402012000300014>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As especificidades dos agroecossistemas e a biologia da planta da palma forrageira requerem ajustes no manejo e aplicação de tecnologias viáveis para o alcance de maior sustentabilidade agroalimentar. Assim, as limitações ambientais podem ser mitigadas e os potenciais ambientais e a adaptabilidade da planta podem ser melhor aproveitados na produção de forragem para os animais no semiárido.

A percepção das inter-relações entre o ambiente (agroecossistemas), o homem (sistema de produção) e a planta (genótipo), possibilitou identificar atributos dos solos, clima e práticas de manejo que mais influenciaram a estrutura da planta, a sua composição nutricional, a produtividade da cultura e a qualidade da forragem para uso na alimentação dos animais.

Os agroecossistemas afetaram mais o comprimento e largura dos cladódios, a matéria orgânica e o material mineral na planta. Os sistemas de produção, por meio das técnicas de manejo adotadas pelos produtores, influenciaram mais a produção de massa de cladódios por planta, a produtividade de massa verde, a área total de cladódios e o número de cladódios produzidos por planta, os níveis de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta e fibra em detergente neutro. A altura de planta e a espessura de cladódios foram mais influenciadas pelo sistema de produção, no entanto, não apresentaram diferenças significativas entre os palmais.

A planta (genótipo) influenciou mais os teores de gordura ou extrato etéreo nos cladódios, a capacidade de produção de massa por cladódio e os teores de fibra em detergente neutro nos tecidos dos cladódios.

Portanto, observou-se que o potencial da planta associado ao nível tecnológico do produtor e às condições ambientais de cultivo afetaram a produtividade e a qualidade do cladódio da palma forrageira para uso como forragem animal. Diante dos resultados da pesquisa e com base nas especificidades locais, é possível aos produtores aperfeiçoarem suas técnicas de manejo; a exemplo de ajustes no arranjo e população de plantas, na escolha das áreas de cultivo, na compensação dos desvios das características do solo, principalmente com a aplicação do esterco, na manutenção de dois a três cladódios na planta após a colheita, entre outras práticas. Assim, é possível o alcance de maiores produtividades e longevidades dos palmais e níveis de qualidade da forragem com a melhor expressão do potencial da planta.

A intervenção do produtor no planejamento e na implementação de práticas viáveis e condizentes à sua realidade contribui para maior sustentabilidade produtiva e ambiental em sua propriedade e no agroecossistema local. A necessidade de respostas específicas para problemas

ocasionados pelo manejo deficiente em sistemas de produção da palma forrageira exige abordagem que valorize enfoques integradores na pesquisa, assistência técnica e políticas públicas, de forma a fortalecer o cultivo da palma forrageira como uma solução de convivência com as limitações do meio físico no semiárido.

Espera-se que os resultados gerados possam contribuir na orientação e aprimoramento de sistemas de produção da palma forrageira que reconheçam as especificidades dos diferentes agroecossistemas de comunidades tradicionais do semiárido baiano na microrregião de Guanambi-BA, maximizando o potencial produtivo da planta e favorecendo sua capacidade de convivência com as limitações ambientais dessa região.