

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Luan Souza de Paula Gomes

**Desempenho agrônômico e estimativa de produtividade por análise de
imagens aéreas em variedades de palma forrageira com diferentes manejos de
colheita**

Montes Claros

2023

Luan Souza de Paula Gomes

Desempenho agronômico e estimativa de produtividade por análise de imagens aéreas em variedades de palma forrageira com diferentes manejos de colheita

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Alcinei Místico Azevedo

Montes Claros
Setembro de 2023

Gomes, Luan Souza de Paula.

G633i
2023 Desempenho agrônomo e estimativa de produtividade por análise de imagens aéreas em variedades de palma forrageira com diferentes manejos de colheita [manuscrito]/ Luan Souza de Paula Gomes. Montes Claros, 2023.
77 f.: il.

Tese (doutorado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Alcinei Místico Azevedo

Banca examinadora: Sérgio Luiz Rodrigues Donato, Mário Henrique França Mourthé, João Paulo Sampaio Rigueira, Jailson Ramos Magalhães.

Inclui referências: f. 28-33; f. 54-55; f. 69-71.

1. Planta forrageira -- Colheita -- Teses. 2. Genética Vegetal -- Palma Forrageira -- Teses. 2. Produtividade agrícola -- Teses. 2. Análise de imagem -- Teses. I. Azevedo, Alcinei Místico. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 633.35


ATA DE DEFESA DE TESE

Aos 17 dias do mês de agosto de 2023, às 8:00 horas, sob a Presidência do Professor Alcinei Místico Azevedo, D. Sc. (Orientador - UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Sérgio Luiz Rodrigues Donato, D. Sc. (IFBaiano), Mário Henrique França Mourthé, D. Sc. (UFMG/ICA), João Paulo Sampaio Rigueira, D. Sc. (Unimontes) e do Técnico-Administrativo Jailson Ramos Magalhães, D. Sc. (UFMG/ICA), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de tese de **Luan Souza de Paula Gomes**, aluno do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de tese intitulada: **“Desempenho agrônômico e estimativa de produtividade por análise de imagens aéreas em variedades de palma forrageira com diferentes manejos de colheita”** sendo o aluno considerado (aprovado/reprovado) **Aprovado**. E, para constar, eu, Professor Alcinei Místico Azevedo, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.


OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do **ARTIGO 65** do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 65 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.


Montes Claros, 17 de agosto de 2023.

Documento assinado digitalmente
 SERGIO LUIZ RODRIGUES DONATO
 Data: 18/08/2023 09:41:57-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Sérgio Luiz Rodrigues Donato
 Membro

Documento assinado digitalmente
 MARIO HENRIQUE FRANCA MOURTHE
 Data: 17/08/2023 12:58:43-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Mário Henrique França Mourthé
 Membro

Documento assinado digitalmente
 JOAO PAULO SAMPAIO RIGUEIRA
 Data: 18/08/2023 10:02:20-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

João Paulo Sampaio Rigueira
 Membro

Documento assinado digitalmente
 JAILSON RAMOS MAGALHAES
 Data: 17/08/2023 12:06:39-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jailson Ramos Magalhães
 Membro

Documento assinado digitalmente
 ALCINEI MISTICO AZEVEDO
 Data: 17/08/2023 12:00:41-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alcinei Místico Azevedo
 Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conduzir os meus passos e ser minha força e proteção;

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA-UFMG) pela oportunidade, infraestrutura e realização do trabalho;

Ao Prof. Dr. Alcinei Místico Azevedo, pela orientação, paciência, ensinamentos e amizade construída durante o percurso;

Aos órgãos de fomento: FAPEMIG, CNPq e CAPES, pelo apoio financeiro e bolsas que possibilitaram a realização deste trabalho;

A todos do grupo GEEA (Grupo de Estudo em Experimentação Agrícola), que foram fundamentais durante a condução dos trabalhos e o período de convivência;

Aos professores que tive a oportunidade de cursar disciplinas e conviver nos laboratórios, pelos conhecimentos compartilhados;

Aos colegas de pesquisa e disciplinas pelo auxílio e disponibilidade, em especial aos que estiveram mais próximos;

Aos amigos Ana, Nermy, Janete, Guga, Rayane, Sandra, Lucas, Humberto pela amizade construída durante o doutorado;

Aos meus queridos pais, Hélio e Lara e irmã Thais pelo apoio, amor e incentivo constantes.

A todos que de alguma forma contribuíram direta e indiretamente na condução do projeto e que por falta minha não foram citados anteriormente. Sem ajuda de todos, jamais teria chegado até aqui.

Muito obrigado!

DESEMPENHO AGRONÔMICO E ESTIMAÇÃO DE PRODUTIVIDADE POR ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS EM QUATRO VARIEDADES DE PALMA FORRAGEIRA COM DIFERENTES MANEJOS DE COLHEITA

RESUMO

A irregularidade das chuvas nas regiões semiáridas a áridas dificultam a condução de algumas culturas devido aos veranicos dos períodos. A palma forrageira é uma alternativa excelente para cultivo neste agroecossistema, tanto para alimentação humana quanto animal, isso porque o metabolismo ácido das crassuláceas possibilita alta eficiência na utilização da água durante o processo fotossintético. Contudo, a condução dessa cultura possui alguns entraves principalmente de ordem varietal ligados ao desempenho produtivo e ao manejo de colheita. Com isso, faz-se necessário o conhecimento da produção de cladódios das espécies de palma forrageira, bem como a predição da produtividade com o uso de equipamentos de baixo custo para gerar e fornecer informações para tomadas de decisões no campo, durante o ciclo produtivo. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo e a estimativa da produção de cladódios de quatro variedades de palma forrageira sob diferentes manejos de corte em condições de sequeiro no norte de Minas Gerais. O experimento foi em delineamento em blocos casualizados, em fatorial 4 x 4, com 4 repetições. O primeiro fator consistiu das quatro cultivares de palma forrageira implantadas (Gigante, Miúda, Orelha de elefante mexicana e IPA Sertânia). E o segundo fator quatro manejos de colheitas dos cladódios: 1- Colheita aos nove meses preservando o cladódio mãe; 2- Colheita aos nove meses preservando o cladódio mãe e primário; 3- Colheita aos 15 meses preservando o cladódio mãe e primário; 4- Colheita aos 21 meses preservando o cladódio mãe. Foram observados aspectos morfométricos dos cladódios e das plantas. Antes de cada colheita foram obtidas imagens aéreas das parcelas. Para isso, utilizou-se uma estrutura feita com ripas de eucalipto com uma câmera acoplada no centro. Após a obtenção das imagens foi feito o processamento com o auxílio do pacote ExplImage no software R para estimar a área da imagem ocupada por cladódios em porcentagem. Esta estimativa foi utilizada para a predição do número de cladódios, produtividade de matéria fresca e produtividade de matéria seca por meio do ajuste de regressão polinomial de primeiro grau. Os genótipos de palma forrageira Miúda e

Orelha de elefante são mais produtivas e indicadas para cultivo na região do Norte de Minas Gerais. O sistema de colheita no manejo dois assegura maior rebrota e produtividade de cladódios. Porém, os manejos de corte não influenciaram na produtividade total da palma forrageira. Houve precisão na estimativa da produtividade da palma forrageira por meio da análise de imagens aéreas utilizando equipamento de baixo custo.

Palavras-chave: Colheita de cladódios. Genótipo de palma forrageira. Predição de produtividade. Pixels.

AGRONOMIC PERFORMANCE IMAGE ANALYSIS FLEXIBILITY MANAGEMENT FOR FOUR CROP VARIETIES

ABSTRACT

The irregularity of the rains in the semi-arid to arid regions makes it difficult to conduct some crops due to the dry periods of the periods. The forage palm is an alternative and excellent option for cultivation in this agroecosystem, both for human and animal food, because the acid metabolism of crassulaceans allows high efficiency in the use of water during the photosynthetic process. However, the management of this culture has some obstacles, mainly of a varietal order, linked to productive performance and harvest management. Thus, it is necessary to know the production of cladodes of forage palm species, as well as the prediction of productivity with the use of low-cost equipment to generate and provide information for decision-making in the field, during the production cycle. The objective of this work was to evaluate the agronomic performance and the estimation of the production of cladodes of four forage palm varieties under different cutting managements under rainfed conditions in the north of Minas Gerais. The experiment was in a randomized block design, in a 4 x 4 factorial, with 4 replications. The first factor consisted of the four forage palm cultivars implanted (Giant Miuda, Mexican Elephant Ear and IPA Sertania). And the second factor four cladode harvest managements: 1- Harvest at nine months preserving the mother cladode; 2- Harvest at nine months, preserving the mother and primary cladodes; 3- Harvest at 15 months preserving the mother and primary cladodes; 4- Harvest at 21 months preserving the mother cladode. Morphometric aspects of cladodes and plants were observed. Before each harvest, aerial images of the plots were obtained. For this, a structure made with eucalyptus slats with a camera attached in the center was used. After obtaining the images, processing was performed with the aid of the Explmage package in the R software to estimate the area of the image occupied by cladodes in percentage. This estimate was used to predict the number of cladodes, fresh matter yield and dry matter yield through the first-degree polynomial regression fit. The forage cactus Miuda and Elephant Ear genotypes are more productive and suitable for cultivation in the northern region of Minas Gerais. The harvesting system in management two ensures greater regrowth and productivity of cladodes. However,

the cutting management did not influence the total productivity of forage cactus. There was precision in estimating cactus yield through analysis of aerial images using low-cost equipment.

Keywords: Cladode harvest. Forage palm. Genotype. Yield prediction. Pixels.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS.....	12
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1	A palma forrageira.....	13
3.2	Características morfológicas da palma forrageira	14
3.3	Espécies de palma forrageira	16
3.3.1	‘Gigante’ (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	16
3.3.2	‘Miúda’ ou ‘Doce’ (<i>Nopalea Cochenilifera</i>).....	17
3.3.3	‘Orelha de elefante’ (<i>Opuntia Spp.</i>)	18
3.3.4	‘Ipa sertânia’ (<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm-Dyck).....	19
3.4	A influência dos cortes na produtividade da palma.....	20
3.5	A produção de forragem no semiárido brasileiro	21
3.5.1	Dificuldades de produção de forragem no semiárido	22
3.5.2	A palma forrageira como opção de planta no semiárido	23
3.6	Manejo de corte na palma forrageira.....	26
3.7	Estimação de produtividade na palma forrageira	27
	REFERÊNCIAS	28
4	ARTIGOS	35
4.1	Artigo I. Desempenho agrônomico de quatro variedades de palma forrageira com diferentes manejos de corte no norte de Minas Gerais	34
4.2	Introdução.....	35
4.3	Material e métodos.....	36
4.4	Resultados e Discussão	43
4.5	Conclusão.....	54
4.6	Referências.....	54
5	Artigo II. Imagens aéreas para estimativa da produção de quatro cultivares de palma forrageira	57
5.1	Introdução.....	57
5.2	Material e métodos.....	58

5.3	Resultados e discussão	61
5.5	Conclusão.....	68
5.6	Referências.....	69
6	ANEXOS.....	72

1 INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é caracterizada pelas altas temperaturas, chuvas escassas e mal distribuídas, com longos períodos de estiagem. A baixa previsibilidade no rendimento das forrageiras devido as condições climáticas tem sido uma das maiores limitações à pecuária nacional, que utilizam a forragem como base alimentar dos bovinos. A busca por espécies de forrageiras adaptadas às condições climáticas locais é de grande importância para garantir a alimentação e qualidade nutricional dos animais (OLIVEIRA *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2021).

Algumas espécies como a palma forrageira é uma boa opção para cultivos em regiões áridas a semiáridas com irregularidade de chuvas. Os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, destacam-se devido a seu metabolismo ácido das crassuláceas, eficiência no uso de água, menor frequência estomálica, abertura de estômatos durante a noite, entre outras características que torna a palma tolerante ao déficit hídrico (ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017; BAYAR; FRIJI; KAMMOUN, 2018; VOLPE; GOLDFARB; FIORI, 2018). Além disso, a palma possui características físico-químicas que a torna uma importante fonte de minerais, gorduras, carboidratos, ácidos graxos e alto poder antioxidante, estas propriedades são importantes tanto para a alimentação animal quanto para a alimentação humana (DUBEUX JUNIOR *et al.*, 2010; FERRAZ *et al.*, 2019).

Os estudos orientados pela morfogênese em plantas geram respostas morfológicas e fisiológicas sob condições de manejo e ambientais, método muito eficiente para avaliar pesquisa com plantas e que também é utilizado para análise da palma forrageira (PEREIRA *et al.*, 2021). Os autores Neder *et al.* (2013) e Donato *et al.* (2014) concluíram que as características estruturais observadas por meio da análise de morfogênese ao longo do tempo são informações importantes da cultura em diferentes ambientes de cultivo e os tipos e intensidade de colheita da palma forrageira influenciam a produção e as características estruturais da cultura, pois interferem na capacidade fotossintética da planta.

Assim como estabelecer o manejo mais adequado da colheita de cladódios na palma forrageira, estimar a sua produtividade também se torna uma atividade importante a ser realizada. As predições de produtividade possibilitam ao produtor rural se programar quanto a colheita de cada ciclo de cultivo e o manejo da cultura. Em palma forrageira, os atributos morfológicos que podem contribuir para a previsão

de produtividade são a área de cladódios totais, a altura de planta, espessura e comprimento dos cladódios (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

Logo, o estudo sobre frequência e intensidade da colheita e das características estruturais da palma forrageira e estimação de produtividade por imagens podem gerar informações importantes para o aumento da eficiência produtiva desta forrageira. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico de quatro variedades de palma forrageira sob diferentes manejos de corte e estimar a produtividade com o uso de imagens aéreas com estrutura de baixo custo em condições de sequeiro no norte de Minas Gerais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar quatro cultivares de palma forrageira no Norte de Minas Gerais em cultivo adensado sob diferentes manejos de corte quanto ao desempenho agronômico.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar o desempenho agronômico das cultivares da palma forrageira 'Gigante' (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), Miúda (*Nopalea Cochenillifera* Salm-Dyck), Orelha de elefante (*Opuntia Stricta* (Haw.) Gaw.) e IPA-Sertânia (*Nopalea Cochenillifera* Salm-Dyck) no Norte de Minas Gerais;
- Identificar qual a intensidade e frequência de corte é a mais indicada para as quatro cultivares de palma forrageira no Norte de Minas Gerais;
- Verificar se o uso da análise de imagem permite a predição da produtividade da palma forrageira.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A palma forrageira

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) é nativa do México e é explorada desde o período pré-hispânico (LIMA, 2013). No Brasil, a palma forrageira foi introduzida por volta do século XIX. A princípio a ideia era produzir o corante carmim a partir da cochonilha *Dactylopius coccus*, mas a atividade veio a declínio. Descobriu-se então que a palma forrageira possuía potencial forrageiro e boa adaptabilidade ao clima semiárido, com isso foi destinada para alimentação animal e difundida pela região semiárida (SILVA *et al.*, 2020).

A produção da palma forrageira no Brasil é de aproximadamente 3,6 milhões de toneladas em 126.925 estabelecimentos (IBGE, 2017). Da produção nacional 99,8% (3.573.401 toneladas) são representados por municípios da área de atuação do Sudene, ou seja, o Nordeste brasileiro e porções nortes dos territórios de Minas Gerais e Espírito Santo. Os estados com maiores plantações são: Sergipe, Alagoas, Rio Grande do Norte e Ceará – sendo os três maiores estados produtores: Bahia (1,5 milhão de toneladas), Paraíba (742 mil toneladas) e Pernambuco com 481 mil toneladas (IBGE, 2017).

Regiões como o agreste pernambucano e alagoano concentram a maior parte de cultivo da planta, uma vez que nestas regiões as temperaturas são mais amenas e as amplitudes térmicas mais próximas daquela exigida pelo fenômeno do termoperiodismo, que é a variação entre temperaturas noturnas e diurnas, fundamentais ao bom desenvolvimento da palma forrageira (REIS FILHO, 2020).

Estudos relacionados ao uso da palma forrageira têm demonstrado às diversas aplicações da cultura nas áreas científicas, empresariais e em domicílios. Na década de 70, o foco de estudo eram as propriedades químicas e biológicas da planta em busca de conhecer as aplicações da palma forrageira na alimentação humana. Já a partir dos anos 80, as pesquisas concentraram na análise bioquímica da planta e seus aspectos fisiológicos. Em 1990, o foco no contexto ambiental foi a palma forrageira em seu ambiente biológico, examinando sua relação com a água, a salinidade e condições do solo. Dessa forma, as características da palma forrageira, como a sua alta resistência às condições severas do semiárido, associadas à capacidade antioxidante deram abertura para novas aplicações, das quais se pode

destacar alimentação humana e animal (NOVA, 2018).

Essa boa adaptação da cultura aos ecossistemas áridos e semiáridos está associada às propriedades anatômicas e fisiológicas da palma forrageira que exige baixa demanda hídrica (LOPES *et al.*, 2019). Essa cultura quando manejada adequadamente, possui potencial de produção, alta palatabilidade e bons atributos nutricionais, como alto teor energético e de minerais, bem como de umidade, sendo uma fonte de água de qualidade aos animais (REIS FILHO, 2020). Além disso, a forrageira possui em sua composição 90% de água, o que é uma alternativa para o aporte hídrico aos rebanhos (ALMEIDA, 2012). Essas características tornam a palma forrageira um dos mais importantes recursos alimentares para o gado em regiões onde a seca é predominante (SILVA *et al.*, 2012). E confere a palma forrageira grande diferencial se confrontada com outras plantas que também se adaptam ao semiárido, como, o capim-*buffel* (*Cenchrus ciliaris* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (MACEDO, 2018).

Alimentar os ruminantes em épocas de seca incluindo a palma forrageira na dieta dos animais, supre grande parte da água necessária do corpo. A esse respeito, Lima (2013) verificaram o desempenho de vacas leiteiras mestiças alimentadas com níveis de substituição do milho pelas cultivares Miúda e Gigante e concluíram que a medida que havia o aumento da proporção da palma forrageira na dieta dos animais, eles reduziam aos poucos a ingestão de água, sem comprometer a produção de leite.

No Nordeste do Brasil são cultivadas, principalmente, duas espécies de palma forrageira, a *Opuntia ficus-indica* Mill, com as cultivares Gigante e Redonda e a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, cultivar Miúda ou Doce. Essas cultivares têm contribuído expressivamente para a alimentação dos rebanhos nos períodos de secas prolongadas, como fonte energética, já que podem possuir de 70 a 75% de nutrientes digestíveis totais (NDT) (SANTOS *et al.*, 2006).

3.2 Características morfológicas da palma forrageira

As características morfológicas da palma forrageira podem influenciar a fisiologia da planta e, conseqüentemente, a produtividade da cultura. Logo, o número e área de cladódios, bem como altura e largura da planta, exibem correlação positiva, de forma direta ou indireta, para produção de biomassa (REIS FILHO,

2020). Para avaliar essas características tem se usado uma ferramenta empregada em estudos sobre ecofisiologia de plantas forrageiras, chamada morfogênese (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010).

A palma forrageira como a maioria das cactáceas possui o aparelho fotossintético situado nos cladódios, pois essa planta não possui folhas e o processo fotossintético realiza fixação do CO₂ à noite (AMORIM, 2015). Ao contrário de outras plantas xerófilas, as cactáceas possuem o sistema radicular superficial, que em condições normais, possuem a penetração máxima de 30 cm. Entretanto, exploram quase toda a porção superficial do solo, absorvendo bastante a água das chuvas (AMORIM, 2015). Outra vantagem referente a adaptação da palma forrageira é possuir o caule na forma de cladódio, com alto conteúdo hídrico e uma baixa densidade estomática, sendo de 2.500 a 3.000 estômatos por cm², 10 vezes menor que uma planta C3 (ROCHA, 2016).

Os cladódios são cobertos por uma cutícula que minimiza a transpiração, potencializando o armazenamento de água em até 93% (SILVA; SANTOS, 2007). O parênquima esponjoso da palma forrageira é responsável pelo fornecimento de água para o clorênquima, deixando-o hidratado, onde se encontra o aparato fotossintético, que permite a fotossíntese mesmo em condições de estresse hídrico duradouro (ROCHA, 2016).

Nas primeiras semanas de seca as mudanças da palma forrageira são mínimas, pois a capacidade de armazenar água nos cladódios e as baixas imposições hídricas essenciais do metabolismo ácidos das crassuláceas a torna tolerante as estiagens de longa duração (ROCHA, 2016). No período da seca, pode ocorrer uma pequena perda do CO₂, que somente se torna visível após dois meses, devido a respiração se tornar maior que à fotossíntese líquida. A palma forrageira consegue sustentar sua fotossíntese máxima até 15 dias após acabar a provisão de água do solo e em seguida mantém taxas decrescentes de fotossíntese, com períodos de abertura de estômatos cada vez mais reduzidas. Períodos esses que dependerão da temperatura e da umidade relativa do ar, em especial à noite (ROCHA, 2016).

A palma forrageira possui uma eficiência no uso da água de até 11 vezes se comparadas com plantas de mecanismo C3 (ALVES *et al.*, 2007). É importante salientar que a palma forrageira tem eficiência elevada no uso da água, e o aproveitamento deste recurso natural fundamental para o semiárido é inferior ao

usado para outras culturas forrageiras, permitindo maior produtividade de forragem com menor uso hídrico.

3.3 Espécies de palma forrageira

Muito embora existam 2.000 espécies de palma forrageira pertencentes a 178 gêneros, dois destes *Opuntia* e *Nopalea* são os mais empregados como forragem. E as espécies - *Opuntia ficus-indica* Mill (Gigante) e a *Nopalea cochenilifera* (L.) Salm Dyck (Miúda) são as mais cultivadas (MARQUES *et al.*, 2017).

3.3.1 'Gigante' (*Opuntia ficus-indica*)

A palma forrageira 'Gigante' (*Opuntia ficus-indica*) é denominada como graúda, azeda ou santa e tem como características: tamanho arborescente com 3 a 5 m de altura, coroa larga, glabra, de 60 a 150 cm de largura do caule, raquetes ovaladas com 30 a 60 cm de comprimento, 20 a 40 cm de largura e 1,9 a 2,8 cm de espessura. As flores são laranjas ou amarelas de 7 a 9 cm de comprimento. O pericarpo é de 2 a 2,5 vezes mais comprido do que o perianto. O fruto é doce, suculento e comestível. Possui de 5 a 10 cm de comprimento e 4 a 8 cm de largura. Sua coloração varia entre amarela, laranja e vermelha com muita polpa e casca fina. As sementes são ovaladas e discoides com 3 a 4 mm de diâmetro (GALVÃO JUNIOR *et al.*, 2014) (FIGURA 1).

Figura 1. Palma forrageira cv. Gigante.



Fonte: Do autor, 2020.

A Gigante é inferior na produção de cladódios quando comparada a Orelha de Elefante, apesar das duas possuírem alta produtividade. Se comparada a cultivar Miúda, que possui baixa tolerância a períodos de seca (ROCHA, 2016), e alta resistência a Cochonilha do Carmim (MARQUES *et al.*, 2017) mas ainda assim possui produtividade inferior a essa cultivar (SILVA *et al.*, 2014). A cultivar Gigante é mais resistente aos períodos de seca e à praga Cochonilha de Escamas (FARIAS *et al.*, 2005), apesar de ser sensível à Cochonilha do Carmim (NEVES *et al.*, 2010).

A produção da palma forrageira Gigante tem sua devida importância no planejamento de pequenos e médios produtores, em especial ao se tratar de áreas que apresentam climas adversos e condições ambientais, como o semiárido brasileiro (SAB). Essa planta é fonte energética na nutrição de ruminantes. Todavia, essa cultura necessita de ferramentas tecnológicas para gerar melhor rendimento, que minimiza riscos de manutenção de rebanhos de gado no período da seca (GUIMARÃES *et al.*, 2019).

3.3.2 ‘Miúda’ ou ‘Doce’ (*Nopalea Cochenilifera*)

A palma forrageira cultivar Miúda também conhecida como doce possui porte pequeno e caule ramificado. Comparada à ‘Gigante’ é a mais nutritiva pois apresenta alto teor de matéria mineral e carboidratos totais (SILVA; SANTOS, 2007) e possui maior produção de massa verde e seca (SILVA *et al.*, 2014). Apesar de possuir valores nutricionais relevantes, ser resistente à *Cochonilha do Carmin*, é pouco resistente à seca (NEVES *et al.*, 2010), a palma Miúda é mais exigente em fertilidade de solo e também sensível a cochonilha de escama (GALVÃO JUNIOR, 2014). É exigente quanto a fertilidade e umidade, além de necessitar de temperatura noturna mais amena. Logo, a cultivar Miúda se comparada as demais cultivares Gigante e Orelha de elefante (OE), é imprópria para o sertão (ALBUQUERQUE, 2000).

A palma forrageira cv. Miúda possui porte pequeno e caule bastante ramificado; as raquetes são pequenas, mas numerosas, pesando aproximadamente 350 g, e quase 25 cm de comprimento, intensamente obovada, ou seja, com ápice mais largo que a base, e coloração verde intenso brilhante. As flores são vermelhas e sua corola continua meio fechada durante o ciclo. O fruto é uma baga de coloração roxa (GALVÃO JUNIOR, 2014) (FIGURA 2).

Figura 2 - Palma forrageira Miúda



Fonte: Do autor, 2020.

Quanto à produtividade de massa verde, a cultivar miúda é inferior às cultivares Gigante e Redonda. Entretanto, quando essa produção é transformada em matéria seca se equivalem, pois a 'Miúda' tem mais matéria seca que as demais. Ao ser comparada com a *Opuntia*, apresenta-se como de maior valor nutricional e maior adaptabilidade pelo gado, mas é pouco resistente aos períodos de seca (SANTOS *et al.*, 2006).

3.3.3 'Orelha de elefante' (*Opuntia* Spp.)

A Orelha de Elefante (OE) é um clone importado do México e da África e desenvolve muito bem em solos de baixa fertilidade, além de possuir alta produtividade e a resistência à Cochonilha do Carmin¹, praga que gera grande impacto econômico e produtivo (GALVÃO JUNIOR *et al.*, 2014). Possui sistema de raízes superficiais e carnosas, distribuídas de forma horizontal, a depender do tipo de solo e do manejo da plantação. Estando em condições adequadas de solo essa planta amplia a raiz com penetração de aproximadamente 30 cm, uma dispersão de 4,0 a 8,0 m no solo, e na seca desenvolve raízes laterais carnosas a partir da raiz principal para absorver água em níveis baixos (SANTOS *et al.*, 2017). Para que não haja perda de água em solo seco, as raízes se cobrem com uma camada

¹ Cochonilha do Carmin que é um inseto que se alimenta da seiva das plantas, podendo introduzir vírus ou toxinas que as deixam amarelas e murchas, e no caso da palma forrageira pode destruí-la em poucos meses se não for combatida rapidamente (EMBRAPA, 2020).

moderadamente impermeável em água, ou então, caem constituindo uma camada de cicatrização (FIGURA 3).

Figura 3 - Palma forrageira Orelha de elefante



Fonte: Do autor, 2020.

Os espinhos presentes na OE dificultam o manejo desta cultura como forrageira. Contudo, Neves *et al.* (2010) advertiram que mesmo sendo o espinho indesejável na alimentação animal, serve como redutor de temperatura do caule durante o dia. Isto proporciona maior tolerância a seca. Segundo Rocha (2016), para facilitar o manejo e fornecimento da palma forrageira aos animais, tem sido adotado sua queima após ser cortada, para que sejam eliminados os espinhos.

3.3.4 'Ipa sertânia' (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck)

A IPA Sertânia é também conhecida como mão de moça, palma baiana ou palmepa-PB1, é uma planta de crescimento vertical (FIGURA 4).

Figura 4 - Palma IPA Sertânia



Fonte: Do autor, 2020.

A IPA Sertânia é superior a OE quanto ao teor de proteína bruta e potássio em estudos experimentais. E, possui maior número de cladódios primários que a OE. Quanto às patologias, não há alteração expressiva entre as médias das notas atribuídas, ocorrendo somente infestação por podridão mole. As características agronômicas do clone IPA Sertânia são superiores a OE, mas isso não faz com que seja a escolhida pelos produtores devido a sua baixa resistência ao déficit hídrico. Apesar de possuir boa produtividade, e ser rica em carboidratos, essa cultivar possui pouca resistência à seca quando comparada a palma forrageira Gigante, mas é resistente à cochonilha-do-carmim (SENAR, 2018).

3.4 A influência dos cortes na produtividade da palma

Estudos como de Santos *et al.* (2011), Amorim (2015), Queiroz *et al.* (2015), Rocha, Voltolini e Gava (2017), dentre outros, comprovaram que o corte da palma exerce influência sobre a sua produtividade.

O clone OE ao ser submetido ao corte aos dois anos, mantendo-se os cladódios primários sob condições de sequeiro, obtiveram produtividade de aproximadamente 55 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹, de acordo com Santos *et al.* (2011).

As dimensões dos cladódios, em especial o comprimento e a largura, são

descritos por fatores genotípicos, com a baixa influência do meio ambiente. Entretanto, o manejo adequado da cultura possibilita o aumento da espessura do cladódio, o que reflete no incremento da produtividade. Várias pesquisas revelam a ampla variabilidade da espessura do cladódio, tendo como base o fato deste descritor variar ao longo do comprimento do cladódio, embora a região mais espessa ou central do cladódio é considerada referência para a mensuração. Além do mais, a espessura do cladódio, como é conexas à aptidão fotossintética e armazenamento de água, é muito influenciado pelo crescimento e estágio vegetativo da cultura (GUIMARÃES *et al.*, 2019).

Outros fatores podem influenciar as variações na produtividade da palma forrageira, como plantas daninhas, manejo da fertilidade do solo, densidade e espaçamento de plantio, frequência de colheita, bem como a intensidade do corte que pode influenciar o desenvolvimento morfológico da palma forrageira OE nas variáveis altura e largura da planta, número de cladódios, comprimento e largura dos cladódios secundários e terciários (AMORIM, 2015).

No intervalo entre cortes de 12 meses com a palma forrageira OE no município de Serra Talhada/PE, Queiroz *et al.* (2015) relataram produtividade de 9,15 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹ em população de cultivo de 15.625 plantas ha⁻¹. Além disso, quando a prática do corte foi associada à aplicação de lâmina complementar à precipitação, com 976 mm em um ciclo de 380 dias após o corte, os autores observaram acréscimo na produtividade, com 135,43 t de MV ha⁻¹.

Ao fazer uso de uma lâmina de 16,4 mm a cada 15 dias, atingiram uma produtividade média de 208,88 t de MV ha⁻¹ para a OE, e 20,07 t de MS ha⁻¹ com cortes efetivados a cada quatro meses, durante o intervalo de um ano após o plantio. Contudo, é preciso levar em conta que os pesquisadores utilizaram uma população de 50.000 plantas ha⁻¹, o que favoreceu valores maiores (ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017).

3.5 A produção de forragem no semiárido brasileiro

O semiárido brasileiro ocupa cerca de 1.128.697 km² de extensão da região Nordeste, e abrange 969.589,4 km². Grande parte da população desta região reside na zona rural tendo uma das principais atividades a pecuária (SILVA *et al.*, 2020).

O semiárido brasileiro compreende a composição de unidades geoambientais,

onde identifica-se vegetação variada de caatinga e cerrado, expondo irregularidade de chuvas e altas taxas de evapotranspiração (LIRA; FARIAS; SANTOS, 1990).

Temperaturas ambientais elevadas são verificadas durante grande parte do ano na região Nordeste. A precipitação média anual da região semiárida é de 700 mm, temperatura do ar normalmente acima dos 20 °C, temperatura máxima acima dos 30 °C em boa parte do ano, alcançando muitas vezes os 38 °C na estação mais quente. É conhecido por apresentar clima tropical seco, uma vez que possui uma estação úmida ou chuvosa anual de 4 a 6 meses, seguida por uma estação seca com até oito meses de duração (SOUZA, 2020). Possui ainda uma demanda evapotranspirométrica de 2.000 mm ano⁻¹, umidade relativa média do ar em torno de 50%, índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual de déficit hídrico anual igual ou superior a 60% (SILVA *et al.*, 2021).

O semiárido possui uma rica diversidade de áreas naturais compostas por topografias, solos, precipitações e pluriatividades distintas (SOUZA, 2020). Das variadas plantas que existem nestas áreas, as cactáceas são as mais importantes, por ser de fácil adaptação à escassez de água, o que admite perenidade em ambientes algumas vezes de extrema condição de aridez (ARAÚJO *et al.*, 2004).

Com isso, os produtores rurais encontram desafios em definir e adotar sistemas de produção sustentável, em uma região onde a vegetação da caatinga é a principal fonte de alimentação dos rebanhos, porém com baixa capacidade de suporte (PEREIRA *et al.*, 2008). Desse modo, as regiões áridas e semiáridas necessitam de plantas que se adequem a esse ambiente e que promova sistemas agrícolas sustentáveis (ARAÚJO *et al.*, 2004).

3.5.1 Dificuldades de produção de forragem no semiárido

A produção de forragem na região semiárida é afetada pelas chuvas irregulares e insuficientes (FERREIRA *et al.*, 2009). Como resultado ocorre variação na quantidade de forragem no decorrer do ano, o que limita o aporte de alimento para os rebanhos e o desempenho produtivo. A qualidade da forragem é baixa, decorrente ao elevado processo de lignificação da parede celular das plantas (PEREIRA *et al.*, 2008).

As cultivares de forragem cultivadas na caatinga, de forma exclusiva, não possuem resistência aos períodos de veranico e déficit hídrico. A explicação é que a

região da Caatinga oferece em média 4 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹ de massa de forragem, porém, deste montante, apenas uma parte da forragem é para o consumo dos animais e o restante é destinado ao uso ou consumo humano. A variação da produção da forragem ocorre devido fatores ambientais, como a estação do ano, chuvosa ou seca e de fatores antrópicos, em especial quanto à forma e a intensidade de uso dos recursos forrageiros (ROCHA, 2016).

Em se tratando de suporte forrageiro, algumas alternativas podem ser utilizadas para dar aporte alimentar aos rebanhos, a exemplo de plantas forrageiras xerófilas. A palma forrageira como fonte alimentar deve ser fornecida aos animais balanceada com fontes de fibras (DUARTE, 2001). Além disso, o consumo de palma forrageira reduz a ingestão hídrica pelo animal, pois se trata de um alimento com elevado teor de umidade (VIEIRA, 2006). Reconhecendo o aproveitamento do cultivo da palma forrageira em áreas com déficit hídrico, a busca por melhorias no manejo e na identificação de cultivares resistentes têm sido constantes. Contudo, já se sabe que alguns desafios deverão ser transpostos, caso o cultivo alcance largas escalas. Nesse caso, a previsão é o aumento da área plantada associado a um bom manejo dos palmais (ROCHA, 2016).

Outro entrave para a expansão da cultura da palma são os ataques de pragas, em especial da cochonilha de escamas (*Diaspis echinocacte*) e do Carmin (*Dactylopius sp*), que dizimam a produção e inviabilizam muitos cultivos. A saída é controlar de forma mecânica, química, biológica ou genética (WARUMBY *et al.*, 2005). Estudos têm obtido resultados na área da genética a fim de encontrar clones resistentes às principais pragas supracitadas (LOPES *et al.*, 2010).

3.5.2 A palma forrageira como opção de planta no semiárido

Destacando-se pelos excelentes padrões de mecanismos fisiológicos que atendem as condições ecológicas das zonas áridas e semiáridas do mundo, a palma forrageira também possui alto potencial de produção de forragem por unidade de área (SAMPAIO *et al.*, 2005).

A palma exerce na agropecuária da semiárido grande importância, e por esse motivo, diversas técnicas de manejo, plantio e colheita, têm sido conduzidas a fim de aumentar a produtividade das variedades. A palma é descrita como uma reserva estratégica de forragem e, por esse motivo, a constância de corte é em

conformidade com a necessidade do produtor e das condições climáticas de cada região dentro do semiárido (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2009).

Estudo realizado na região semiárida do Estado da Bahia, demonstrou ser possível a colheita da palma forrageira efetivada em intervalos de um a três anos ou quando necessária, ou seja, sob dependência do período de estiagem e da insuficiência de forragem para os rebanhos (ALMEIDA, 2011).

A colheita da palma forrageira normalmente é executada a cada dois anos, sobretudo, com a preservação de expressiva área de cladódio residual, o que assegura maior conteúdo de reserva e maior número de gemas de brotação, com isso a rebrota é reforçada e assegura maior longevidade à planta (SANTOS *et al.*, 2010).

As plantas normalmente necessitam de adubação e não é diferente com a palma forrageira, tornando-se fator decisivo na produção de matéria verde. Nesse caso, quando se trata de plantio de palma adensado exige-se maior cuidado, onde a produção de matéria seca aumenta em torno de 80% se comparada com o cultivo tradicional (SILVA; SANTOS, 2007). A fertilidade é um ponto essencial para ser observado, mas os solos também devem ter boa drenagem, já que a palma forrageira não suporta ambientes encharcados (SANTOS *et al.*, 2006). Ao serem avaliados os indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes, a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana e a IPA Sertânia se destacaram em relação à eficiência do uso da água considerando a produção de matéria fresca. Entretanto, essas mesmas variedades exibiram quanto à matéria seca, a mesma eficiência de uso da água, tanto em termos de água precipitada quanto de água evapotranspirada (SILVA *et al.*, 2014). Fundamental ressaltar que o volume de matéria seca colhida dependerá de diferentes fatores de manejo e conforme o nível de adubação e número de colheitas.

Conhecer a exigência nutricional da palma forrageira é essencial, uma vez que a produção colhida é toda exportada, e se, não houver reposição dos nutrientes, com o tempo haverá queda de produtividade e com isso prejuízos para o sistema. Dentre os nutrientes do solo que aparentam exercer maior efeito sobre o desempenho das cactáceas são N, P, K, B e Ca (NASCIMENTO *et al.*, 2020). Fato é que a adubação possui como estratégia essencial de manejo para elevar a eficiência de produção de forragem. A palma forrageira extrai cerca de 360 kg de N, 64 kg de P, 1.032 kg de K e 940 kg de Ca, por hectare a cada dois anos, sem considerar os

outros macros e micronutrientes (DUBEUX JUNIOR *et al.*, 2010). Nesse caso, se não houver reposição de nutrientes via adubação decairá a produtividade e qualidade da forragem. Demonstrou-se por essa via que o nível de adubação é fator determinante na produtividade do palmal (TELES *et al.*, 2002).

Em relação ao adensamento do plantio, análises demonstraram que a produção foi incrementada, porém, a composição químico-bromatológica não teve influência significativa dos espaçamentos. A conclusão dos pesquisadores foi de que o plantio adensado gerou o crescimento da produtividade de MV e MS de cinco cultivares de *Opuntia ficus-indica* (RAMOS *et al.*, 2011). Outros pesquisadores como Oliveira *et al.* (2010) e Nascimento *et al.* (2011) também encontraram resultados em que nas maiores populações ocorre maior rendimento de massa verde. Oliveira *et al.* (2010) compreenderam que a quantidade de cladódios por planta foi superior na menor densidade de plantio, em reação à maior superfície de solo utilizada. Já a palma adensada tem mais plantas por unidade de área. Desse modo, o número de cladódios por área é superior nas parcelas com número elevado de plantas.

Nascimento *et al.* (2011) verificaram em seus estudos que o desenvolvimento da palma forrageira possui influência da densidade de plantio, com tendência à redução de número, tamanho, forma e massa dos cladódios. Nesse mesmo trabalho, os autores verificaram que não houve associação entre genótipos e densidades de cultivo, para produtividade e massa de cladódio. Frente ao número reduzido de cladódios por planta, as palmas Gigante e Redonda exibiram caules mais pesados, quando comparadas com a palma Miúda. Por sua vez, a palma Miúda apresentou cladódios mais leves, pois carece de disseminar os nutrientes para uma maior quantidade de caules (NASCIMENTO *et al.*, 2011).

No intuito de gerar maior produtividade, os produtores rurais do semiárido, utilizam como estratégia para o encurtamento do período de seca a irrigação. Para o bom manejo de irrigação deve ser considerado o processo de evapotranspiração, bem como a resposta das plantas as variadas condições de disponibilidade de água no solo, conforme a espécie, fases fenológicas, clima, solo, técnicas de manejo, sistemas de produção e época do ano (LÓPEZ-URREA *et al.*, 2009).

Muito embora a palma se adapte bem as regiões semiáridas, ainda assim, as condições climatológicas locais exercem uma forte influência no seu desenvolvimento. Logo, se o déficit hídrico gerar redução de água, resultará em perda de turgescência, fechamento dos estômatos, baixo crescimento e por

consequente, abatimento na produção final (FERREIRA *et al.*, 2009).

Ao serem comparadas algumas variedades de palma forrageira quanto a eficiência do uso da água, Silva *et al.* (2014) verificaram que o rendimento da OE em condições de sequeiro foi maior do que a IPA Sertânia, segunda mais produtiva, seguida da 'Miúda'. Logo, a OE adapta-se satisfatoriamente às condições de semiárido, pois, produz maior biomassa mesmo com déficit hídrico. O mesmo desempenho não foi verificado na 'Miúda' que, mesmo com dados de extração de água no solo iguais à OE, apresentou rendimento menor (SILVA *et al.*, 2014).

3.6 Manejo de corte na palma forrageira

Para o manejo correto de algumas plantas, bem como da palma forrageira é necessário identificar a sua relação fonte/dreno. A fonte é o local da planta em que são produzidos os produtos fotossintéticos, pelas folhas completamente desenvolvidas. Já os drenos são os locais de reservas das plantas, podendo funcionar como fonte a depender do desenvolvimento da planta (VIEIRA *et al.*, 2010). Em algumas culturas o raleio ou a poda é realizado com o intuito de aumentar a produção e reduzir a competição entre os órgãos da planta (CRUZ *et al.*, 2009). A poda ainda quando realizada de forma adequada pode maximizar o crescimento vegetativo e estimular a indução floral (RAMOS *et al.*, 2018).

Para a palma forrageira, Santos *et al.* (2021) recomendaram dois momentos para o corte de cladódios, no início do ciclo, quando a palma possuir até o 3º cladódio basal. Nesse estágio de desenvolvimento os autores indicaram o corte do 3º cladódio. No segundo momento do corte recomendaram que metade dos cladódios fossem retirados deixando na planta os cladódios mais vigorosos, esse manejo foi indicado para as cultivares Orelha de elefante e Miúda em Pernambuco.

Cavalcante *et al.* (2017) reforçaram que a permanência de cladódio mais antigos (de primeira ordem) permitem maior área fotossintética e maior capacidade regenerativa quando comparada a cladódios secundários. Para a cultivar OE é indicado a retirada dos cladódios de primeira ordem com intensidade moderada permitiu que a planta concentrasse maior massa seca (PEREIRA *et al.*, 2020). Santos *et al.* (2010) também recomendaram que a colheita da palma forrageira seja realizada a cada dois anos, para que se mantenha a preservação de expressiva área de cladódio residual. O que assegura maior conteúdo de reserva e maior

número de gemas de brotação, com isso a rebrota é reforçada e garante maior longevidade à planta. A cultivar Gigante, apresentou melhores características morfológicas quando em manejo de corte em menor intensidade (LIMA *et al.* 2016). Já para as cultivares OE e Miúda, Siqueira (2021) observaram que o melhor manejo de corte foi o que preservava os cladódios de segunda ordem pois preservou as características morfogênicas e bromatológicas.

A combinação do adequado manejo de corte/colheita dos cladódios é de grande importância e é estimulado a ser definido para as cultivares mais usadas de palma forrageira. Assim como a combinação desse manejo com o manejo de irrigação, já que a irrigação quando usada em associação pode aumentar a matéria seca (SANTOS *et al.*, 2021). Rocha, Voltolini e Gava (2017) observaram que os intervalos de corte influenciaram as características estruturais, como altura e produtividade de acordo com os genótipos de palma forrageira.

3.7 Estimação de produtividade na palma forrageira

Apesar da expressiva produção de cultivares de palma forrageira no Brasil, a produção de cladódios é inferior à de outros países (MARQUES *et al.*, 2017). Fatores limitantes são observados e pesquisados com o intuito de aumentar o rendimento de massa seca dessas plantas (DANTAS; LIMA; MOTA, 2017). Devido as espécies de cactos possuírem muitos espinhos e serem cultivadas em pleno solo a ergonomia do trabalho é dificultada. Alguns autores, como Guimarães *et al.* (2019) e Dantas, Lima e Mota (2017) estudaram o tamanho ideal de parcelas experimentais para assegurar o rigor estatístico acerca da análise das características morfológicas e o efeito de tratamento em ensaios com a palma forrageira Gigante.

A obtenção de características de produção como altura, área fotossintética, número de cladódios, massa fresca e seca são importantes para que seja possível estimar a produção e rendimento da palma forrageira, após cada corte. Guimarães *et al.* (2018) utilizaram redes neurais para a predição de produtividade da palma forrageira cultivar Gigante e verificaram eficiência quando utilizaram as redes neurais do tipo Perceptron multicamadas. As variáveis morfométricas como número de cladódios totais, espessura, comprimento e área do cladódio proporcionaram maior contribuição na predição de produtividade da cultivar Gigante (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

Bertolin *et al.* (2017) utilizaram de imagens de satélites para prever a produtividade de milho, e destacaram a facilidade na predição de produtividade desse grão, com processamento quase em tempo real. O uso de análise de imagens tem sido usado de forma eficiente para a avaliação de características de interesse agrônomo (BALLESTER *et al.*, 2017; SWETHA *et al.*, 2020), principalmente quando há correlação direta das características morfológicas com o número de pixels obtidos (PRILIANI *et al.*, 2019). Logo, imagens digitais automatizadas podem ser usadas para estimar a produtividade e biomassa associado à necessidade de métodos rápidos, precisos e não destrutivos (PRILIANI *et al.*, 2019). Contudo, o uso de equipamentos de baixo custo para a obtenção dessas imagens é importante para que pequenos produtores possam aproveitar de predições de produção com maior facilidade e a baixo custo operacional e, com isso, favorecer a tomada de decisão nas práticas de manejo do palmar.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, S. G. **Cultivo da palma forrageira no Sertão do São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semiárido, Comunicado Técnico 91, 6p. 2000.
- ALMEIDA, J. **A palma forrageira na região semiárida do estado da Bahia: diagnóstico, crescimento e produtividade**. 2011. 95f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas – BA, 2011.
- ALMEIDA, R. F. Palma Forrageira na Alimentação de Ovinos e Caprinos no Semiárido Brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n, 4, p. 08-14, 2012.
- ALVES, J. N. *et al.* Feno de erva-sal (*Atriplex nummularia Lindl.*) e palma forrageira (*Opuntia ficus Mill*) em dietas para caprinos e ovinos. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 9, n. 1, p. 43-52, 2007.
- AMORIM, S. O. **Características morfológicas e produtivas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes densidades de plantio e intensidades de corte no semiárido pernambucano**. 56 fls, 2015 Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2015.
- ARAÚJO, G. G. L. *et al.* As forrageiras nativas como base da sustentabilidade da pecuária do semiárido. In: III Congresso Nordestino de Produção Animal. IX Simpósio Nordestino de Alimentação de Ruminantes, 9., SIMPÓSIO PARAIBANO DE ZOOTECNIA, 4., Campina Grande-PB. **Anais...** 2004.
- BALLESTER, C. *et al.* Assessment of inseason cotton nitrogen status and lint yield prediction from unmanned aerial system imagery. **Remote Sens**. v. 9, n. 11, p.1149, 2017.
- BERTOLIN, N. O. *et al.* Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1627, 2017.
- BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chem**. v. 241, n. 1, p. 127-134, 2018.
- CAVALCANTE, J. M. M. *et al.* Desenvolvimento inicial de brotações com uso de 1/2 e 1/6 do cladódio na propagação da palma forrageira *Nopalea cochenillifera* var. miúda. **PUBVET**, v. 11, p. 744-839, 2017.
- CRUZ, M. D. C. M. D. *et al.* Qualidade de frutas de tangerineira 'Ponkan' submetidas ao raleio químico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p. 127-134, 2009.
- DANTAS, S. F. A., LIMA, G. F. C., MOTA, E. P. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista iPecege**, v.

3, n. 1, p. 59-74, 2017. doi: 10.22167/r.ipecege.2017.1.59

DONATO, P. E. R. *et al.* Morfometria e rendimento da palma forrageira “Gigante” sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014.

DUARTE, R. S. Dois modelos para a convivência do produtor rural com o ambiente do semiárido nordestino. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 33, n. 1, p. 8-35, 2001.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. *et al.* Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B. Estabelecimento e manejo de palma forrageira. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (eds). **A Palma no Nordeste do Brasil conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 2. ed. Recife: ed universitária da UFPE. 2005, p. 81- 103.

FERRAZ, R. L. S. *et al.* Estimation of productivity gain by irrigated and fertilized forage palm plants (*Opuntia ficus-indica*(L.) Mill. and *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck): systematic review and meta-analysis. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 11, p. 1873-1882, 2019.

FERREIRA, A. L. *et al.* Produção e valor nutritivo da parte aérea da mandioca, maniçoba e pornunça. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v. 10, n. 1, p. 129-136, 2009.

GALVÃO JÚNIOR, J. G. B. *et al.* Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014.

GUIMARÃES, B. V. C. *et al.* Prediction of ‘Gigante’cactus pear yield by morphological characters and artificial neural networks. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 315-319, 2018.

GUIMARÃES, B. V. C. *et al.* Methods for estimating optimum plot size for ‘Gigante’cactus pear. **Journal of Agricultural Science**, 2019.

GUIMARÃES, Bruno Vinícius Castro *et al.* Optimal plot size for experimental trials with *Opuntia* cactus pear. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 42, p. e42579-e42579, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e estados do Brasil**. Brasília – DF: IBGE, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados meteorológicos de estações automáticas**. Brasília – DF: INMET, 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

LIMA, N. C. **Avaliação de Unidades Demonstrativas de Palma Forrageira**

(*Nopalea E Opuntia*) no Estado de Pernambuco. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2013.

LIRA, M. de A., FARIAS, I., SANTOS, M. V. F. Alimentação de bovinos no nordeste - Experimentação com forrageiras e pastagens. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 3, 1990, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 1990, p. 108-133.

LIMA, G. F. C., *et al.* Morphological characteristics and forage yield of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, 2016.

LOPES, E. B. *et al.* Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) resistentes a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 204 -2 15, 2010.

LOPES, L. *et al.* Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **PUBVET**, v. 13, p. 170, 2019.

LÓPEZ-URREA, R. *et al.* Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 1031-1036, 2009.

MACEDO, A. J. S. **Caracterização agrônômica de genótipos de palma e avaliação de silagem na forma de ração a base de palma forrageira e capim-buffel.** 2018. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2018.

MARQUES, O. F. C. *et al.* Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

NASCIMENTO, J. P. *et al.* Caracterização morfométrica de *Opuntia ficusindica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, n. 3, p. 21-26, 2011.

NASCIMENTO, S. M. *et al.* Aspectos gerais da palma forrageira e alternativas de manejo: uma associação hidrogel agrícola e da adubação foliar. **Revista Nutri Time**, v. 17, n. 2, 2020.

NEDER, D. G. *et al.* Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, p. 203–207, 2013.

NEVES, A. L. A. *et al.* **Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos no semiárido brasileiro.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 7 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 62).

NOVA, S. R. M. V. **Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*): prospecção das tecnologias e potencialidades de inovação.** 2018. 221 f. Dissertação (Mestrado em Propriedade Intelectual) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química

e Biotecnologia. Maceió, 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, S. *et al.* Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido Paraibano. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v. 3, n. 1, p. 7-12, 2009.

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

PEREIRA, M. C. A. *et al.* Production of forage palm cultivars (Orelha de Elefante Mexicana, IPA-Sertania and Miuda) under different salinity levels in irrigation water. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 7, p. 977 – 982, 2021.

PEREIRA, J. D. S. *et al.* Morphological and yield responses of spineless cactus Orelha de Elefante Mexicana under different cutting intensities. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 21, p. 1-10, 2020.

PEREIRA, L. G. R. *et al.* **Manejo Nutricional de Ovinos e Caprinos em Regiões Semiáridas**, Embrapa, 2008.

PRILIANTI, K. R. *et al.* Performance Comparison of the Convolutional Neural Network Optimizer for Photosynthetic Pigments Prediction on Plant Digital Image. **Proceedings of the Symposium on BioMathematics (SYMOMATH) 2018**. AIP Conference Proceedings 2084, 2019.

QUEIROZ, M. G. *et al.* Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.

RAMOS, J. P. F. *et al.* Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 41-48, 2011.

RAMOS, J. D. *et al.* Desponte de Cladódios de Pitaia Vermelha de Polpa Branca. **UNICIÊNCIAS**, v. 22, p. 8-11, 2018.

REIS FILHO, R. J. C. **Produtividade da palma forrageira cv. orelha de elefante mexicana sob diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte**. 2020. 113 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017.

ROCHA, R. S. **Caracterização estrutural e produtividade de genótipos da palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte**. 2016. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2016.

SAMPAIO, E. V. S. *et al.* Produtividade de palma em propriedades rurais. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A palma no Nordeste**

do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. UFPE: Recife, 2005.

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

SANTOS, D. C. *et al.* Genótipos de Palma Forrageira para Áreas Atacadas pela Cochonilha do Carmim no Sertão Pernambucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6, 2011, Búzios. **Anais...**Búzios: SBMP, 2011. CD-ROM

SANTOS, D. C. *et al.* **Manejo e utilização da palma forrageira** (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2006. 48p. (Documentos, 30).

SANTOS, M V. F. *et al.* Palma forrageira In: **Plantas forrageiras**. 1 ed. Viçosa: UFV, v. único, p. 459-493, 2010.

SANTOS, E. A. V. Biometria da palma forrageira orelha de elefante (*Opuntia stricta*) cultivada com rejeito de mica e outros compostos orgânicos. In: Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 2., COINTER – PDVAgro, **Anais...** 2017.

SANTOS, J. P. A. S.J. P. A. S. *et al.* Técnicas de manejo sustentável para o aporte forrageiro da agricultura familiar no semiárido brasileiro: palma forrageira, irrigação e fondren. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 3910-3931, 2021.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). **Palma forrageira:** cultivo de palma forrageira no semiárido brasileiro. 3. ed. Brasília: SENAR, 2018.

SILVA, C. C. F; SANTOS, L. C. Palma Forrageira (*Opuntia Ficus* - Indica Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Electrónica de Veterinaria REDVET**. Vol. VIII, Nº 5, mai/2007.

SILVA, J. A. *et al.* Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 866-875, 2012.

SILVA, L. M. *et al.* Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 2064-2071, 2014.

SILVA, T. G. F. *et al.* Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Agrometeorologia Bragantia**, v. 73, n. 2, p.184-191, 2014.

SILVA, P. F. *et al.* Water and nitrogen water use efficiency in forage palm irrigated with salt water in the Neossolo. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 4, p. 683-690, 2020.

SIQUEIRA, J. V. G. **Variedades de palma forrageira irrigadas com efluente de esgoto tratado e com diferentes manejos de corte**. 2021. 96 f. Dissertação de mestrado (Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade

Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina, 2021.

SOUZA, F. M. C. **Dinâmica da produção de palma forrageira no Cariri Ocidental Paraibano**. 2020. 27 f. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba –UFBA, 2017.

SWETHA, R.K. *et al.* Predicting soil texture from smartphone-captured digital images and an application. **Geoderma**, v. 376, n. 15, 2020, 114562

TELES, M. M. *et al.* Efeitos da Adubação e de Nematicida no Crescimento e na Produção da Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. 'Gigante'. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 52-60, 2002.

VIEIRA, E. L., *et al.* **Manual de fisiologia vegetal**. Edufma: São Luís-MA, 2010.

VIEIRA, E. L. **Adição de fibras em dietas contendo palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) para caprinos**, 2006. 65f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB.

VOLPE, M.; GOLDFARB, J. L.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technol.** v. 247, n. 1, p. 310-318, 2018.

WARUMBY, J. F. *et al.* **A palma no Nordeste do Brasil**. 1.ed. Recife: UFPE; Editora Universitária, 2005. p. 65-80.

4 ARTIGOS

4.1 Artigo I. Desempenho agrônômico de quatro variedades de palma forrageira com diferentes manejos de corte no norte de Minas Gerais

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi.

RESUMO

O manejo de colheita da palma forrageira deve ser realizado respeitando intervalos de corte pois há influência nas suas características estruturais. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico de quatro variedades de palma forrageira sob diferentes manejos de corte em condições de sequeiro no norte de Minas Gerais. O experimento foi em delineamento em blocos, em fatorial 4 x 4, com quatro repetições. O primeiro fator consistiu das quatro cultivares de palma forrageira (Gigante, Miúda, Orelha de elefante e IPA Sertânia). E o segundo fator os quatro manejos de colheitas dos cladódios: Manejo C9m_21 - Colheita aos nove meses preservando o cladódio mãe; Manejo C9p_21- Colheita aos nove meses preservando o cladódio mãe e primário; Manejo C15p_21- Colheita aos 15 meses preservando o cladódio mãe e primário; Manejo C21 - Colheita aos 21 meses preservando apenas o cladódio mãe. Foram observados aspectos morfométricos dos cladódios e das plantas. O sistema de manejo de colheita que preservou o cladódio primário na planta mãe com coletas aos nove e 21 meses assegurou para as cultivares de palma forrageira (Miúda, Orelha de Elefante, IPA e Gigante) maior rebrota e maior produtividade de cladódios. A cultivar de palma forrageira Miúda adaptou-se também para o sistema de colheita aos 15 e 21 meses, preservando o cladódio primário a planta mãe com maior rebrota. O sistema de manejo de colheita 2 assegura maior rebrota e maior produtividade de cladódios. A cultivar de palma forrageira Miúda nas condições do experimento foi mais produtiva.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica* Mill. Colheita de palma forrageira. Número de cladódios. Genótipos.

Introdução

Características como as altas temperaturas, chuvas escassas e mal distribuídas, com longos períodos de estiagem são observadas na região semiárida brasileira. Devido a esses fatores há menor rendimento das gramíneas forrageiras o que tem sido fator limitante para a pecuária, que utilizam a forragem como base alimentar dos bovinos. Logo, a busca por espécies de forrageiras adaptadas às condições climáticas locais é de grande importância para garantir a alimentação e a qualidade nutricional dos animais (Pereira *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2010).

A palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) é uma opção muito utilizada pelos produtores dessas regiões, isso porque é uma planta que possui boa qualidade bromatológica, permite a hidratação do animal além de ser pouco exigente em água (Lédo *et al.*, 2019). A produção da palma forrageira no Brasil é de aproximadamente 3,6 milhões de toneladas em 126.925 estabelecimentos (IBGE, 2017). Da produção nacional 99,8% (3.573.401 toneladas) são representados por municípios da área de atuação do Sudene, ou seja, o Nordeste brasileiro e porções nortes dos territórios de Minas Gerais e Espírito Santo. Os estados com maiores plantações são: Sergipe, Alagoas, Rio Grande do Norte e Ceará – sendo os três maiores estados produtores: Bahia (1,5 milhão de toneladas), Paraíba (742 mil toneladas) e Pernambuco com 481 mil toneladas (IBGE, 2017).

O cultivo e o rendimento de biomassa da palma forrageira são influenciados por alguns fatores, como plantas daninhas, manejo da fertilidade do solo, densidade/espacamento de plantio, frequência de colheita, bem como a intensidade do corte que pode influenciar o desenvolvimento morfológico da palma forrageira e consequentemente a sua produtividade (Donato *et al.*, 2014; Matos *et al.*, 2021). O estudo de épocas adequadas de colheita dos cladódios é de grande importância para que o produtor rural possa estabelecer o manejo da cultura e programar a alimentação de seus animais durante determinado período. Os intervalos de corte podem influenciar as características estruturais, como altura e a produtividade dos genótipos de palma forrageira (Rocha, Voltolini e Gava, 2017).

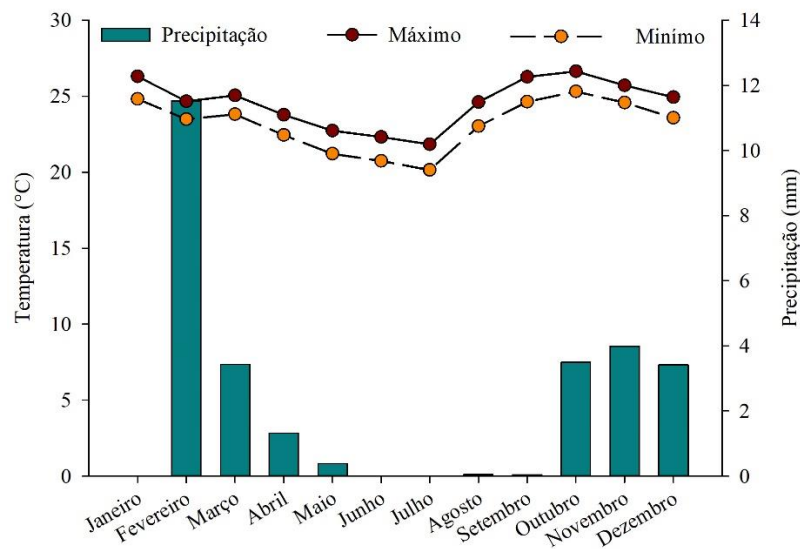
O estudo sobre frequência e intensidade da colheita e das características estruturais da palma forrageira na região semiárida mineira é essencial para que os produtores obtenham o manejo correto da palma forrageira. Assim, objetivou-se

avaliar o desempenho agrônômico de quatro variedades de palma forrageira sob diferentes manejos de corte em condições de sequeiro no norte de Minas Gerais..

Material e métodos

Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no período de outubro/2018 a julho/2020 na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias (ICA), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Campus Montes Claros. A localização geográfica da respectiva área está entre os paralelos 16°51'00" latitude sul e entre os meridianos 44°55'00" oeste e altitude de 630 m. O solo foi classificado como Cambissolo háplico (IUSS, 2015). O clima da região é do tipo Aw, com inverno seco e verão chuvoso (Alvares *et al.*, 2013). Os dados de precipitação e temperatura do período experimental estão na Figura 1.



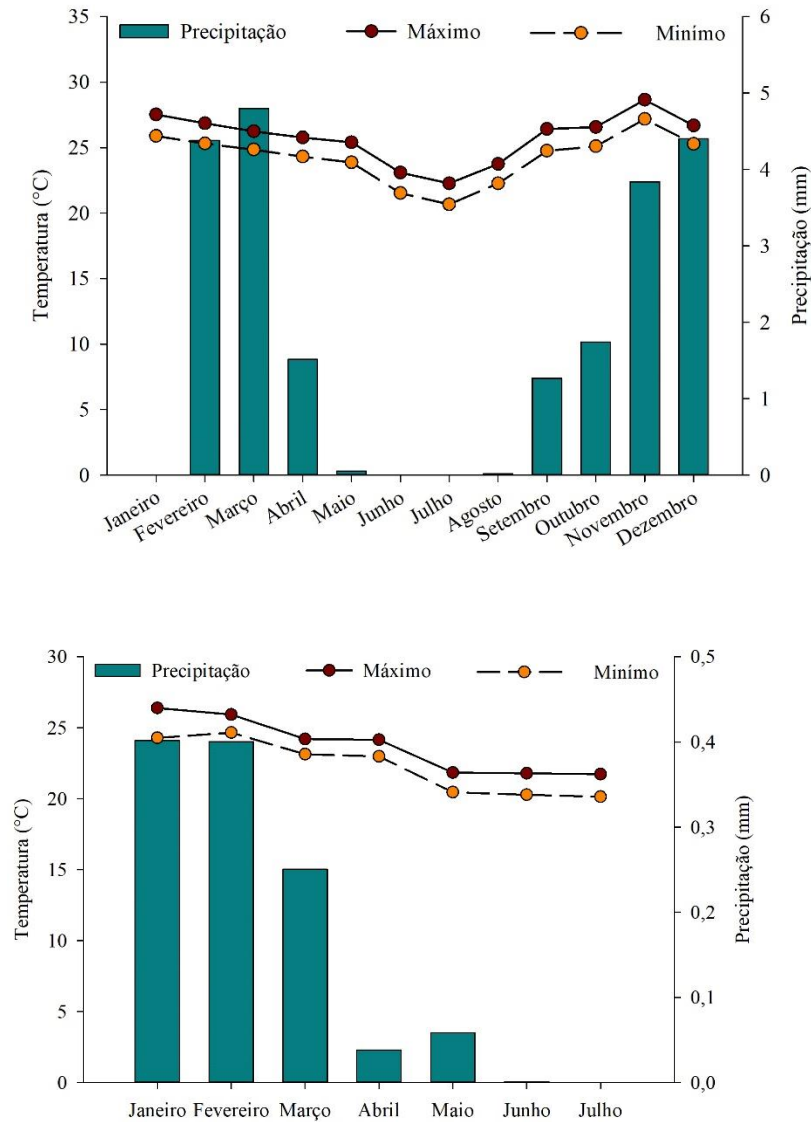


Figura 5. Temperatura máxima e mínima e precipitação durante o período experimental em Montes Claros-MG nos anos de 2018 (A), 2019 (B) e 2020 (C), conforme informações do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Fonte: (INMET, 2020).

Obtenção de material propagativo

Para instalação do experimento foram utilizadas as espécies *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, correspondente às cultivares Miúda e IPA Sertânia, e as espécies *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia Stricta* correspondentes às cultivares

Gigante e Orelha de Elefante Mexicana. As mudas foram doadas pela Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG e o Sítio Modelo (Janaúba-MG).

Os cladódios foram retirados de plantas com um a dois anos sem colheita, selecionando os que possuíam tamanhos uniformes e maduros, ou seja, os que já haviam emitido brotos ou estavam próximos a emitir e livres de doenças e injúrias. Os cortes foram feitos com facão o mais próximo possível da junção entre os cladódios a fim de diminuir a exposição de feridas grandes e, conseqüentemente, reduzir o tempo de cicatrização (“cura”). Evitou-se o uso de cladódios tenros, uma vez que eles são susceptíveis ao apodrecimento, ou velhos, que são de difícil enraizamento.

Instalação do experimento

O experimento foi realizado em delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 4, com 4 repetições. O primeiro fator consistiu das quatro cultivares de palma forrageira implantadas (Gigante, Miúda, Orelha de elefante e IPA Sertânia). E o segundo fator quatro manejos de colheitas dos cladódios: Manejo C9m_21- Colheita parcelada aos nove e 21 meses preservando o cladódio mãe; Manejo C9p_21- Colheita parcelada aos nove e 21 meses preservando o cladódio mãe e primário; Manejo C15p_21 - Colheita aos 15 e 21 meses preservando o cladódio mãe e primário; Manejo C21- Colheita aos 21 meses preservando o cladódio mãe.

Logo o experimento foi constituído de 64 parcelas. Cada parcela foi constituída de 14 plantas (sete em cada fileira), conforme disposto na Figura 6.

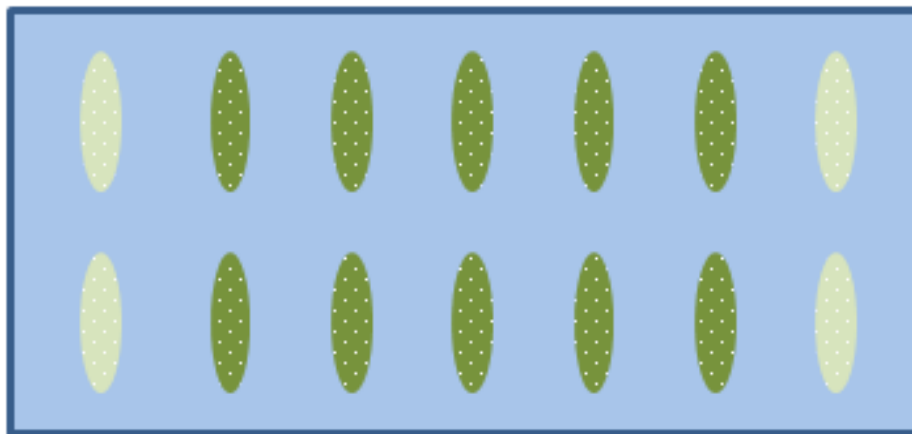


Figura 6. Esquema demonstrativo da parcela constituída de 14 plantas em fileiras

duplas.

Fonte: Do autor, 2020.

Foram avaliadas as 10 plantas centrais. As quatro plantas da extremidade (destacadas em verde claro) foram utilizadas como bordadura e na vertical em cada extremidade da linha de cultivo (Figura 6). A disposição das 64 parcelas é apresentada na Figura 7, sendo a letra “G” indicativa do genótipo, “C” a metodologia de colheita e “B” o bloco. Cada parcela teve a dimensão de 4,2 m² (3,0 x 1,4 m), com área total de 269 m² (22,4 x 12 m).

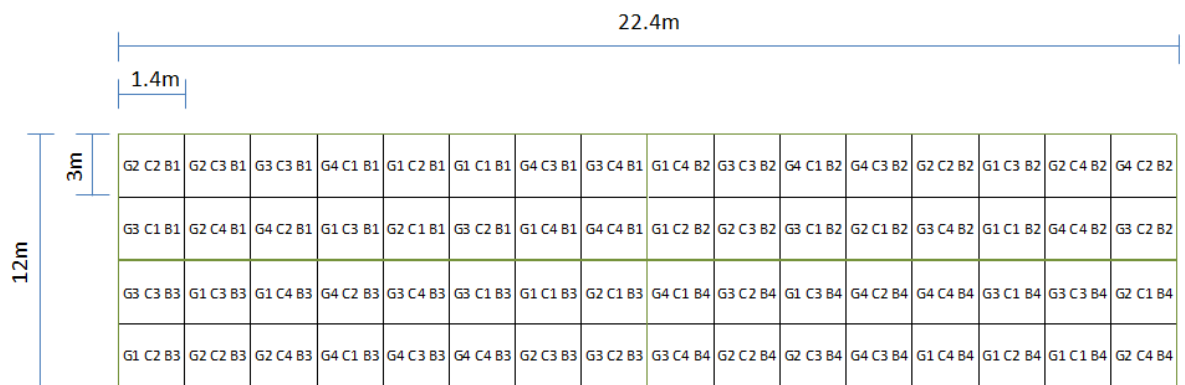


Figura 7. Croqui com a disposição aleatória dos 16 tratamentos na área experimental considerando o delineamento em blocos casualizados.

Fonte: Do autor, 2020.

O plantio foi realizado após o período de “cura” (15 dias) dos cladódios. Os cladódios foram plantados considerando o espaçamento de 2 metros entre linhas. A distância entre plantas (cladódios) foi de 0,20 m. A profundidade do plantio dos cladódios foi de aproximadamente 50% de seu comprimento total. Os cladódios foram plantados verticalmente, conforme representado na Figura 8.

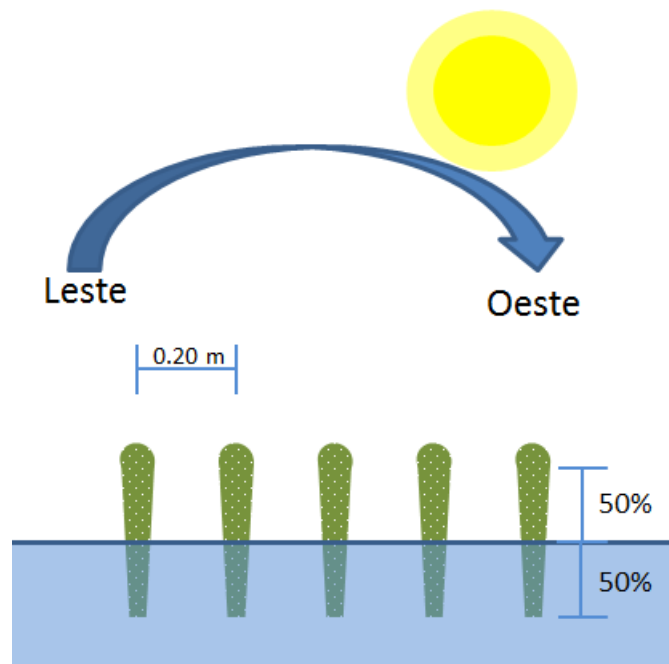


Figura 8. Disposição das plantas no campo

Fonte: Do autor, 2020.

Após a análise de solo e interpretação dos resultados, verificou-se a necessidade de adubação com 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 (DONATO *et al.*, 2014). Já as adubações de cobertura foram realizadas conforme o recomendado para a cultura, sendo 150 kg ha^{-1} de N e 75 kg ha^{-1} de K (DONATO *et al.*, 2014), parcelados em três aplicações nos dias 15/02/2019, 24/07/2020 (após a colheita) e 23/01/2020 (após a colheita). Foram necessárias três aplicações de Actara 750 SG (100 g ha^{-1}) para controle da cochonilha da escama (*Diaspis echinocacti*) (BRASIL, 2021). Após o plantio, foram realizadas capinas manuais, quando necessário.

Avaliação do desempenho agrônômico e análise de crescimento

Na avaliação de crescimento vegetativo da palma forrageira, foram observados aspectos morfométricos dos cladódios e das plantas.

As características analisadas nos cladódios foram: largura (cm), comprimento (cm) com auxílio de fita métrica e espessura (mm) de cada cladódio com paquímetro. Estas avaliações foram em todas as plantas no quarto e oitavo mês

após o plantio; e décimo segundo mês após o primeiro corte nos manejos M1 e M2 (FIGURA 9).

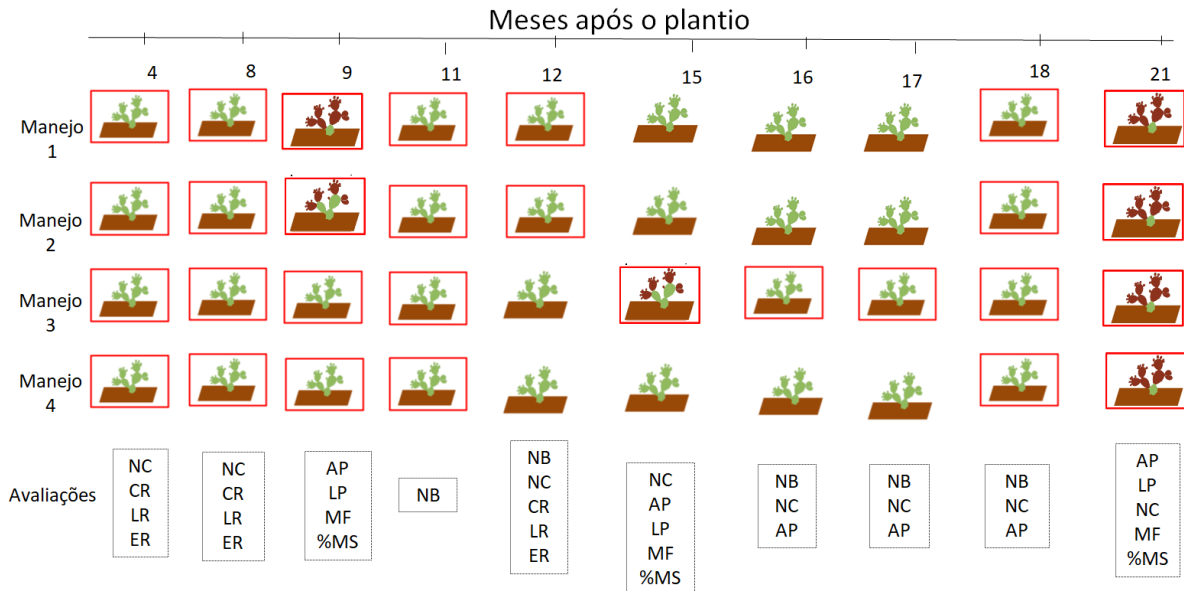


Figura 9. Disposição das épocas das avaliações em quatro manejos para os descritores número de cladódios (NC), Comprimento do cladódio (CC), Largura do cladódio (LC), Espessura da cladódio (EC), Matéria Fresca (MF), Porcentagem de Matéria Seca (%MS), Altura de Planta (AP), Largura de Planta (LP), Número de Brotos (NB)

Fonte: Do autor, 2020.

O número de cladódios foi avaliado com a contagem direta na planta, sendo esta variável analisada em todas as plantas no quarto, oitavo e nono mês após o plantio; décimo segundo mês após o primeiro corte nos manejos C9m_21 e C9p_21 e no décimo quinto mês no manejo C15p_21. Após a colheita foi avaliada a rebrota, através de contagem de número de brotos nas plantas colhidas, foram realizadas avaliações 30, 60 e 90 dias após a colheita nos manejos C9m_21 e C9p_21 (FIGURA 9). No décimo oitavo mês foi avaliado além do NB, NC e AP, o terceiro e último corte aconteceu no vigésimo primeiro mês, antes da colheita dos manejos C9m_21, C9p_21, C15p_21 e C21 foi avaliado AP, LP, NC, MF e %MS.

Na ocasião da colheita foi mensurada a altura de cada planta, com o auxílio de uma fita métrica, determinou-se a maior distância vertical entre a superfície do solo e a extremidade superior do cladódio mais alto (FIGURA 9).

A produtividade da palma forrageira foi determinada a partir da colheita com

nove e 15 meses após o plantio e na última colheita no vigésimo mês (Figura 9). Para o procedimento, foram colhidas em cada tratamento, as 10 plantas dispostas nas áreas úteis das parcelas. O corte das plantas foi realizado na primeira inserção, deixando apenas o cladódio mãe (C9m_21, 9 meses), com o cladódio mãe e filho (C9p_21, 9 meses) e com o cladódio mãe e filho (C15p_21, 15 meses) e no último corte colhendo todos os manejos C9m_21, C9p_21, C15p_21 e C21 (21 meses). Em seguida, procedeu-se com a pesagem, em balança de precisão, de todos os cladódios colhidos, separando-os por parcela e por tratamento.

Foram coletados cladódios das diferentes ordens em cada parcela para compor uma amostra com aproximadamente 300 gramas, levadas, posteriormente, a uma estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 65°C por um período de 72 horas, para secagem do material. Em seguida, o material foi pesado e, a partir dos dados de pesagem da amostra seca foi possível calcular o teor de massa seca por parcela ($\text{Massa seca/Massa verde} \times 100$).

4.1.1 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas a partir dos dados obtidos nas diferentes etapas do experimento. Em todas as análises utilizou-se o teste Bartlett para verificar a homogeneidade de variância residual e o teste Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos resíduos. Verificando-se o atendimento destas pressuposições da análise de variância, realizou-se o teste Tukey para comparações múltiplas sempre quando identificadas significâncias pelo teste F. Todas as análises foram feitas considerando o nível de 5% de significância, no software R.

Para os dados obtidos no quarto, oitavo e décimo quinto mês foi considerado um único fator, tendo-se como níveis as quatro variedades estudadas. Para os dados obtidos no nono, décimo primeiro e décimo segundo mês foi considerado o esquema fatorial 2 x 4, considerando-se as duas formas de colheitas para as quatro variedades.

Resultados e Discussão

- Avaliações no quarto (4°) mês após o plantio

Ao avaliar o número de cladódios aos quatro meses após o plantio, foi possível observar que a cultivar Gigante expressou menor número de cladódios comparado

às demais (Tabela 1). Enquanto para o comprimento, a largura e a espessura dos cladódios, a cultivar Miúda apresentou os menores valores (Tabela 1). Já a cultivar Orelha de elefante apresentou maior largura de cladódio e a maior espessura foi observada na cultivar 'Gigante' (Tabela 1).

Tabela 1: Avaliação do Número de Cladódios e das características do cladódio - Comprimento, Largura e Espessura, aos quatro meses após o plantio

Cultivar	NC	CC	LC	EC
	(un.)	(cm)	(cm)	(mm)
'Gigante'	2,53 b	19,60 b	10,02 b	12,03 a
Miúda	3,83 a	15,89 c	6,24 d	7,71 c
Orelha de Elefante	3,44 a	18,72 b	13,56 a	9,61 b
IPA	3,91 a	23,83 a	9,02 c	10,33 b
Coef. de variação (%)	25,16	7,11	8,09	8,67

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Na avaliação realizada aos oito meses, o maior número de cladódios foi verificado nas cultivares Miúda e Orelha de elefante, que foram similares estatisticamente entre si (Tabela 2). Ao avaliar o comprimento dos cladódios não foi verificado diferença estatística entre as cultivares 'Gigante' e IPA. As cultivares Gigante e IPA expressaram maior comprimento, já a cultivar Orelha de Elefante maior largura e a gigante maior espessura de cladódios. Nesse sentido, pode-se observar uma relação inversa entre o número de cladódios e o comprimento, largura e espessura (Tabela 2).

Tabela 2. Número de cladódios (NC), comprimento (CC), largura (LC) e

Cultivar	NC	CC	LC	EC
	(un.)	(cm)	(cm)	(mm)
'Gigante'	4,26 c	25,51 a	11,82 b	12,68 a
Miúda	9,15 a	17,64 c	6,99 d	7,16 c
Orelha de Elefante	8,71 a	20,17 b	14,02 a	7,32 c
IPA	6,15 b	26,25 a	10,48 c	10,73 b
Coeficiente de variação (%)	24,14	6,63	6,77	12,15

espessura (EC) oito meses após o plantio de cultivares de palma forrageira

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

No nono mês após o plantio não houve interação significativa entre as cultivares e o manejo de colheita (Anexo 3) para nenhuma variável analisada ($p > 0,05$). O número de cladódios colhidos foi maior para a cultivar Miúda, não diferindo estatisticamente da orelha de elefante. Já as cultivares Gigante e IPA obtiveram menor número de cladódios colhidos (Tabela 3). Quanto ao teor de matéria seca a cultivar Miúda apresentou maior valor comparada à Gigante.

Tabela 3: Número de cladódios colhidos (NCC) e Porcentagem de Matéria Seca (%MS) no primeiro corte aos nove meses de cultivares de palma forrageira.

Cultivares	NCC	%MS
	un.	%
Gigante	3,41 b	10,48 b
Miúda	8,35 a	17,05 a
Orelha de Elefante	7,24 a	13,52 ab
IPA	4,23 b	13,92 ab
Coefficiente de variação (CV)	29,87	20,16

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Quando comparado os sistemas de colheita, para as variáveis número de cladódios colhidos e matéria fresca houve diferença ($p < 0,05$) significativa (Anexo 3). Foi observado maior número de cladódios colhidos e matéria fresca no primeiro sistema de manejo (Tabela 4).

Tabela 4. Número de cladódios colhidos (NCC) e matéria fresca (MF) no primeiro corte de distintos manejos de colheita de palma forrageira.

Sistemas de colheita	NCC	MF
	un.	kg
Manejo C9m_21	7,61 a	1,72 a
Manejo C9p_21	4,00 b	0,75 b
Coefficiente de variação (CV%)	29,87	41,44

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A colheita aos 9 meses e preservando o cladódio mãe e preservando também os cladódios primários (Manejo C9p_21) proporcionou maiores incrementos as cultivares com relação as características estruturais, quando comparados ao sistema de manejo de colheita (C9m_21), que preserva somente o cladódio mãe. Santos *et al.* (2010) indicaram que a colheita da palma forrageira seja executada a cada dois anos, para que se mantenha a preservação de expressiva área de cladódio residual. No entanto, a recomendação é que a colheita deve ser feita anualmente, no período seco, para atender à demanda dos animais e facilitar o manejo de cochonilhas (Silva *et al.*, 2020). O que assegura maior conteúdo de reserva e maior número de gemas de brotação, com isso a rebrota é reforçada e garante maior longevidade à planta.

Para o número de brotos avaliado aos onze meses após o plantio, não foi identificado efeito significativo ($p>0,05$) da interação entre os sistemas de colheita e as cultivares (Anexo 4). Foi verificado efeito isolado para cada um dos fatores (Anexo 4). As cultivares Miúda e IPA foram estatisticamente superiores as cultivares Gigante e Orelha de Elefante para o número de brotos (Tabela 5).

Tabela 5. Número de brotos (NB) 60 dias após o primeiro corte de cultivares de palma forrageira.

Cultivares	NB
Gigante	1,35 b
Miúda	5,28 a
Orelha de Elefante	2,12 b
IPA	6,45 a
Coefficiente de variação (CV%)	38,93

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Na avaliação dos sistemas de colheita para o número de brotos, o sistema de colheita aos 9 e 21 meses de cladódios foi superior ao sistema de colheita preservando o cladódio mãe e o primário nos mesmos períodos de colheita (Tabela 6). Esse resultado indica a importância de manter o maior número de cladódios na planta mãe para garantir que a rebrota seja eficiente e haja formação de novos cladódios (Pereira *et al.*, 2021). Essa diferença provavelmente ocorreu devido ao maior acúmulo de fotoassimilados e água nos cladódios primários. Esses resultados corroboram com Fonseca *et al.* (2019) que observaram aumento na emissão de

cladódios com maior aporte de água. Uma menor área foliar também resulta no menor aproveitamento da radiação solar e dos nutrientes e conseqüentemente diminui a fotossíntese líquida (Aumonde *et al.*, 2013; Nunes *et al.*, 2021).

Tabela 6. Número de brotos (NB) 60 dias após o primeiro corte de cladódios com distintos manejos de colheita de palma forrageira.

Sistemas de colheita	NB
	un.
Manejo C9m_21	4,91 a
Manejo C9p_21	2,68 b
Coeficiente de Variação (%)	38,93

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Na avaliação do décimo segundo mês após o plantio não foi observado efeito significativo para a interação ($p > 0,05$) entre os sistemas de manejo e as cultivares para nenhuma das características avaliadas (Anexo 5).

Para o fator isolado sistema de colheita o número de brotos e o número de cladódios foi maior o número de brotações e de cladódios no sistema de colheita aos 9 e 21 meses preservando o cladódio mãe e o primário com relação ao sistema de colheita preservando o cladódio mãe aos 9 e 21 meses (Tabela 7).

Tabela 7. Número de brotos (NB) e número de cladódios (NC) noventa dias após o primeiro corte nos sistemas de manejo de colheita de palma forrageira.

Sistemas de colheita	NB	NC
	un.	un.
Manejo C9m_21	5,89 b	5,76 b
Manejo C9p_21	7,18 a	10,38 a
Coeficiente de variação (%)	26,61	24,53

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Após a primeira colheita, houve a avaliação no 12º mês após o plantio, observou-se que o número de cladódios não diferiu ($p < 0,05$) entre as cultivares

Miúda, IPA e Orelha de elefante. A cultivar IPA obteve maior comprimento de cladódios e número de brotos 90 dias após o primeiro corte. Enquanto para a largura do cladódio foi observado maior largura para a cultivar Orelha de elefante. E maior espessura para a cultivar Gigante, diferindo das demais cultivares (Tabela 8).

Tabela 8. Características dos cladódios, comprimento (CC), largura (LC), espessura (EC) e número de broto (NB) aos noventa dias após o primeiro corte de cultivares de palma forrageira.

Cultivar	NC	CC	LC	EC	NB
	un.	cm	cm	mm	un.
Gigante	4,61 b	22,36 a	9,72 b	7,47 a	3,55 b
Miúda	9,13 a	16,93 c	6,28 c	5,16 b	7,67 a
Orelha de Elefante	9,19 a	19,56 b	11,61 a	5,27 b	7,21 a
IPA	9,35 a	23,88 a	9,15 b	5,67 b	7,71 a
Coeficiente de variação (%)	22,55	12,13	10,97	17,85	26,61

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de

5% de significância.

No sistema de colheita C15p_21 as cultivares miúda e orelha de elefante apresentaram maior número de cladódios quando comparadas a cultivar Gigante e a IPA (Tabela 9). Já para as cultivares Gigante e IPA foi verificado menores números de cladódios colhidos (Tabela 9). Ao analisar o número de cladódios nos diferentes sistemas de manejo de colheita foi possível constatar que as cultivares Gigante e IPA desenvolveram menores quantidade de cladódios, independente do sistema de manejo de colheita. Indicando que para estas cultivares o manejo de colheita pode ser realizado de acordo com a necessidade do produtor a partir dos 9 meses de plantio, podendo deixar ou não os cladódios primários, sem que isso ocasione prejuízos para o crescimento de novos cladódios.

As cultivares Orelha de elefante e Gigante obtiveram maior altura de planta, largura da planta e matéria fresca da folha (Tabela 9). A cultivar Orelha de Elefante obteve a maior matéria fresca, mas não diferiu dos genótipos 'Gigante' e Miúda.

As cultivares Gigante e Orelha de elefante obtiveram maior ganho de massa fresca (t de MV/ha) em relação as cultivares miúda e a IPA. Isso porque essas cultivares possuem maior área de cladódio, que é importante para o crescimento da planta e para aumento das taxas fotossintéticas. Dessa forma, ganhos de massa

fresca obtidos com o avanço no intervalo de corte eram esperados e são justificados pelo aporte contínuo de água e de nutrientes às plantas ao longo de todo o ciclo de cultivo (Rocha; Voltolini; Gava, 2017).

Tabela 9. Número de cladódios colhidos (NCC), altura de planta (AP) e largura de

Cultivar	NCC	AP	LP	MF
	un.	cm	cm	kg
Gigante	8,95 bc	97,17 a	72,72 ab	5,51 ab
Miúda	25,77 a	74,75 b	63,62 b	4,09 ab
Orelha de Elefante	17,00 ab	83,10 ab	85,07 a	6,30 a
IPA	7,16 c	79,97 ab	60,94 b	3,43 b
Coef. de variação (%)	28,08	11,41	12,67	25,66

planta (LP) e matéria fresca (MF) no primeiro corte de cultivares de palma forrageira. Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A cultivar Gigante obteve altura de planta superior as cultivares IPA e Miúda aos 30 dias após o segundo corte (DASC). Já aos 60 DASC obteve maior altura que as demais cultivares (Tabela 10).

Tabela 10. Altura de planta (cm) 30 e 60 dias após o segundo corte (DASC).

Genótipos	30 DASC	60 DASC
Gigante	64,21 a	71,43 a
IPA	47,64 b	55,87 b
Miúda	47,17 b	54,65 b
Orelha de Elefante	53,08 ab	60,44 b
Coef. De variação (%)	19,84	15,79

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância

Na avaliação de Número de Cladódios aos 30 DASC foi observado para as cultivares IPA, Miúda e Orelha de elefante maior número de cladódios. Nos 60 e 90

DASC a cultivar Miúda obteve maior número de cladódio, diferindo das outras cultivares (Tabela 11).

A cultivar de palma forrageira Miúda produziu maior número de cladódios por planta, contudo menor comprimento e largura dos cladódios, independentes das épocas de colheita. Resultados semelhantes foram observados por Cavalcante *et al.* (2014) que justificaram esse resultado devido a características intrínsecas da cultivar Miúda, pois as plantas pertencentes ao gênero *Nopalea* sp. possuem maior quantidade e menor tamanho de cladódios, quando comparadas às do gênero *Opuntia* sp. Snyman (2006) destacou que há diferenças nos clones de palma forrageira cultivados. Isso porque, na maioria das vezes, as cultivares possuem adaptações peculiares as suas morfologias (Falcão *et al.*, 2013).

Outra possível explicação é a relação inversa entre o número e o comprimento dos cladódios. Essa contradição pode estar associada ao adensamento provocado pela própria anatomia das cultivares, que no caso da Miúda os cladódios não se desenvolveram devido à sobreposição, e o adensamento de plantio favoreceram a maior emissão de novos brotos e conseqüentemente um maior número de cladódios com menor comprimento (Cavalcante *et al.*, 2014).

Tabela 11. Número de Cladódios (NC) aos 30, 60 e 90 dias após o segundo corte de cultivares de palma forrageira.

Cultivares	30 DASC	60 DASC	90 DASC
Gigante	5,64 b	6,18 c	9,25 c
IPA	9,24 ab	10,42 b	14,33 b
Miúda	12,50 a	14,40 a	19,48 a
Orelha de Elefante	10,55 a	10,22 b	14,56 b
Coef. de variação (%)	38,24	30,52	24,53

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Quando comparamos os três sistemas de manejo de colheita após o segundo corte, foi possível observar que o número de cladódios foi maior no manejo C9m_21 e manejo C9p_21 aos 30 DASC. Já aos 60 e 90 DASC o manejo C9p_21 foi superior aos demais sistemas de manejo (Tabela 12).

Tabela 12. Número de cladódios (un.) nos diferentes manejos 30, 60 e 90 dias após o segundo corte (DASC) de palma forrageira.

Sistema de Colheita	30 DASC	60 DASC	90 DASC
Manejo C9m_21	11,51 a	9,70 b	13,33 b
Manejo C9p_21	13,18 a	12,53 a	17,03 a
Manejo C15p_21	3,73 b	8,39 b	12,46 b
Coef. de variação (%)	38,24	30,52	24,53

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância

Os sistemas de manejo de colheita e as cultivares apresentaram interação significativa ($p < 0,05$) para a altura de plantas (Anexo 7). A cultivar Gigante obteve menor altura no sistema de manejo 3 (Tabela 13). Para os outros genótipos não houve diferença com relação aos sistemas de manejo de colheita de cladódios. Em relação aos sistemas de manejo, as cultivares não diferenciaram estatisticamente entre si para os manejos C9m_21 e Manej C15p_21 (Tabela 13).

Tabela 13. Manejos de colheita de cladódios para altura de planta (cm) 90 dias após o segundo corte de cultivares de palma forrageira.

Cultivar	Manejo C9m_21	Manejo C9p_21	Manejo C15p_21
Gigante	78,28 Aa	91,45 Aa	55,27 Ba
IPA	64,02 Aa	69,87 Ab	65,96 Aa
Miúda	59,73 Aa	68,92 Ab	52,74 Aa
Orelha de elefante	68,72 Aa	61,24 Ab	58,47 Aa
Coef. de Variação (%)	14,57	14,57	14,57

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Verificou-se que a cultivar Gigante obteve altura de plantas superior as demais cultivares para o a colheita no 21° mês (Tabela 14). Para a matéria fresca não houve diferença estatística entre as cultivares IPA, Orelha de elefante e Gigante. Já com relação a porcentagem de matéria seca, a cultivar Orelha de elefante foi superior a cultivar Miúda, não diferindo dos demais (Tabela 14).

A cultivar de palma forrageira Miúda é apontada como a de pior adaptação as localidades com baixas precipitações e temperatura noturna elevada (Silva *et al.*, 2015). No entanto, durante a condução das plantas dos genótipos Miúda as respostas produtivas observadas foram semelhantes as demais cultivares avaliadas. Pereira *et al.* (2021) estudaram o comportamento de três cultivares de palma forrageira, Miúda, Orelha de elefante e IPA em níveis de salinidade, e concluíram que o maior ganho em massa fresca foi da cultivar Miúda (13,36 kg planta⁻¹), em uma salinidade de 4,04 dS m⁻¹. O que indica a boa capacidade que essa cultivar possui de obter boa massa fresca, mesmo em condições de déficit hídrico ou em solos com maior salinidade.

Tabela 14. Altura de planta (AP), matéria fresca (MF), porcentagem de matéria seca (%MS) no terceiro corte de cultivares de palma forrageira.

Cultivar	AP	MF	%MS
	cm	kg	%
Gigante	85,56 a	9,31 ab	11,13 a
Miúda	66,13 b	7,52 b	10,93 b
Orelha de Elefante (OE)	71,44 b	9,81 a	11,77 ab
IPA	70,64 b	10,17 a	11,78 ab
Coef. de variação (%)	15,34	21,3	13,58

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Dessa forma, as quatro cultivares de palma forrageira estudadas apresentaram resultados distintos para o comprimento, largura e espessura do cladódio e, conseqüentemente, obtiveram áreas diferentes. As cultivares gigante e a IPA tiveram os cladódios mais compridos e espessos, enquanto a maior largura de cladódios foi obtida pela cultivar Orelha de elefante. Ao passo que a cultivar Miúda obteve os cladódios mais curtos e menos largos em relação aos demais (Tabela 1 e 2). Esses resultados indicam que a cultivar de palma forrageira Miúda possui como estratégia de crescimento o aumento no número de cladódios a fim de compensar o tamanho e a área de cada cladódio (Silva *et al.*, 2015), enquanto as cultivares gigante e orelha de elefante possuem menor número de cladódios, porém cladódios compridos, largos e pesados.

Houve interação significativa entre os fatores manejos de colheita e cultivares

de palma forrageira para o número de cladódios colhidos no terceiro corte. Foi observado que para a cultivar gigante os Manejo C9m_21, Manejo C9p_21 e Manejo C21 obteve menor número de cladódios colhidos (Tabela 15). Para a cultivar Miúda o Manejo C9p_21 proporcionou menor número de cladódios colhidos (Tabela 15). Não houve diferença para as demais cultivares com relação ao sistema de manejo de colheita de cladódios. No sistema de Manejo C9m_21 a cultivar Gigante foi inferior as outras cultivares estudadas. Os Manejo C9p_21 e C21 na cultivar Miúda foi superior aos demais e no sistema de manejo C15p_21 não houve diferença entre as cultivares quanto ao número de cladódios colhidos (Tabela 15).

Tabela 15. Número de cladódios colhidos (un.) e, distintos sistemas de manejo de colheita de cladódio de cultivares de palma forrageira

Cultivares	C9m_21	C9p_21	C15p_21	C21
Gigante	7,20 Ab	9,52 Ac	12,65 Aa	12,29 Ab
IPA	12,52 Aa	19,72 Ab	17,70 Aa	15,44 Ab
Miúda	29,40 Ba	29,08 Ba	21,29 Ba	41,25 Aa
Orelha de elefante	11,70 Aa	15,97 Abc	17,17 Aa	18,85 Ab
Coef. de variação (%)	26,15	26,15	26,15	26,15

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os sistemas de manejo C9m_21, C9p_21 e manejo C21 de colheita não diferiram com relação as características de altura e largura de plantas no terceiro corte (Tabela 16). Para a característica matéria fresca o sistema de manejo C21 foi superior aos demais manejos. Já com relação a %de massa seca os manejos C9m_21, C9p_21 e manejo C15p_21 obtiveram massa seca semelhantes (Tabela 16).

Tabela 16. Sistemas de colheita de cladódios na altura de planta (AP), largura de planta (LP), matéria fresca (MF) e porcentagem de matéria seca (%MS) no terceiro corte de palma forrageira.

Sistema de Colheita	AP	LP	MF	%MS
	cm	cm	kg	%
Manejo C9m_21	73,05 ab	71,44 ab	7,16 c	11,25 a
Manejo C9p_21	78,22 a	77,57 a	10,09 b	10,49 ab

Manejo C15p_21	61,36 b	58,67 b	7,18 c	12,18 a
Manejo C21	81,58 a	84,05 a	12,36 a	11,70 b
Coef. de variação (%)	15,34	23,33	21,3	31,48

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância

Ao avaliar a soma do número de cladódios, matéria fresca e matéria seca nos três cortes não foi encontrado efeito significativo ($p < 0.05$) entre as cultivares e os manejos de colheita de cladódios (Anexo 10).

De forma geral, pode-se inferir que os diferentes sistemas de manejo de colheita da palma forrageira influenciaram nas respostas produtivas das quatro cultivares avaliadas, com maior interferência para a cultivar Miúda nos sistemas de manejo C9p_21 e C15p_21 que mantinham os cladódios primários na planta mãe e consequentemente garantiam uma maior fonte de energia para o brotamento de novos cladódios. Nos outros manejos de colheita não houve diferença entre o desenvolvimento e a morfologia dos cladódios, reforçando que essas características são específicas de cada cultivar de palma forrageira. Outra importante função da colheita aos 21 meses após o plantio da palma forrageira é a possibilidade de fornecer aos animais como alimento em uma época do ano com maior período de escassez de chuva e biomassa de gramíneas forrageiras.

Conclusão

O sistema de manejo de colheita C9p_21 (preservando o cladódio primário na planta mãe) com coletas aos nove e 21 meses assegurou para as cultivares de palma forrageira (Miúda, Orelha de Elefante, IPA e Gigante) maior rebrota e maior produtividade de cladódios.

A cultivar de palma forrageira Miúda adaptou-se também para o sistema de colheita aos 15 e 21 meses, preservando o cladódio primário a planta mãe com maior rebrota.

A cultivar de palma forrageira Miúda foi mais produtiva do que as demais cultivares avaliadas.

Referências

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. D. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*. v. 22, p.711-728, 2013. doi.10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Aumonde, T. Z.; Pedó, T.; Martinazzo, E. G.; Moraes, D. M.; Villela, F. A.; Lopes, N. F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. *Planta daninha*, v. 31, p. 99-108, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000100011>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília, 2021.
- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. D. A.; Silva, L. M. D.; Fagundes, J. L.; Silva, M. A. D. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000400010>
- Donato, P. E.; Pires, A. J.; Donato, S. L.; Bonomo, P.; Silva, J. A.; Aquino, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira “Gigante” sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014. DOI:10.5039/agraria.v9i1a3252
- Falcão, H. M.; Oliveira, M. T.; Mergulhão, A. C.; Silva, M. V.; Santos, M. G. 'Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions'. *Scientia Horticulturae*, v. 150, p. 419-424, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.021>.
- Fonseca, V. A.; Santos, M. R. D.; Silva, J. A. D.; 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. 1-11, 2019. doi: 10.4025/actasciagron.v41i1.42631
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) Cidades. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 28 jan. 2021.
- INTERNATIONAL UNION OF SOIL SCIENCE WORKING – IUSS. World Reference Base for Soil Resources (WRB), 2015.
- Matos, L. V.; Donato, S. L. R.; Kondo, M. K.; Lani, J. L. Sistemas Tradicionais de Produção de Palma Forrageira ‘Gigante’ em Agroecossistemas do Semiárido Baiano¹. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n.02, p. 554-590, 2021.
- Nunes, J. D. S. L.; da Silva, T. F.; de Souza, L. B.; Junior, G. D. N. A.; da Silva Salvador, K. R. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira sob diferentes ambientes de crescimento. *Archivos de zootecnia*, v. 70, n. 271, p. 230-238, 2021. <https://doi.org/10.21071/az.v70i271.5503>
- Oliveira, F. T.; Souto, J. S.; Silva, R. P.; Andrade Filho, F. C.; Júnior, E. B. P. Palma

forageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. *Revista Verde*, v. 5, n. 4, p. 27 – 37, 2010.

Pereira, M. C. D. A.; Azevedo, C. A. V.; Neto, J. D.; Pereira, M. D. O.; Ramos, J. G.; Nunes, K. G.; Saboya, L. M. F. Production of forage palm cultivars (Orelha de Elefante Mexicana, IPA-Sertania and Miuda) under different salinity levels in irrigation water. *Australian Journal of Crop Science*, v. 15, n. 7, p. 977 – 982, 2021. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.154387132281763>

Rocha, R. S.; Voltolini, T. V.; Gava, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. *Archivos de Zootecnia*, v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017.

Santos, M. V. F. Palma forrageira. In: *Plantas forrageiras*. 1 ed. Viçosa: UFV, v. único, p. 459-493, 2010.

Silva, J. A.; Donato, S. L. R.; Donato, P. E. R.; Rodrigues, M. G. V. Manejo cultural e da colheita. In: Sérgio Luiz Rodrigues Donato; Aluizio Borém; Maria Geralda Vilela Rodrigues. (Ed.). *PALMA FORRAGEIRA: do plantio à colheita*. 1ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 2020, v.1, p.129-150.

Silva, T. G. F.; Primo, J. T. A.; Morais, J. E. F.; Silva Diniz, W. J.; Souza, C. A. A.; Conceição Silva, M. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

Snyman, H. A. 'Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants'. *South African Journal of Botany*, v. 72, p. 434-441, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2005.12.008>

5 Artigo II. Imagens aéreas para estimativa da produção de quatro cultivares de palma forrageira

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Ciência e Agrotecnologia.

RESUMO

As predições de produtividade da palma forrageira são importantes ferramentas práticas, pois possibilitam ao produtor se programar quanto à colheita e manejo da cultura. O objetivo foi verificar a eficiência do uso de imagens aéreas por meio de estrutura de baixo custo na estimação da produção de cladódios em quatro cultivares de palma forrageira. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, em fatorial 4 x 4, com 4 repetições. O primeiro fator consistiu das quatro cultivares de palma forrageira, Gigante, Miúda, Orelha de elefante e IPA Sertânia. E o segundo fator quatro manejos de colheitas dos cladódios: 1- Colheita aos nove meses preservando o cladódio mãe; 2- Colheita aos nove meses preservando o cladódio mãe e primário; 3- Colheita aos 15 meses preservando o cladódio mãe e primário; 4- Colheita aos 21 meses preservando o cladódio mãe. Antes de cada colheita dos cladódios foram obtidas imagens aéreas em cada parcela. Foi calculado o número de cladódios, produtividade de matéria fresca e matéria seca, por colheita. Após a obtenção das imagens foi feito o processamento com o auxílio do pacote ExplImage no software R. Verificou-se eficiência na predição da produtividade da palma forrageira por meio de imagens aéreas obtidas por equipamentos de baixo custo. O uso de modelos ajustados individualmente para cada cultivar possibilita a maior precisão das estimativas. Porém, é possível utilizar um modelo único para as quatro cultivares estudadas com coeficiente de determinação superior a 77% na estimação da produtividade de matéria fresca.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica* Mill. Produtividade estimada. Pixels. Modelo de regressão.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) é uma espécie de boa adaptação nas regiões semiáridas a áridas. Possui anatomia e fisiologia que permite baixa demanda e alta eficiência no uso de água (Ferraz *et al.*, 2019; Lopes *et al.*, 2019). A palma forrageira é utilizada em grande parte para alimentação animal e humana, para produção de biocombustíveis e medicamentos (Bayar; Friji; Kammoun, 2018; Volpe; Goldfarb; Fiori, 2018). É uma fonte importante de água, minerais, gordura, carboidratos, fibras e tem capacidade antioxidante (Ferraz *et al.*, 2019).

A produção deste cacto na região Nordeste brasileira é realizada como alternativa para alimentação e hidratação de ruminantes e outros animais (Guimarães *et al.*, 2019a). Com isso é necessário que estudos científicos sejam realizados para obtenção de resultados que agreguem na facilidade do manejo da cultura por pesquisadores ou produtores rurais (Guimarães *et al.*, 2019a; Guimarães *et al.*, 2019b; Guimarães *et al.*, 2018; Cargnelutti Filho *et al.*, 2018). As predições de produtividade são importantes fatores a serem realizados, pois possibilita ao produtor se programar quanto à colheita de cada ciclo de cultivo e ao manejo da cultura. Em palma forrageira os atributos morfológicos que podem contribuir para a previsão de produtividade são a área de cladódios totais, a altura de plantas e espessura e comprimento do cladódio (Guimarães *et al.*, 2018).

Outra possibilidade para a estimação da produtividade é o uso de imagens (Bertolin *et al.*, 2017; Yuan *et al.*, 2019), que pode ser facilitado pelo uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou como comumente são conhecidos, drones, para captura de imagens aéreas com alta resolução espacial e temporal (Nhamo *et al.*, 2018). O uso dessas aeronaves não tripuláveis possibilita maior facilidade na obtenção de informações e nas tomadas de decisões dos produtores nas áreas produtivas (Hunt; Daughtry, 2018; Shi *et al.*, 2016). Contudo, o uso desses equipamentos é oneroso e de manuseio difícil o que conseqüentemente aumenta os custos principalmente para pequenos produtores rurais em regiões carentes economicamente (Nhamo *et al.*, 2020). Uma possível alternativa para isso é o uso de estratégias de baixo custo para obtenção das imagens aéreas com câmeras comuns.

Logo, a possibilidade de realizar a predição da produtividade por meio de imagens na palma forrageira com estratégias de baixo custo financeiro pode ser um

grande facilitador na condução e planejamento do manejo para pequenos produtores. Desta forma, objetivou-se verificar a eficiência do uso de imagens aéreas por meio de uma estrutura de baixo custo na estimação da produção de cladódios em quatro cultivares de palma forrageira.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias (ICA), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Campus Montes Claros. A localização está entre os paralelos 16°51'00" latitude sul e entre os meridianos 44°55'00" oeste e altitude de 630 m. O solo foi classificado como Cambissolo háplico (IUSS, 2015). O clima da região é do tipo Aw, com inverno seco e verão chuvoso (Alvares *et al.* 2013).

Para instalação do experimento foram utilizadas as espécies *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck as cultivares Gigante e Miúda, respectivamente. E as espécies *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia Stricta* as cultivares Orelha de Elefante e IPA Sertânia doadas pela Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG e o Sitio Modelo (Janaúba-MG).

Os cladódios foram retirados de plantas com um a dois anos sem colheita. Foram selecionados os cladódios que possuíam tamanhos uniformes e maduros, ou seja, os que já haviam emitido brotos ou estavam próximos a emitir. Os cortes foram feitos com facão o mais próximo possível da junção entre os cladódios a fim de diminuir a exposição de feridas grandes e, conseqüentemente, reduzir o tempo de cicatrização. Evitou-se o uso de cladódios tenros, uma vez que eles são susceptíveis ao apodrecimento, ou velhos, que são de difícil enraizamento.

O plantio foi realizado após o período de 15 dias de cicatrização dos cladódios (20/10/2018). A distâncias entre plantas (cladódios) foi de 0,20 m. A profundidade do plantio foi de aproximadamente 50% de seu comprimento total. Os cladódios foram plantados verticalmente. Foi realizado uma adubação de P₂O₅ com 150 kg ha⁻¹ (Donato *et al.*, 2014). E adubações de cobertura conforme o recomendado para a cultura, com 150 kg ha⁻¹ de N e 75 kg ha⁻¹ de K, parcelados em três aplicações nos dias 15/02/2019, 24/07/2020 (após a colheita) e 23/01/2020 (após a colheita). Foram necessárias três aplicações de Actara 750 SG (100 g ha⁻¹) para controle da

cochonilha da escama (*Diaspis echinocacti*). Após o plantio, foram realizadas capinas manuais, quando necessário.

O experimento foi instalado considerando o delineamento em blocos ao acaso, no esquema fatorial 4 x 4, com 4 repetições totalizando 64 parcelas. Cada parcela foi constituída de duas linhas com sete plantas cada. Foi utilizado o espaçamento de 0,20 m entre planta e 2,0 m entre linhas. O primeiro fator consistiu de quatro cultivares de palma forrageira (Gigante, Miúda, Orelha de elefante e IPA Sertânia). E o segundo fator quatro manejos de colheitas dos cladódios (Figura 1): 1- Colheita aos nove meses preservando o cladódio mãe; 2- Colheita aos nove meses preservando o cladódio mãe e primário; 3- Colheita aos 15 meses preservando o cladódio mãe e primário; 4- Colheita aos 21 meses preservando o cladódio mãe (Figura 1). Cada parcela foi constituída de 14 plantas (sete em cada fileira). O objetivo desses diferentes manejos foi obter para cada cultivar uma maior variabilidade na produtividade, número de cladódios e conseqüentemente um banco de imagens maior e mais diversificado.

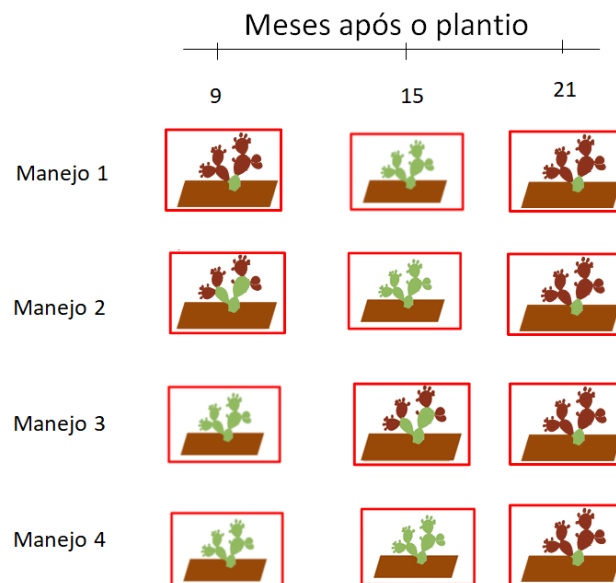


Figura 1. Representação cronológica das colheitas (cladódios vermelhos) realizados em plantas de palma forrageira.

Em cada colheita foi feito a contagem dos cladódios e estimada a produtividade dos cladódios colhidos. A produtividade de matéria fresca foi determinada por meio da pesagem, em balança de precisão, de todos os cladódios colhidos.

Aproximadamente 300 gramas dos cladódios foram colocados em uma estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 55 °C por um período de 72 horas, para secagem do material. Em seguida, o material foi pesado e, a partir dos dados de pesagem da amostra seca foi possível calcular o teor de massa seca por parcela ($100 \times \text{Matéria seca} / \text{Matéria fresca}$) e posteriormente a produtividade de matéria seca.

Antes de cada colheita foram obtidas imagens aéreas das parcelas. Para isso, utilizou-se uma estrutura feita com ripas de eucalipto com a altura de 1,90 metro e largura de 2,50 metros (Figura 2a). A altura desta estrutura foi definida a fim de se obter na imagem apenas a parcela avaliada (Figura 2b). No centro da estrutura foi acoplada uma câmera digital modelo Canon PowerShotSX400 IS.

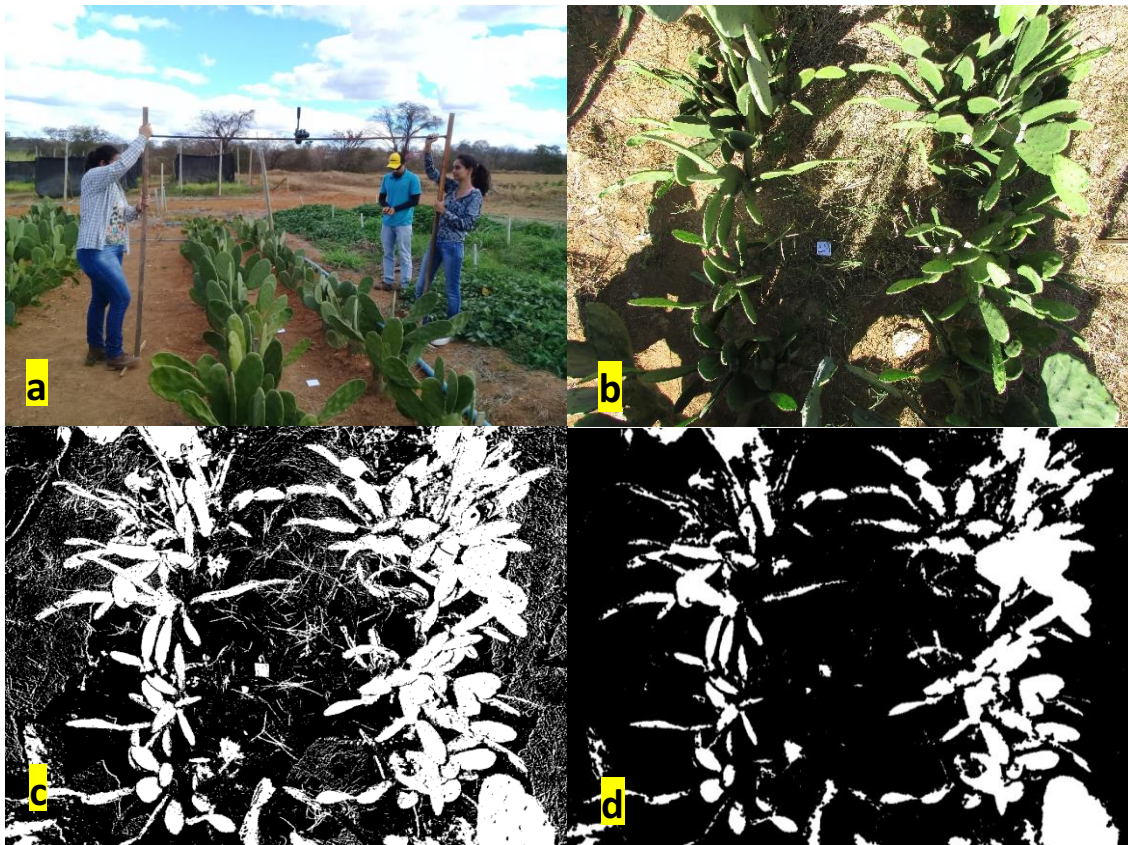


Figura 2. Processo para a obtenção de imagens aéreas utilizando uma estrutura de baixo custo (a) de plantas de palma forrageira (b) e imagens após o processo de segmentação (c) e erosão da imagem segmentada (d).

Após a obtenção das imagens foi realizado o processamento com o auxílio do pacote *ExplImage* (Azevedo, 2022) no software R. Cada imagem obtida foi

compactada de 4608 x 3456 para 1000 x 750 pixels pela função “resize_image”, a fim de reduzir o tempo de processamento das imagens. Para a segmentação foram obtidas duas paletas de cores, uma com parte dos pixels correspondentes à palma forrageira (foreground) e outra com os pixels não pertencentes à palma forrageira (background). Posteriormente, a partir dos canais de vermelho, verde e azul foi feita a segmentação por meio da regressão Logit.

Para isso, utilizou-se a função “segmentation_logitGUI”, obtendo-se imagens similares a apresentada na Figura 2b. Posteriormente, para reduzir os ruídos foi feita uma erosão na imagem segmentada pela função “erode_image” seguida de uma dilatação pela função “dilate_image”, obtendo-se imagens similares a Figura 2d. Para cada imagem, o número de pixels correspondentes à palma forrageira foi computado. Essa estimativa de número de pixels foi utilizada para a predição do número de cladódios, produtividade de matéria fresca e produtividade de matéria seca por meio do ajuste de regressão polinomial de primeiro grau. Para isso recorreu-se a função “lm” do pacote “stats”.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Para a cultivar Orelha de elefante foi observado maior produtividade de matéria verde, de matéria seca e da porcentagem de pixels correspondente à palma forrageira (Tabela 1). Já a IPA Sertânia apresentou menores médias para estas características. Para o número de cladódios houve maior média para a cultivar miúda. A cultivar Miúda possui maior número de cladódios, que são curtos e pouco largos (Pereira *et al.*, 2021). Apesar do maior número de cladódios pela cultivar miúda isso não indica maior cobertura do solo, como se pode verificar pela porcentagem de pixels correspondente aos cladódios.

A estimação da produtividade na palma forrageira é necessária para a tomada de decisões pelos produtores de forma exitosa. Esforços para isso já foram feitos por meio de estudos de regressão múltipla (Guimarães *et al.*, 2020). Porém a obtenção de variáveis manualmente em muitas plantas requer muita mão-de-obra e tempo para avaliação. Esse fato pode tornar o processo de fenotipagem limitado, necessitando assim, de uma análise mais abrangente (Ubbens; Stavness, 2017).

Tabela 1. Valores mínimos (Min), máximos (Max), médios (Média) e do coeficiente de variação (CV) para o número de cladódios (NC), produtividade de matéria fresca em t/ha (MV), produtividade de matéria seca em t/ha (MS) e porcentagem de pixels correspondente aos cladódios em imagens aéreas de plantas de palma forrageira.

Genótipos	Parâmetros	NC	MV	MS	Perc
Gigante	Min	9.00	10.00	0.90	5.03
	Max	106.00	75.00	7.51	56.58
	Média	66.24	46.75	4.66	35.07
	CV(%)	47.10	51.34	52.06	48.06
Miúda	Min	35.00	3.64	0.58	4.63
	Max	513.00	124.61	13.71	86.51
	Média	218.21	46.11	5.31	32.95
	CV(%)	54.12	68.79	66.04	66.13
Orelha de elefante	Min	75.00	13.98	1.90	18.77
	Max	165.00	129.94	14.03	93.46
	Média	118.55	67.24	7.43	46.51
	CV(%)	25.17	54.49	47.08	47.36
IPA Sertânia	Min	26.00	5.40	0.65	9.76
	Max	201.00	132.20	11.90	77.10
	Média	85.63	45.96	5.07	31.33
	CV(%)	56.15	74.26	65.03	58.29

A cultivar com maior variação entre parcelas para o número de cladódios e matéria verde foi a IPA Sertânia, com maior estimativa do coeficiente de variação (CV). De forma geral, altas estimativas de CV foram encontradas para a maioria das características em cada um dos genótipos. Esta alta variabilidade é desejável, pois indica um banco de dados heterogêneo, o que proporciona maior generalização dos modelos de regressão a serem ajustados.

Para todas as cultivares de palma forrageira avaliadas foi verificado coeficiente de determinação (R^2) superior a 70%, o que indica a possibilidade de estimar o número de cladódios por meio da porcentagem de pixels (Figura 3). A maior produção de cladódios proporciona maior cobertura de área ocupada pela planta. A cultivar Gigante foi a que obteve maior qualidade do ajuste quando comparada às demais cultivares (Figura 3 A).

O coeficiente de determinação alto, acima de 70% indica que as características avaliadas podem ser estimadas via imagem digital para palma forrageira, independente da cultivar. A cultivar Gigante se destacou das demais cultivares de palma porque apresentou maior coeficiente de determinação (Figura 3).

Noori e Panda (2016) estudaram imagens digitais na predição de produtividade de oliveiras e observaram excelentes coeficientes de determinação, acima de 90%, que para os autores reforça que os algoritmos obtidos podem ser usados por agricultores para estimar as características físicas de oliveiras com sensoriamento remoto. Para a soja, Trindade *et al.* (2019) observaram que no estágio fisiológico reprodutivo da soja, o uso de imagens digitais, via satélite, pode ser usado para prever a produtividade de grãos.

A cultivar Orelha de elefante possui maior percentagem indicando maior cobertura vegetal. A maior cobertura vegetal, estimada pela área das imagens aéreas correspondente aos cladódios é resultado do número de cladódios e de seus tamanhos, relacionando-se conseqüentemente com a produtividade da cultura. Isso indica que esse parâmetro pode ser usado para predição de produções futuras de palma forrageira cultivar Miúda e Orelha de elefante (Tumlisan, 2017). Nesse sentido, o uso de imagens apresenta grande potencial em aumentar o rendimento e a precisão das atividades de fenotipagem em plantas (Pound *et al.*, 2017).

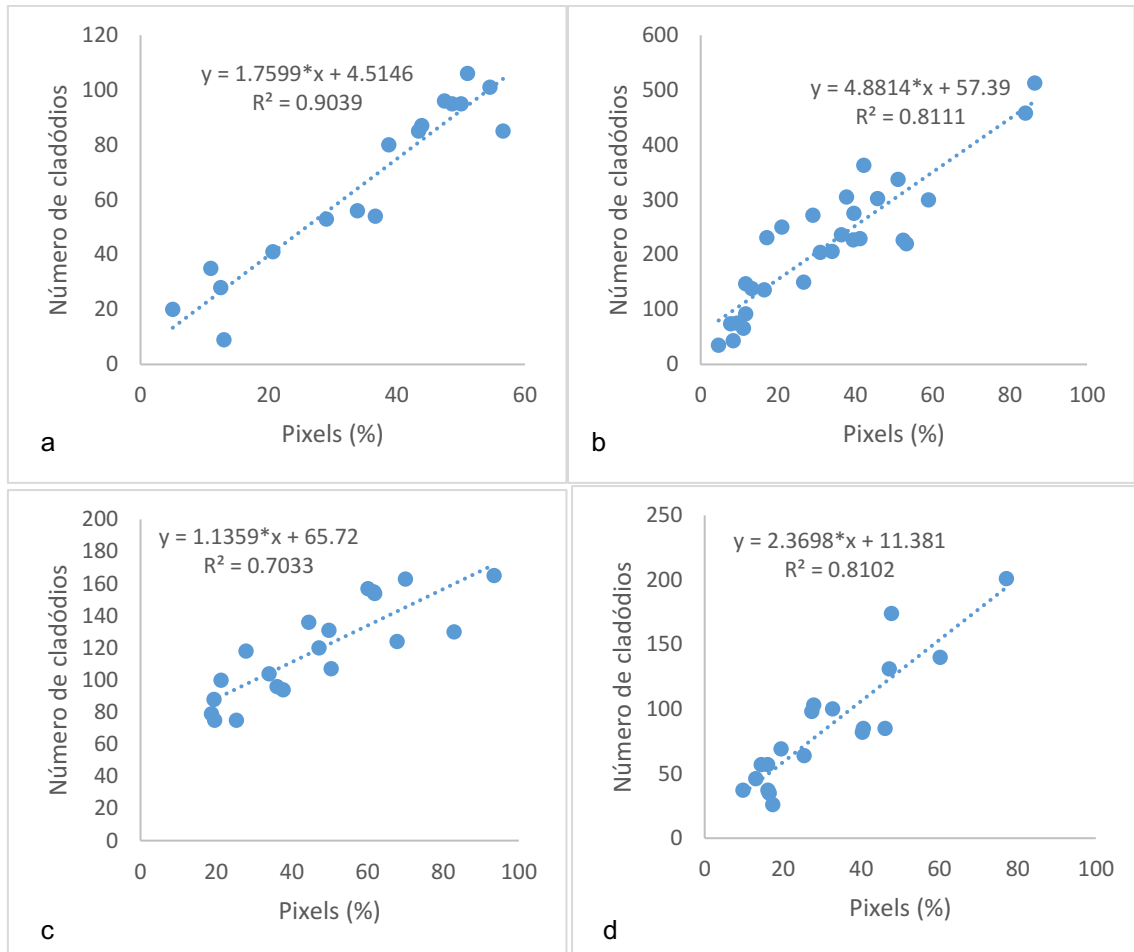


Figura 3. Número de cladódios estimados por imagens aéreas de plantas de palma forrageira das cultivares Gigante (a), Miúda (b), Orelha de elefante (c) e IPA Sertânia (d).

Para a estimação da produtividade de matéria fresca das cultivares de palma forrageira foram observados coeficientes de determinação altos, acima de 75% (Figura 4). Para esta característica houve melhor ajuste para o modelo ajustado para a cultivar IPA Sertânia.

Para a predição com a massa fresca e seca observou-se efeito significativo com a porcentagem de pixels nos modelos individuais de regressão (Figura 4 e 5).

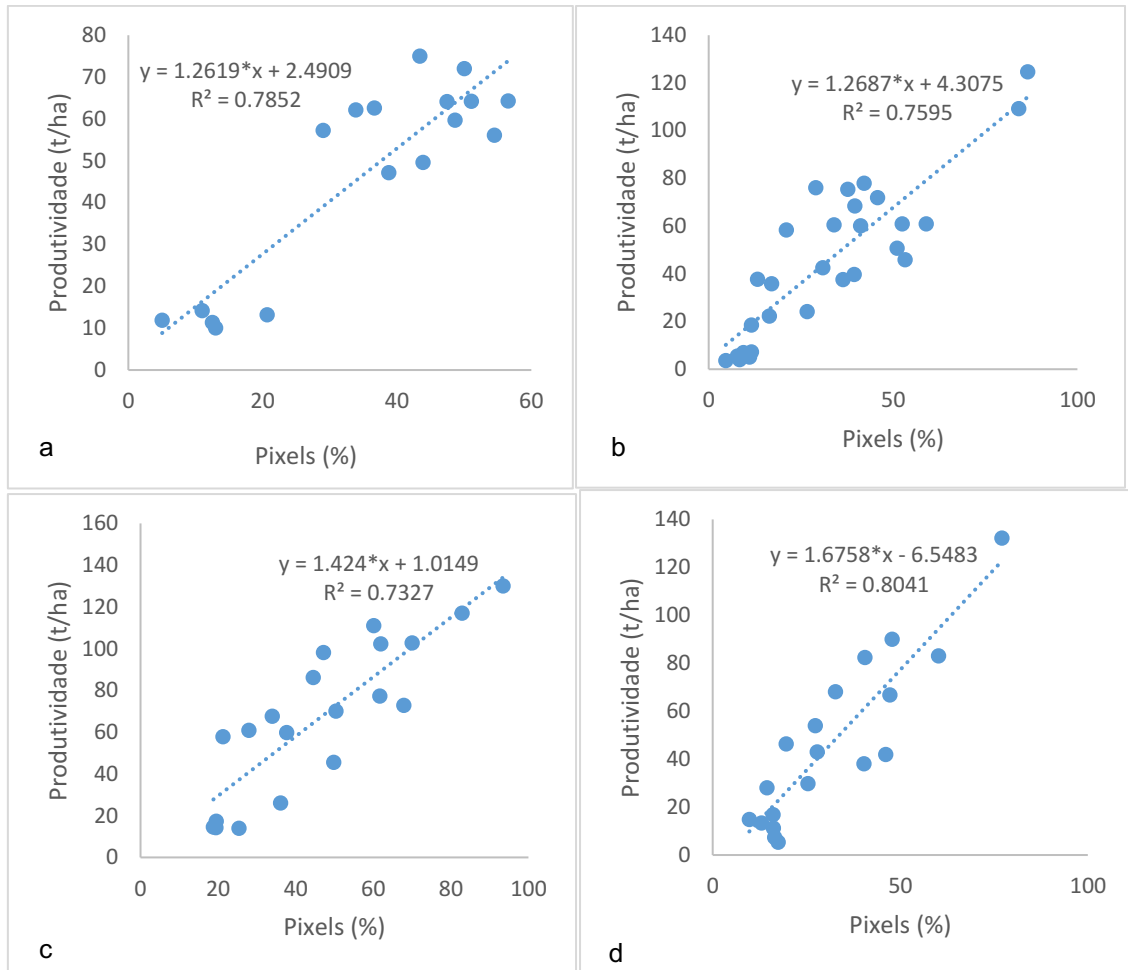


Figura 4. Produtividade de matéria fresca estimada por imagens aéreas de plantas de palma forrageira das cultivares Gigante (a), Miúda (b), Orelha de elefante (c) e IPA Sertânia (d).

Já para a produtividade de matéria seca e a porcentagem de pixels foi possível prever a produtividade com valor de coeficiente de determinação superior a 72% para todas as cultivares de palma (Figura5). O coeficiente de determinação foi alto para a massa fresca acima de 73% e acima de 70% para a produtividade de matéria seca. O coeficiente de determinação menor para a matéria seca pode indicar o maior erro experimental para sua avaliação, já que para a obtenção do seu valor é necessário obter redução de umidade da massa por secagem e mensuração do peso final.

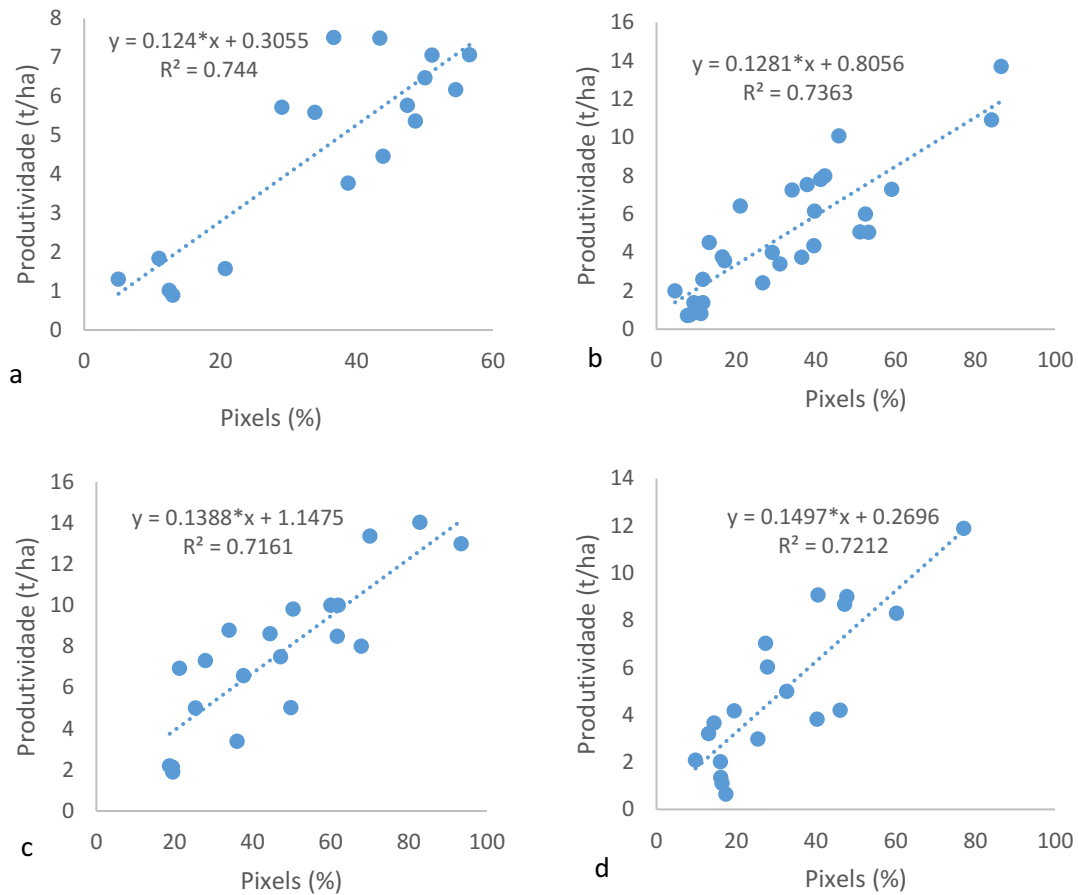


Figura 5. Produtividade de matéria seca estimada por imagens aéreas de plantas de palma forrageira das cultivares Gigante (a), Miúda (b), Orelha de elefante (c) e IPA Sertânia (d).

A predição do número de cladódios a partir de modelo único para todas as cultivares obteve um coeficiente de determinação baixo (Figura 6a).

Para a predição da produtividade de matéria fresca foi observado coeficiente de determinação de 77%. Esta estimativa indica ser possível ajustar um único modelo para a predição da produtividade das quatro cultivares. Já para a matéria seca, a predição possibilitou um coeficiente de determinação menor de 68% (Figura 6c).

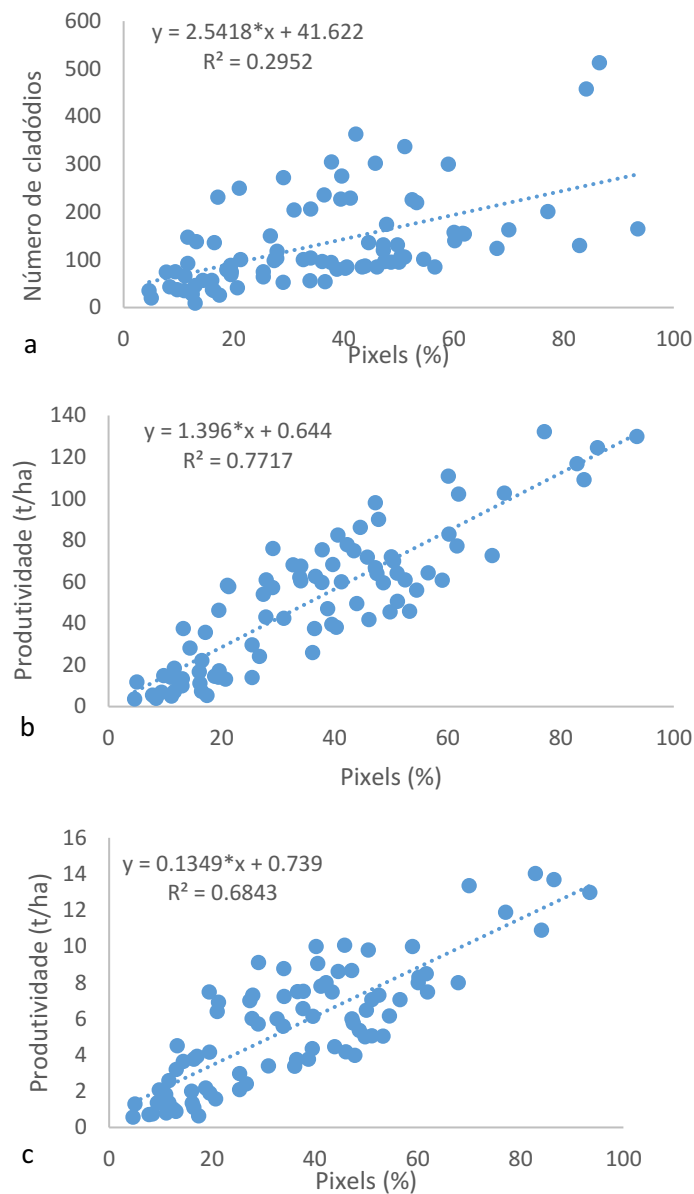


Figura 6. Número de cladódios (a), produtividade de matéria fresca (b) e seca (c) estimada por imagens aéreas de plantas de palma forrageira das cultivares Gigante, Miúda, Orelha de elefante e IPA Sertânia.

A predição em modelo de regressão único não é ideal para prever o número de cladódios e a produtividade de matéria seca (Figura 6a e 6c). Isso provavelmente ocorreu devido a diferença na produção de cladódios de cada cultivar, como é o caso da cultivar Miúda que possui maior número de cladódios e menor tamanho de cladódios, diferente das demais cultivares de palma forrageira (Tabela 1). Porém, para a produtividade de matéria fresca bons resultados foram obtidos, com coeficiente de determinação de 77% (Figura 6b). A possibilidade de uso de

biomassa ou características como altura e número de folhas são importantes componentes para avaliar a produtividade de culturas. E o uso de imagens ou pixels para prever rendimentos de grãos, sanidade da cultura ou alguma falha no stand otimiza o tempo e manejo do produtor rural sem necessariamente aumentar o seu custo de produção (Namho, 2020; Trindade *et al.*, 2019; Sandra; Inayah, 2020).

Imagens digitais, obtidas com equipamentos de baixo custo, podem ser usadas para facilitar o manejo no campo e prever produção de massa fresca e seca de cladódios de palmas forrageiras. A metodologia utilizada nesta pesquisa facilita o manejo no campo, é econômica e pode ser usada sem a destruição total do material vegetal sendo uma ferramenta de grande importância para a agricultura no futuro (Noori; Panda, 2016).

Por ser a avaliação não destrutiva, várias avaliações podem ser feitas nas mesmas plantas durante todo o ciclo da cultura, ou do experimento, tendo ainda a vantagem de ser feita de forma rápida e acurada (Prilianti *et al.*, 2019). Portanto, pode-se inferir que a metodologia desenvolvida possui alto potencial para uso na fenotipagem de alta eficiência através da análise de imagens para predição da produtividade em palma forrageira. O que pode possibilitar o desenvolvimento de equipamentos para a extração de informações em campo, além de armazenar a imagem em um banco de dados para consultas e comparações futuras (Haque *et al.*, 2021).

CONCLUSÃO

É possível estimar a produtividade da palma forrageira por meio de imagens aéreas obtidas por equipamentos de baixo custo.

O uso de modelos ajustados individualmente para cada cultivar possibilita a maior precisão das estimativas. Porém, é possível utilizar um modelo único para as quatro cultivares estudadas com coeficiente de determinação superior a 77% na estimação da produtividade de matéria fresca, o que indica uma boa precisão.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 2013.
- AZEVEDO, Alcinei Místico. “**Explmage**”: Ferramenta para análise de imagens em experimentos. (Programa). 2022.
- BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chem.** v. 241, 127-134, 2018.
- BERTOLIN, N. O. *et al.* Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, 2017.
- CARGNELUTTI, A. *et al.* Dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de plantas de timbaúva. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1: 1-9, 2018.
- DONATO, P. E. *et al.* Morfometria e rendimento da palma forrageira “Gigante” sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 9: 151-158, 2014.
- FERRAZ, R. L. S. *et al.* A Estimation of productivity gain by irrigated and fertilized forage palm plants (*Opuntia ficus-indica*(L.) Mill. and *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck): systematic review and meta-analysis. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, p. 1873-1882, 2019.
- GUIMARÃES, B. V. C. *et al.* Methods for estimating optimum plot size for ‘Gigante’ cactus pear. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 347-351, 2019a.
- GUIMARÃES, B. V. C. *et al.* Methods for estimating optimum plot size for ‘Gigante’ cactus pear. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 205-2015, 2019b.
- GUIMARÃES, B. V. *et al.* Prediction of ‘Gigante’ cactus pear yield by morphological characters and artificial neural networks. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 315-319, 2018.
- HAQUE, S. *et al.* Computer vision approach to characterize size and shape phenotypes of horticultural crops using high-throughput imagery. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 182, 2021.
- HUNT JR, E. R.; DAUGHTRY, C. S. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture? **Int. J. Remote Sens.** v. 39, p. 5345–5376, 2018.
- INTERNATIONAL UNION OF SOIL SCIENCE WORKING – IUSS. **World Reference Base for Soil Resources (WRB)**, 2015. Disponível em: <<https://www.iuss.org/world-of-soils/>>. Acesso em: 12 out. 2020.

LOPES, L. *et al.* Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **PUBVET**, v. 13, n. 2, 2019.

NHAMO, L. *et al.* Improving the accuracy of remotely sensed irrigated areas using post-classification enhancement through UAV capability. **Remote Sens.** v. 10, n. 5, 2018.

NHAMO, L. *et al.* Prospects of improving agricultural and water productivity through unmanned aerial vehicles. **Agriculture**, v. 10, n. 7, 2020.

NOORI, O.; PANDA, S. S. Site-specific management of common olive: Remote sensing, geospatial, and advanced image processing applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 680-689, 2016.

PEREIRA, M. C. D. A. *et al.* Production of forage palm cultivars (Orelha de Elefante Mexicana, IPA-Sertania and Miuda) under different salinity levels in irrigation water. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, p. 977 – 982, 2021.

POUND, M. P. *et al.* Deep machine learning provides state-of-the-art performance in image-based plant phenotyping. **Gigascience**, v. 6, n. 10, 2017.

PRILIANTI, K. R. *et al.* Performance Comparison of the Convolutional Neural Network Optimizer for Photosynthetic Pigments Prediction on Plant Digital Image. Proceedings of the Symposium on BioMathematics (SYMOMATH). **AIP Conference Proceedings**, v. 50, p.1409-1421, 2019.

SANDRA, R. D.; INAYAH, Z. Nitrogen Fertilizer Prediction of Maize Plant with TCS3200 Sensor Based on Digital Image Processing. International Conference of Sustainability Agriculture and Biosystem. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 515, n. 1, 2020.

SHI, Y. *et al.* Unmanned aerial vehicles for high-throughput phenotyping and agronomic research. **PLoS ONE**, v. 11, n. 7, 2016.

TRINDADE, F. S. *et al.* Relação espectro-temporal de índices de vegetação com atributos do solo e produtividade da soja. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 62, 2019.

TUMLISAN, G. Y. **Monitoring growth development and yield estimation of maize using very high-resolution UAV-images in Gronau, Germany.** Enschede, The Netherlands University of Twente, 2017.

UBBENS, J. R.; STAVNESS, I. Deep plant phenomics: a deep learning platform for complex plant phenotyping tasks. **Frontiers in plant science**, v. 8, 2017.

VOLPE, M. *et al.* Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technol.** v. 247, p. 310-318, 2018.

YUA, W. *et al.* Early prediction of soybean traits through color and texture features of canopy RGB imagery. **Scientific reports**, v. 9, p. 1-17, 2019.

6 ANEXOS

Anexo 1. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) no quarto mês após o plantio.

Fonte de Variação	NC	CR	LR	ER
Cultivares	6,40**	172,84**	146,43**	51,20**
Bloco	0,61 ^{ns}	17,13**	5,97**	16,38**
Resíduo	0,74	1,92	0,61	0,74**
CV %	25,16	7,11	8,09	8,67

NC: Número de Cladódios, CR: Comprimento da Raque, LR: Largura da Raque, ER: Espessura da Raque. *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Anexo 2. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) no oitavo mês após o plantio

Fonte de Variação	NC	CR	LR	ER
Cultivares	83,84**	278,20**	138,61**	116,69**
Bloco	2,53 ^{ns}	10,21**	2,18*	11,12**
Resíduo	2,91	2,20	0,53	1,32
CV (%)	24,14	6,63	6,77	12,15

NC: Número de Cladódios, CR: Comprimento da Raque, LR: Largura da Raque, ER: Espessura da Raque. *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Anexo 3. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) no nono mês após o plantio.

Fonte de Variação	AP	LP	MF	MS	NCC
Bloco	125,22 ^{ns}	25,69 ^{ns}	0,28 ^{ns}	7,60 ^{ns}	1,64 ^{ns}
Cultivares (F1)	168,69 ^{ns}	185,47 ^{ns}	0,42 ^{ns}	57,69**	44,60**
Manejos (F2)	25,11 ^{ns}	66,39 ^{ns}	7,50**	23,16 ^{ns}	104,58**
F1*F2	56,14 ^{ns}	147,62 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,74 ^{ns}	7,65 ^{ns}
Resíduo	61,39	87,23	0,26	7,69	3,01
CV (%)	15,34	18,86	41,44	20,16	29,87

NC: Número de Cladódios, CR: Comprimento da Raque, LR: Largura da Raque, ER: Espessura da Raque. *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Anexo 4. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) no décimo primeiro mês após o plantio.

Fonte de Variação	NB
Bloco	2,39 ^{ns}
Cultivares (F1)	48,11 ^{**}
Manejos (F2)	39,82 ^{**}
F1*F2	3,50 ^{ns}
Resíduo	2,19
CV (%)	38,93

Número de Brotos sessenta dias após a colheita. Nota *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

Anexo 5. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) no décimo segundo mês após o plantio.

Fonte de Variação	NB	NC	CC	LC	EC
Bloco	7,97 ^{ns}	8,64 ^{ns}	24,11*	4,60*	8,62 ^{**}
Cultivares (F1)	32,14 ^{**}	42,65 ^{**}	64,03 ^{**}	45,67 ^{**}	18,60 ^{**}
Manejo (F2)	13,26*	170,89 ^{**}	6,31 ^{ns}	0,12 ^{ns}	5,48 ^{ns}
F1*F2	4,38 ^{ns}	6,91 ^{ns}	2,72 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Resíduo	3,02	3,31	5,83	1,09	1,36
CV (%)	26,61	22,55	12,13	10,97	17,85

Número de Brotos noventa dias após a colheita Número de Cladódios, Comprimento da Raque, Largura da Raque, Espessura da Raque.

Nota *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

Anexo 6. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) da média no décimo quinto mês após o plantio.

Fonte de Variação	NC	AP	LP	MF	%MS
Cultivares	290,45**	367,90*	474,56*	6,85*	1,10 ^{ns}
Bloco	4,45 ^{ns}	32,99 ^{ns}	7,87 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Resíduo	17,09	91,36	79,98	1,53	0,51
CV (%)	28,08	11,41	12,67	25,66	7,41

Altura de Planta, Largura de Planta, Matéria Fresca, Número de Colhidos. Nota *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

Anexo 7. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) da Altura de Planta (AP) aos 30, 60 e 90 dias após o segundo corte do manejo 3 (décimo sexto, sétimo e oitavo mês).

Fonte de Variação	30 DAC	60 DAC	90DAC
Bloco	522,9 ^{ns}	259,92 ^{ns}	36,86 ^{ns}
Cultivares (F1)	760,5 *	703,37 **	443,72**
Manejo (F2)	3.300,5 **	1.535,66 **	898,32**
F1*F2	216,5*	189,39 ^{ns}	302,03*
Resíduo	111,2	91,96	93,44
CV (%)	19,84	15,79	14,57

Nota *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

Anexo 8. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) da Número de Cladódios (NC) aos 30, 60 e 90 dias após o segundo corte do manejo 3 (décimo sexto, sétimo e oitavo mês).

Fonte de Variação	30 DAC	60 DAC	90 DAC
Bloco	26,28 ^{ns}	16,70 ^{ns}	30,15 ^{ns}
Cultivares (F1)	93,33**	124,87**	193,20**
Manejo (F2)	409,28**	70,37*	91,14*
F1*F2	14,90 ^{ns}	13,57 ^{ns}	27,40 ^{ns}
Resíduo	12,99	9,73	12,30
CV (%)	38,24	30,52	24,53

Nota *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

Anexo 9. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) no vigésimo primeiro mês após o plantio.

Fonte de Variação	AP	LP	MF	MS	NCC	%MS
Bloco	2111.10 **	2330.04 **	1.44 ^{ns}	75.17 *	57.83 ^{ns}	203.79 ^{ns}
Cultivares (F1)	1205.71 **	473.08 ^{ns}	21.784 **	85.83 *	1083.96**	632.78 *
Manejos (F2)	1273.40 **	1893.25 **	103.23**	24,14 ^{ns}	135.43**	1134.64 **
F1*F2	286.07 ^{ns}	132.01 ^{ns}	4.33 ^{ns}	42,11 ^{ns}	79,63**	184.96 ^{ns}
Resíduo	186.15	289.66	3.87	21.56	22.32	196.71
CV (%)	15,34	23.33	21.3	13.58	26,15	31.48

Número de Cladódios, Matéria Fresca, Matéria Seca. Nota *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

Anexo 10. Resumo dos quadrados médios e coeficiente de variação (cv) da Produção total de NC, MF e MS avaliada nos três cortes.

Fonte de Variação	NC	MF	MS
Bloco	128.76 ^{ns}	29.26 ^{ns}	0.45 ^{ns}
Cultivares (F1)	62.52 ^{ns}	2.99 ^{ns}	0.95 ^{ns}
Manejos (F2)	13.55 ^{ns}	1.40 ^{ns}	4.54 ^{ns}
F1*F2	108.04 ^{ns}	14.33 ^{ns}	1.38 ^{ns}
Resíduo	186.15	289.66	2.65
CV (%)	58.21	50.12	44.66

Altura de Planta, Largura de Planta, Matéria Fresca, Matéria Seca, Número de Colhidos. Nota *,** significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).