



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

**ÉVERTON DIAS DE NEGREIROS**

**Estimativa da Área do Cladódio em Palma Forrageira Orelha  
de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw)**

**AREIA**

**2024**

**ÉVERTON DIAS DE NEGREIROS**

**Estimativa da Área do Cladódio em Palma Forrageira Orelha de Elefante Mexicana  
(*Opuntia stricta* Haw)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à  
Coordenação do Curso de Agronomia da  
Universidade Federal da Paraíba, como requisito  
parcial à obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo.

**Orientador:** Prof. Dr. Adailson Pereira de Souza

**AREIA**

**2024**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

N385e Negreiros, Everton Dias de.

Estimativa da Área do Cladódio em Palma Forrageira  
Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw) /  
Everton Dias de Negreiros. - Areia:UFPB/CCA, 2024.  
31 f. : il.

Orientação: Adailson Pereira de Souza.  
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Fator de correção. 3. Medidas  
morfométricas. 4. Semiárido. I. Souza, Adailson Pereira  
de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

**ÉVERTON DIAS DE NEGREIROS**

**Estimativa da Área do Cladódio em Palma Forrageira Orelha de Elefante  
Mexicana (*Opuntia stricta Haw*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 10/05/2024

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Adailson Pereira de Souza (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



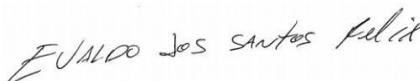
---

Dra. Daniela Batista da Costa  
INSA/MCTICI



---

Dra. Erika Socorro Alves Graciano de Vasconcelos  
INSA/MCTICI



---

MSc. Evaldo dos Santos Felix  
INSA/MCTICI

Dedico.

Aos meus pais Evandro Vidal de Negreiros e Marileide Dias de Negreiros, por todo amor, compreensão, educação, orações e por acreditarem em minha capacidade.

Incentivando, apoiando minhas escolhas e não medindo esforços para realizá-las.

Ao meu irmão Thalys Sthepano Dias de Negreiros, por todo amor, carinho e amizade.

À minha tia Marilene de Lima Costa (*in memoriam*), à minha avó Adelina Olímpio dos Santos (*in memoriam*). À minha família e amigos em geral, por todo apoio e torcidas em momentos tristes e alegres.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Adailson Pereira de Souza pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e pela dedicação.

Ao meu pai Evandro Vidal de Negreiros, a minha avó Adelina Olímpio dos Santos (*in memoriam*), a minha tia Marilene de Lima Costa (*in memoriam*), pela compreensão por minha ausência nas reuniões familiares, embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força.

A minha mãe, Marileide Dias de Negreiros.

Aos professores do Curso da UFPB, em especial, Adailson Pereira de Souza por me permitir participar do Projeto de Nutrição da Palma Forrageira, em vários momentos auxiliar nas atividades acadêmicas e por acreditar na minha capacidade como profissional em formação, a Professora Rejane Maria Nunes Mendonça que em vários momentos nos auxiliou não só como um profissional em formação, mais como um filho, ao Professor Djail Santos que compartilhou de momentos únicos nessa jornada, mostrando-me como um profissional deve se portar, ao Professor Mauricio Javier de Leon por ter mostrado um outro lado pelo qual me inspirei como profissional que é a área de máquinas agrícolas, todos eles que contribuíram ao longo desses semestres, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos funcionários da UFPB, Francisco de Assis Ferreira, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário, Lanúbia e Fernanda.

Aos colegas Robson Vinício dos Santos, Albertino Antônio dos Santos, Thiago Alves Moura, Nicollas Bernardo Ferreira da Silva, Antônio José Alves da Silva Santos, pelos momentos de amizade e apoio.

## RESUMO

A região semiárida é caracterizada pela instabilidade climática que acaba limitando o desempenho e desenvolvimento de algumas atividades agrícolas e pecuárias no Nordeste brasileiro. A palma forrageira (*Opuntia stricta* Haw) tem sido estudada e utilizada na agropecuária em regiões de clima árido e semiárido de várias partes do mundo, sobretudo, devido a sua adaptação a solos pobres e condições climáticas adversas, representa uma opção alimentar eficiente e não destrutiva em períodos de seca. A avaliação da área do cladódio é fundamental para compreender o desempenho da planta, porém existem métodos diretos e indiretos para obter a área foliar, sendo mais comum o uso de modelos matemáticos lineares. Então, objetivou-se por meio deste estudo, determinar a área de cladódio utilizando uma fórmula matemática com fator de correção em comparação a diferentes métodos já existentes. Dessa forma, na determinação da área dos cladódios (AC) foram utilizados dois métodos diretos (Planimétrico – APL e Peso do Papel – APP) e um método indireto (Medidas Biométricas – AMB) para a comparação. As análises de regressão das dimensões do cladódio demonstraram que houve diferenças significativas a 1% na comparação com os demais métodos, principalmente para a área dos cladódios avaliados. Os modelos de regressão linear simples demonstram que todas as variáveis independentes testadas (Aplan, Aqua, Aret, Acirc, FORM) são preditores significativos da APP. A correlação que variou entre 0.9243 e 0.9673, indicando que essas variáveis possuem alta eficácia na determinação da área do cladódio. Levando em consideração os altos valores da correlação, observou-se que os métodos com maior precisão foram o do círculo ( $R^2 = 0,9673$ ) e o método da fórmula ( $R^2 = 0,9673$ ), indicando uma precisão maior que os demais métodos.

**Palavras-Chave:** fator de correção; medidas morfométricas; semiárido.

## ABSTRACT

The semi-arid region is characterized by climatic instability, which ends up limiting the performance and development of some agricultural and livestock activities in the Brazilian Northeast. The forage cactus (*Opuntia stricta* Haw) has been studied and used in agriculture in arid and semi-arid regions worldwide, mainly due to its adaptation to poor soils and adverse climatic conditions, representing an efficient and non-destructive food option during dry periods. The evaluation of cladode area is essential to understand the plant's performance, but there are direct and indirect methods to obtain leaf area, with the use of linear mathematical models being more common. Therefore, this study aimed to determine cladode area using a mathematical formula with correction factor compared to different existing methods. Thus, two direct methods (Planimetric – APL and Paper Weight – APP) and one indirect method (Biometric Measures – AMB) were used for comparison in determining cladode area (CA). Regression analyzes of cladode dimensions showed significant differences at 1% compared to other methods, mainly for the evaluated cladode area. Simple linear regression models demonstrate that all tested independent variables (Aplan, Aqua, Aret, Acirc, FORM) are significant predictors of APP. The correlation ranged from 0.9243 to 0.9673, indicating that these variables have high efficacy in determining cladode area. Considering the high correlation values, it was observed that the methods with the highest precision were the circle method ( $R^2 = 0.9673$ ) and the formula method ( $R^2 = 0.9673$ ), indicating even precision than other methods.

**Keywords:** correction factor; morphometric measurements; semiarid.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 01</b> – Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área do Planímetro do cladódio da palma forrageira..... | 11 |
| <b>Figura 02</b> – Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área do Quadrado do cladódio da palma forrageira.....   | 12 |
| <b>Figura 03</b> – Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área do Retângulo do cladódio da palma forrageira.....  | 13 |
| <b>Figura 04</b> – Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área do Círculo do cladódio da palma forrageira.....    | 13 |
| <b>Figura 05</b> – Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área da Formula do cladódio da palma forrageira.....    | 14 |

## APÊNDICE A

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| <b>Imagem 01:</b> Croqui da Área do Experimento..... | 19 |
|------------------------------------------------------|----|

## **ANEXO A**

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Imagem 02</b> – Recortes das raquetes de palma desenhados em papel ofício.....    | 20 |
| <b>Imagem 03</b> – Planímetro realizando o contorno da área da raquete de palma..... | 20 |
| <b>Imagem 04</b> – Palmal.....                                                       | 21 |
| <b>Imagem 05</b> – Campo experimental, unidade – I.....                              | 21 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 01</b> - Características químicas nas profundidades de 0 a 10 cm e 0 a 20 cm, e físicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm..... | 06 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## SUMÁRIO

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                               | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                    | <b>14</b> |
| 2.1      | PALMA FORRAGEIRA .....                                | 14        |
| 2.2      | MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ÁREA DO CLADÓDIO EM PALMA ..... | 15        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                              | <b>17</b> |
| 3.1      | PLANIMÉTRICO – APL .....                              | 18        |
| 3.2      | PESO DO PAPEL – APP .....                             | 19        |
| 3.3      | MEDIDAS BIOMÉTRICAS – AMB .....                       | 19        |
| 3.3.1    | <i>Área do Quadrado (AMB-Q) .....</i>                 | <i>19</i> |
| 3.3.2    | <i>Área do Retângulo (AMB-R) .....</i>                | <i>20</i> |
| 3.3.3    | <i>Área do Círculo (AMB-C) .....</i>                  | <i>20</i> |
| 3.4      | FÓRMULA DESENVOLVIDA ( <i>FORM</i> ) .....            | 20        |
| 3.5      | ANÁLISE ESTATÍSTICA .....                             | 21        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                   | <b>22</b> |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                | <b>26</b> |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                              | <b>27</b> |
| <b>7</b> | <b>ANEXO A .....</b>                                  | <b>29</b> |
| <b>8</b> | <b>APÊNDICE A .....</b>                               | <b>31</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A região semiárida é caracterizada pela instabilidade climática que acaba limitando o desempenho e desenvolvimento de algumas atividades agrícolas e pecuárias no Nordeste brasileiro. Essa região é caracterizada por apresentar escassez e irregularidades de chuvas, que provocam a estacionalidade de produção, e associado a presença de solos rasos com baixa capacidade de retenção de umidade, diminuem consideravelmente a disponibilidade de forragem no período seco, impactando a viabilidade da produção animal (SILVA *et al.*, 2014).

A palma forrageira (*Opuntia stricta* Haw) tem sido estudada e utilizada na agropecuária em regiões de clima árido e semiárido de várias partes do mundo, sobretudo, devido a sua adaptação a solos pobres e condições climáticas adversas, representa uma opção alimentar eficiente e não destrutiva em períodos de seca. Originária do México, foi introduzida no Brasil no final do século XIX e encontrou condições para o seu desenvolvimento, sendo no Nordeste que a mesma se fortaleceu, tornando se a marca registrada de exploração de sistemas produtivos da região.

O Brasil é o país com maior cultivo da palma forrageira, apresentando produtividade em torno de 600 t de massa verde ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, quando produzida com tecnologia de manejo de irrigação e adubação (MARQUES *et al.*, 2017). Devido à sua resistência a essas adversidades, a palma forrageira é considerada uma fonte estratégica de forragem, contribuindo significativamente para a sustentabilidade da pecuária na região (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Apesar de palma ser bastante reconhecida pelo seu uso na alimentação animal, são poucos os estudos acerca da determinação da área do cladódio como forma de avaliar as respostas as condições edafoclimáticas impostas para seu desenvolvimento e sua influência no desempenho da produção. Sua avaliação cuidadosa e a compreensão de suas relações com outras variáveis são essenciais para o desenvolvimento de estratégias de manejo eficazes e para garantir o sucesso do cultivo dessa importante cultura forrageira (SILVA *et al.*, 2015).

A avaliação da área do cladódio é fundamental para compreender o desempenho da planta em diferentes ambientes de cultivo e sob diferentes condições climáticas. Essa medida não apenas fornece informações sobre a capacidade fotossintética da palma forrageira, mas também permite estimar a quantidade de forragem disponível para os animais e a

qualidade nutricional dessa forragem (SILVA *et al.*, 2015).

Existem métodos diretos e indiretos para obter a área foliar, sendo que a técnica de imagens digitais tem se destacado como uma alternativa eficaz e econômica. Essa técnica envolve o uso de scanner comercial e programas computacionais para processar as imagens e calcular a área desejada. No entanto, para a palma forrageira, ainda não há estudos que tenham aplicado essa técnica de imagens digitais. O método mais comum envolve o uso de modelos matemáticos lineares, elaborados para outras espécies de cactáceas, como a *Opuntia stricta*. Portanto, há uma necessidade evidente de desenvolver modelos matemáticos específicos que considerem as características dos diferentes clones de palma forrageira e as condições edafoclimáticas de diversas regiões de estudo.

As medidas morfométricas na palma forrageira são ferramentas valiosas para estudar e avaliar o crescimento, a saúde e a produtividade das plantas. Essas medidas incluem, mas não se limitam a, altura dos cladódios, largura, espessura, número de cladódios por planta, área foliar, massa fresca e seca. Apesar do crescente número de pesquisas com palma forrageira, ainda existe um déficit de informações quanto a cactácea.

Neste contexto, segundo a literatura os métodos destrutivos para se estimar a área do cladódio são mais eficazes que os não-destrutivos. Então, objetivou-se por meio deste estudo, determinar a área de cladódio utilizando uma fórmula matemática com fator de correção em comparação a diferentes métodos já existentes.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PALMA FORRAGEIRA

Na região Nordeste, especialmente onde o clima é semiárido, uma importante característica do clima são as chuvas irregulares e em períodos curtos (PERAZZO *et al.*, 2017). Isto torna difícil a realidade daqueles que vivem do campo, afinal, torna-se desafiador criar e cultivar em condições climáticas como esta. Assim, a busca por alternativas que tornem mais fácil a vida do trabalhador do campo vem ganhando força. Insere-se portanto o plantio de plantas forrageiras que tenham a capacidade de suportar as condições climática do local, como a palma forrageira.

Originária do México, a palma forrageira é uma cactácea encontrada em vários continentes, com exceção das zonas polares, haja vista as características climáticas do lugar (NUNES, 2011). A planta considerada exótica é uma das principais fontes de alimento para os ruminantes, destacando-se ainda mais nas épocas de longas estiagens, graças ao seu perfil resistente, rústico, expansivo e adaptável ao clima semiárido (CORREIA, 2014). Assim, a palma forrageira é adaptável por questões anatômicas, morfológicas e fisiológicas em climas semiáridos (NUNES, 2011).

A fim de suportar a rigorosidade climática e as condições específicas físico-químicas do solo semiárido, a palma forrageira demonstra um metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) é o mecanismo fotossintético dos cactos (ZELITCH, 2012). O mecanismo CAM normalmente confere às Cactaceae um uso eficiente da água e um crescimento lento, com maior persistência do seu valor nutritivo. Desta forma, a palma forrageira é considerada uma boa opção para regiões em que o clima semiárido prevalece (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A respeito da sua composição, a planta conta, quimicamente, com: 10% de matéria seca (MS), 4 a 6 % de proteína bruta (PB), 26 a 32% de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e 50 a 60% de carboidratos não fibrosos (CNF). Desta forma, os níveis baixos de carboidratos fibrosos se contrabalançam com os níveis altos dos não-fibrosos, caracterizando a palma forrageira como uma boa fonte alimentar de energia. Cumpre apontar ainda que, além de boa fonte de recursos energéticos, a planta também é uma fonte interessante de água para os ruminantes em períodos de estiagem, onde a água se torna escassa, fornecendo ao animal o que ele necessita de água em seu corpo (FERREIRA *et al.*, 2008).



Neste sentido, a palma forrageira (*Opuntia stricta*) é uma cultura bastante adaptada as condições edafoclimáticas das regiões semiáridas, sendo uma alternativa para alimentação animal, como aos altos teores de carboidratos não fibrosos e nutrientes digestíveis totais (CUNHA *et al.*, 2012), que atuam diretamente na produção de biomassa e na eficiência fotossintética realizada pelos cladódios (CAVALCANTE *et al.*, 2014).

## 2.2 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ÁREA DO CLADÓDIO EM PALMA

De acordo com a morfologia botânica, o cladódio tem funções parecidas com a de uma folha. Então, a determinação a área fotossintética do cladódio é uma ferramenta fundamental no estudo da intensidade da transpiração, taxa de área foliar, área foliar específica e índice de área foliar (SCHIMILDT *et al.*, 2014), podendo ser obtida através de métodos diretos, em que as medições são realizadas nas folhas usando-se equipamentos eletrônicos e análise planimétrica, e por métodos indiretos, na qual estimam a área foliar a partir da correlação de medidas simples e não destrutivas da folha (SILVA *et al.*, 2014).

A área foliar pode ser obtida através de métodos diretos, em que as medições são realizadas nas folhas usando-se equipamentos eletrônicos e análise planimétrica, e por métodos indiretos, os quais estimam a área foliar a partir da correlação de medidas simples e não destrutivas da folha (ADAMI *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2011; GODOY *et al.*, 2007; MARCON *et al.*, 2011).

De acordo com Silva *et al.* (2014), a utilização de imagens em formato digital vem sendo cada vez mais utilizadas com a intenção de quantificar a área foliar das plantas. Para isso, utiliza-se scanner comercial e programas de computador que viabilizem o processamento das imagens, fazendo o cálculo da área que se deseja por meio da contagem de pixels e conversão em área. Esta maneira de alcançar resultados tem um custo menor e uma acurácia similar ao dos integradores de área foliar. Contudo, os autores orientam que é necessário avaliar o desempenho do método comparando com os métodos diretos de medição.

Para a palma forrageira não há estudos com a aplicação dessa técnica de imagens digitais. O mais comum é o uso de modelos matemáticos lineares, elaborados para *Opuntia ficusindica* (L.) por Cortázar e Nobel (1991), amplamente utilizado em pesquisas com essa cultura.

De acordo com o experimento de Silva *et al.* (2014), a técnica de imagens alcançadas de maneira digital usada para definir a área dos cladódios coletados passou por adaptações na metodologia de escaneamento e no processamento da imagem. As etapas foram: Escaneamento

dos Cladódios, Adaptações no Escaneamento, Definição da Resolução e Formato da Imagem, Tratamento de Cladódios de Dimensões Superiores, Processamento da Imagem pelo Software "LAFore".

Para Curtt (2019), o Índice de Área Foliar expressa a proporção da planta que cobre do solo, por este motivo é tão importante definir o IAC e, a partir dele, definir quais as melhores práticas de manejo a serem adotadas.

Analisando as informações e os estudos a respeito do tema, é possível compreender que é muito importante medir a área foliar de determinada cultura, uma vez que há uma ligação direta entre esta área e as taxas fotossintéticas e transpiração da planta, ou seja, por meio dela, observa-se a capacidade que a planta tem de capturar a radiação e trocar gases com o ambiente em que ela está inserida, demonstrando a capacidade produtiva da cultura (GUIMARÃES *et al.*, 2002).

Dentre os métodos de estimativa mais comumente utilizados para utilizados para a medição foliar, é possível citar o método das dimensões foliares e o método do aparelho LICOR. O primeiro método é compreendido como não-destrutivo indireto, e se caracteriza pela estimativa realizada por intermédio do produto entre o maior comprimento e a largura maior da folha, com a correção por meio do formato da mesma. Já o outro método é conhecido como destrutivo direto, que faz um cálculo da área foliar por meio do princípio de células de grade de área identificada, onde a acurácia é superior aos outros métodos conhecidos (CURTT, 2019).

Os métodos não destrutivos normalmente são utilizados quando há pouco material a ser analisado, quando há necessidade de acompanhamento da planta por um período maior e quando aguarda-se o resultado *in situ* (BLANCO & FOLEGATTI, 2005). Já no que diz respeito ao método destrutivo direto, há uma exigência de retirada de folhas, o que requer uma área de maior para o experimento. Contudo, é interessante apontar que os métodos destrutivos são mais simples e tem maior precisão do que os não-destrutivos (AQUINO *et al.*, 2011).

Sendo assim, no quesito das aplicações práticas da obtenção do Índice de Área Foliar (IAC) de uma cultura, observa-se uma possibilidade grande de auxílio em estudos a respeito de plantas, como o seu desenvolvimento, a sua produtividade, a sua competitividade e transpiração, entre outros aspectos. Na literatura, os modelos matemáticos mais usados na estimativa da área foliar das plantas são os lineares e exponenciais assumindo valores de CC, LC ou CC.LC, (Adami *et al.*, 2008; Godoy *et al.*, 2007).

### 3 METODOLOGIA

Os dados obtidos para esse estudo foram coletados de um experimento de nutrição da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, do gênero *Opuntia*, conduzido em condições de campo na Estação Experimental Ignacio Hernán Salcedo, pertencente ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), situado na Mesorregião do Agreste Paraibano e no município de Campina Grande, microrregião de Campina Grande, no estado da Paraíba, no período de Dezembro de 2022 a dezembro de 2023.

O solo da área experimental é classificado como PLANOSSOLO NÁTRICO Sílico, com textura Franco Arenosa (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas nas profundidades de 0 a 10 cm e 0 a 20 cm, e físicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm.

| Química e Fertilidade |                        |                                    |      |                |                 |                    |      |                  |      |      |      |              |
|-----------------------|------------------------|------------------------------------|------|----------------|-----------------|--------------------|------|------------------|------|------|------|--------------|
| Prof<br>(cm)          | pH<br>H <sub>2</sub> O | P<br>-----mg/dm <sup>3</sup> ----- | S    | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | H+Al <sup>+3</sup> | Al+2 | Ca <sup>+2</sup> | Mn+2 | SB   | CTC  | MO<br>-g/kg- |
| 0 a<br>10             | 5,8                    | 3,11                               | 1,39 | 14,48          | 0,10            | 5,20               | 0,20 | 2,23             | 1,42 | 3,79 | 8,98 | 10,51        |
| 0 a<br>20             | 5,6                    | 0,53                               | 1,83 | 37,55          | 0,65            | 5,02               | 0,30 | 2,20             | 1,46 | 4,41 | 9,42 | 7,79         |

P, K, Na: Extrator Mehlich 1; SB: Soma de Bases Trocáveis; H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 M, pH; M.O: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; Al, Ca, Mg: Extrator KCL 1 M; S: Extrator Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 0,01 M.

| Física       |                |      |        |                 |                    |                        |                        |                                   |                           |    |    |                 |
|--------------|----------------|------|--------|-----------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----|----|-----------------|
| Prof<br>(cm) | Areia          | Silt | Argila | Argila dispersa | Grau de flocluação | Densidade do solo      | Densidade da partícula | Porosidade de total               | Umidade<br>0,01 0,03 1,50 |    |    | CLASSE TEXTURAL |
|              | -----g/kg----- |      |        | -g/kg-          | --g/kg--           | --g/cm <sup>3</sup> -- | --g/cm <sup>3</sup> -- | -m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> - | ---g/kg---                |    |    |                 |
| 0 a<br>20    | 748            | 168  | 84     | 25              | 702                | 1,52                   | 2,65                   | 0,42                              | 105                       | 78 | 36 | Franco Arenoso  |

O experimento foi conduzido no espaçamento de 1,7 m entre linhas, de 0,30 m entre fileiras duplas e 0,10 m entre plantas nas fileiras. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em parcelas subdivididas com 13 tratamentos e quatro repetições.

Os tratamentos foram dispostos conforme a matriz Plan Puebla III (Alvarez V, 2021), modificada, que consistiu na combinação de cinco doses de nitrogênio (7,8; 46,8; 78; 109 e 148 kg ha<sup>-1</sup>), na forma de Ureia, cinco doses de potássio (30; 180; 300; 420 e 570 kg ha<sup>-1</sup>), na forma de cloreto de potássio, e um controle (sem adubação). O fósforo foi aplicado em dose única, em todas as parcelas, na quantidade de 100 kg ha<sup>-1</sup>, na forma de superfosfato triplo.

Cada parcela teve sua área subdividida para recebimento dos tratamentos sem e com calcário, sendo aplicado 3,4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 94 %) três meses antes do plantio (início do período das chuvas de inverno).

Durante o período de condução do experimento, até o período da colheita (12 meses), as adubações e os tratos culturais seguiram as orientações técnicas do projeto, sendo este mantido sob condições de sequeiro.

Uma semana antes da colheita de cada subparcela (104 plantas) foi identificada uma planta para delimitação do contorno de seus cladódios mediante reprodução em uma folha de papel branco, tamanho A3. As plantas previamente identificadas na operação de delimitação do contorno de seus cladódios foram colhidas e levadas para o Laboratório de Produção Vegetal do INSA, local em que se procedeu a separação e posterior contagem e medição (comprimento, largura e perímetro) dos cladódios.

Na determinação da área dos cladódios (AC) foram utilizados dois métodos diretos (Planimétrico – APL e Peso do Papel – APP) e um método indireto (Medidas Biométricas – AMB).

### 3.1 PLANIMÉTRICO – APL

Para a medição da área do cladódio pelo método do planímetro (APL) utilizou-se folhas de papel A3 com a delimitação do contorno dos cladódios obtidas no campo. Nesta operação fez-se uso do planímetro polar LASICO Mod. L-20M. A área de cada cladódio, em cm<sup>2</sup>, foi obtida da média de três leituras consecutivas do aparelho.

### 3.2 PESO DO PAPEL – APP

Após a determinação da área pelo planímetro (APL), procedeu-se a determinação da área do cladódio pelo peso do papel (APP). Nesta operação a delimitação do contorno dos cladódios em folha de papel branco, tamanho A3, foi recortada e pesada em balança de precisão (0,001 g). Posteriormente repetiu-se a operação agora com um quadrado de dimensões previamente estabelecida (lado de 10 cm).

Com o peso do papel correspondente ao contorno dos cladódios e o peso do papel do quadrado de área conhecida (100 cm<sup>2</sup>) adotou-se a seguinte fórmula:

$$APP = \frac{PPC \times 100}{PPQ}$$

Onde, APP diz respeito a área do cladódio pelo peso do papel, em cm<sup>2</sup>; PPC é o peso do papel correspondente ao contorno dos cladódios, em g; PPQ é o peso do papel do quadrado de 10 cm de lado, em g; e 100 corresponde a área do quadrado, em cm<sup>2</sup>.

### 3.3 MEDIDAS BIOMÉTRICAS – AMB

Para a obtenção da área dos cladódios pelo método das medidas biométricas (AMB), foram feitas medições de largura (L), comprimento (C) e perímetro (P) de todos os cladódios da mesma planta que se fez a determinação da APL e APP. Após a obtenção das médias (L, C e P), em cm, houve a determinação da área mediante o uso de fórmulas com base em figuras geométricas planas: quadrado (AMB-Q), retângulo (AMB-R) e círculo (AMB-C).

#### 3.3.1 *Área do Quadrado (AMB-Q)*

$$AMB-Q = L^2$$

Onde, AMB-Q corresponde a área do cladódio, considerando a forma geométrica do quadrado, em cm<sup>2</sup>; L é a largura do cladódio, em cm.

### 3.3.2 Área do Retângulo (AMB-R)

$$AMB-R = L \times C$$

Onde, AMB-R corresponde a área do cladódio, considerando a forma geométrica do retângulo, em cm<sup>2</sup>; L é a largura do cladódio, em cm e C o comprimento do cladódio, em cm.

### 3.3.3 Área do Círculo (AMB-C)

$$AMB-C = \frac{P^2}{4\pi}$$

Onde, AMB-C corresponde a área do cladódio, considerando a forma geométrica do círculo, em cm<sup>2</sup>; P é o perímetro do cladódio, em cm.

## 3.4 FÓRMULA DESENVOLVIDA (FORM)

Considerando que o perímetro (P) pode ser utilizado na determinação da área do quadrado e do círculo, utilizou-se a média dessas duas áreas pela seguinte fórmula:

$$AMB-Q = \left(\frac{P}{4}\right)^2 + AMB-C = \frac{P^2}{4\pi}$$

Resulta na seguinte fórmula:

$$AMB-M = \frac{\left(\frac{P}{4}\right)^2 + \frac{P^2}{4\pi}}{2} \rightarrow AMB-M = \frac{\left(\frac{P}{16}\right)^2 + \frac{P^2}{12,56637061436}}{2}$$

$$AMB-M = \frac{\frac{0,7853981634 P^2 + P^2}{12,56637061436}}{2} \rightarrow AMB-M = \frac{\frac{1,7853981634 P^2}{12,56637061436}}{2}$$

$$AMB-M = \frac{P^2}{\frac{7,03841354381}{2}}$$

Simplificando os termos temos:

$$AMB-M = \frac{P^2}{14,07682708762}$$

Onde, AMB-M corresponde a área do cladódio, considerando a média das formas geométricas do quadrado e do círculo, em cm<sup>2</sup>; P é o perímetro do cladódio, em cm.

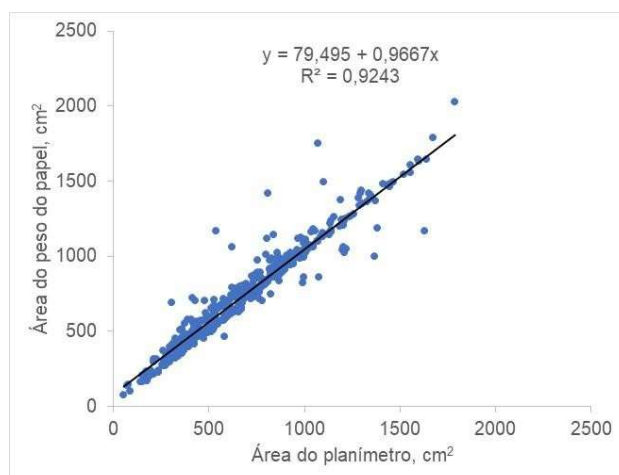
### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas descritivas e de regressão foram analisadas estatisticamente por meio do teste de Tukey ( $p < 0.0001$ ), com auxílio do SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, (Versão 9.1).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de regressão das dimensões do cladódio demonstraram que houve diferenças significativas ( $p. 0,05$ ) na comparação com os demais métodos, principalmente para a área dos cladódios avaliados. Os modelos de regressão linear simples demonstram que todas as variáveis independentes testadas (APlan, Aqua, ARet, ACirc, FORM) são preditores significativos da APP, com valores de  $R^2$  acima de 0.92.

O modelo com APlan como preditor possui um  $R^2$  de 0.9243 (Figura 01), o que significa que 92.43% da variabilidade em APP é explicada por variações em APlan. O coeficiente de 0.9667 indica que para cada unidade de aumento em APlan, espera-se um aumento de aproximadamente 0.97 unidades em APP.

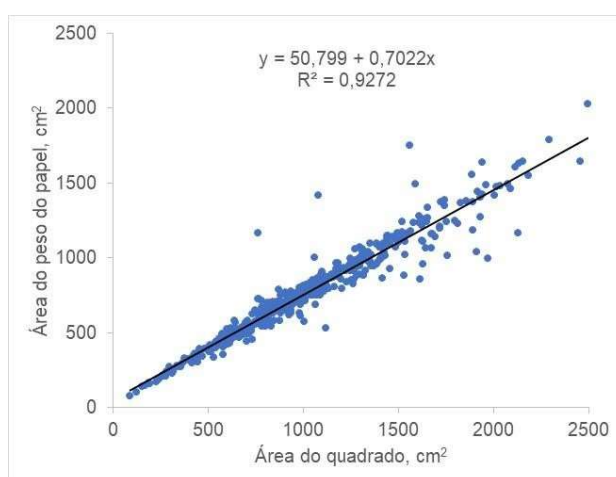


**Figura 01.** Avaliação do método da Área do Peso do Papel para estimativa da área do Planímetro do cladódio da palma forrageira.

Pinheiro et al. (2014) observaram uma correlação positiva entre as variáveis morfológicas e o índice de área do cladódio (IAC) da cultivar orelha de elefante mexicana (OEM). Eles explicam que essas características representam 63,7% do comportamento de (IAC) desta cultivar. No entanto, a medição do perímetro do cladódio é facilitada apenas quando este pode ser destacado da planta, devido à dificuldade de medir o perímetro devido ao arranjo irregular dos cladódios na palma forrageira, bem como a presença de espinhos. Neste sentido, as medidas de comprimento e largura podem ser facilmente tomadas no campo, sem a necessidade de destruir a planta, e podem ser tomadas periodicamente.



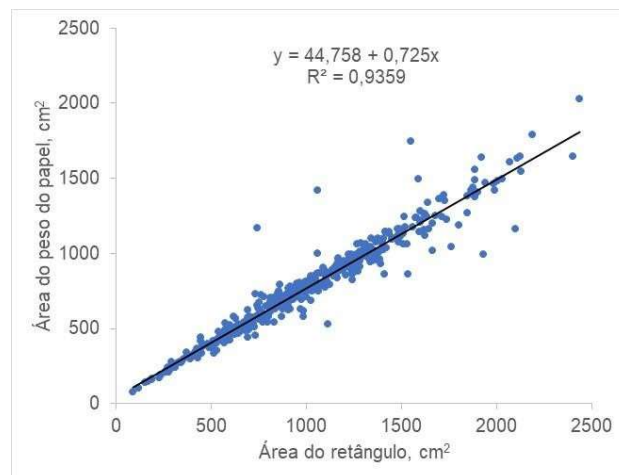
De acordo com Camargo & Sentelhas (1997), um índice de desempenho (c) acima de 0.85 é classificado como ótimo, como o obtido: 0.9272 (Figura 02). Isso indica que o modelo foi capaz de determinar a área do cladódio com grande precisão. Além disso, quando correlacionadas com o rendimento da cultura, o modelo de Aqua demonstrou ser um preditor melhor para APP do que Aplan. Enquanto, o coeficiente de 0.7022 sugere que o aumento na área do quadrado resulta em um crescimento proporcional na área do peso do papel. Isso implica que, à medida que a área da planta aumenta, a produção de biomassa também cresce em uma proporção constante, mantendo-se uma relação linear.



**Figura 02.** Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área do Quadrado do cladódio da palma forrageira.

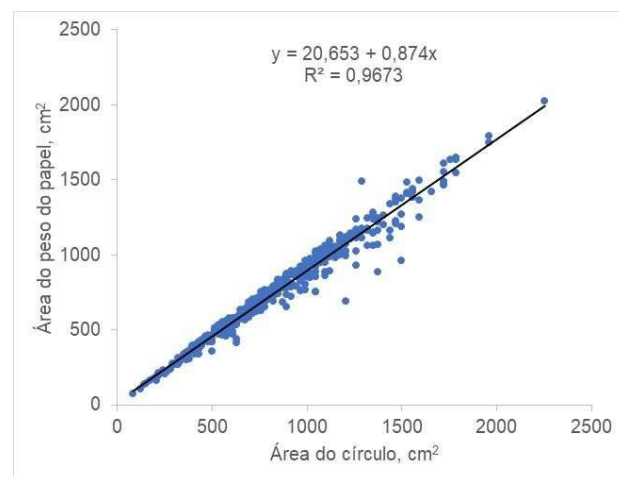
Este modelo, com um  $R^2$  de 0.9359 (Figura 03), mostra que cerca de 93.59% da variabilidade em APP pode ser explicada pelo ARet. O coeficiente de 0.725 indica uma forte relação positiva entre essas variáveis.

Os valores de  $R^2$  variam de 0,93 a 0,98, o que mostra que entre 93 a 98% da variância na variável dependente pode ser explicada pelas variáveis independentes do modelo. De acordo com Lima, et al. (2020), estes valores são muito altos; assim sendo, o modelo estatístico aplicado é altamente eficaz no estudo das relações que ocorrem entre as variáveis.

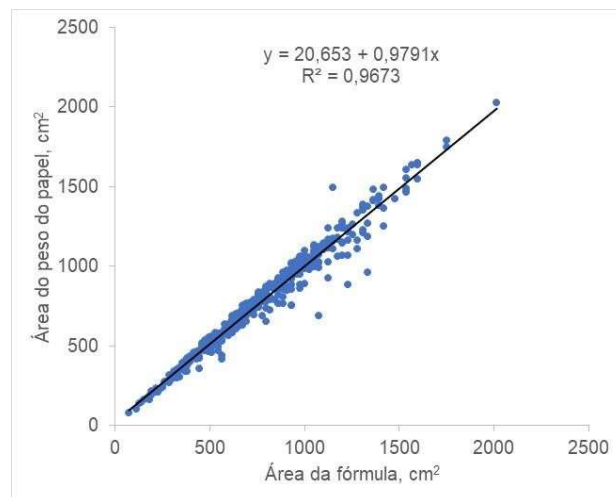


**Figura 03.** Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área do Retângulo do cladódio da palma forrageira.

A análise de correlação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), mede o ajuste de modelo dos dados, revela uma associação extremamente forte entre a área do peso do papel (APP) e outras variáveis geométricas medidas. Em uma comparação direta entre os métodos Acir (Figura 04) e FORM (Figura 05), sendo o meio mais utilizado e fórmula desenvolvida, respectivamente. Demonstra que ambos os modelos têm um  $R^2$  extremamente alto de 0.9673, indicando que quase toda a variabilidade em APP pode ser explicada por essas variáveis.



**Figura 04.** Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área do Círculo do cladódio da palma forrageira.



**Figura 05.** Avaliação do método da Área do Peso do Papel para a estimativa da área da Fórmula do cladódio da palma forrageira.

Essas correlações são evidências de que mudanças em qualquer uma dessas variáveis geométricas são fortemente refletidas nas mudanças na área do peso do papel. Por exemplo, o perímetro (P) e a área do círculo (ACirc) estão quase perfeitamente correlacionados com APP com correlações acima de 0.97, indicando que são preditores muito confiáveis para APP. Os valores de correlação variam de 0.9243 a 0.9673, todos significativos ao nível de 1%, indicando que essas variáveis estão altamente correlacionadas de maneira linear com APP.

Entretanto, segundo Maldaner et al. (2009), modelos que utilizam somente uma medida, como a largura e/ou o comprimento, para estimativa da área foliar são preferíveis, por utilizarem apenas uma das dimensões da folha. Com isso, há redução no número de medições a serem realizadas no campo. Neste sentido, dentre esses modelos, o que mais se destacou pelos seus resultados na avaliação foi o modelo da fórmula utilizando o perímetro do cladódio.

## 5 CONCLUSÃO

Estas análises indicam que o métodos de determinação da Área do Peso do Papel, unicamente, é fortemente influenciado pelas dimensões e formas geométricas associadas a ele, não sendo um meio eficaz para a determinação da área do cladódio da palma forrageira. Porém, quando associado a meios de determinação indireta, refletem uma correlação que varia de 0.9243 a 0.9673, sendo todos significativos ao nível de 1%, indicando que essas variáveis possuem alta eficácia na determinação da área do cladódio. Levando em consideração os altos valores da correlação, observou-se que os métodos com maior precisão foram o do círculo ( $R^2 = 0,9673$ ), e o método da fórmula ( $R^2 = 0,9673$ ), indicando uma precisão maior que os demais métodos.

## 6 REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. de. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 1053-1058, 2008.
- AQUINO, L. A.; SANTOS-JUNIOR, V. C.; GUERRA, J. V. S.; COSTA, M. M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 832-836, 2011.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p.305-309, jul. 2005.
- CAMARGO, Â.P & SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa do potencial da evapotranspiração no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, A. D. de; PEREIRA, J. B. A. Ajuste de modelos para estimativa do índice de área foliar e acúmulo de biomassa do pimentão em função de graus-dias. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.3, p.971-982, 2011.
- 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.
- CORREIA, R. M. ESTABILIDADE AERÓBIA DE SILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA ADITIVADA COM UREIA E FARELO DE TRIGO. **TCC – Curso de Zootecnia** no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. 2014, 34f.
- CORTAZAR, V. G.; NOBEL, P. S. Worldwide environmental productivity indices and yield predictions for a cam plant, *Opuntia ficus-indica*, including effects of doubled CO<sub>2</sub> levels. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 49, p. 261-279, 1991.
- CUNHA, D. N. F. V.; GOMES, E. S.; MARTUSCELLO, J. A.; AMORIM, P. L.; SILVA, R. C.; FERREIRA, P. S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 1156-1165, 2012.
- CURTT, F.F. Estimativa de área foliar na cultura da soja usando os métodos de dimensões foliares e imagens digitais. 2019. 32p. **Trabalho de Conclusão de Curso – TCC** (Curso de Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia.
- DE LIMA, A.S.. Determinação da área de cladódios e fator de correção da palma forrageira sob fertirrigação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 1, p. 3803, 2020.
- FERREIRA, M.A.; PESSOA, R.A.S.; BISPO, S.V.; Otimização de dietas a base de palma forrageira e outras alternativas de suplementação para regiões semi-áridas. **VII Simpósio de Produção de Gado de Corte**, p 241- 265, 2008.

GODOY, L. J. G.; YANAGIWARA, R. S.; BÔAS, R. L. V.; BACKES, C.; LIMA, C. P. de. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “pêra”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 420-424, 2007.

GUIMARÃES, D.P.; SANS, L.M.A.; MORAES, A.V.C. Estimativa da Área Foliar de Cultivares de Milho. **XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. Florianópolis - SC, 2002.

MALDANER, I.C.; HELDWEIN, A.B.; LOOSE, L.H.; LUCAS, D.D.P.; GUSE, F.I.; BORTOLUZZI, M.P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.39, n.5, p.1356-1361, 2009.

MARCON, M.; MARIANO, K.; BRAGA, R. A.; PAGLIS, C. M.; SCALCO, M. S.; HORGAN, G. W. Estimation of total leaf area in perennial plants using image analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.96-101, 2011.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. H. S.; PIRES NETO, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadernos de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

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

OLIVEIRA, J. P. F. *et al.* Spineless cactus as a replacement for sugarcane in the diets of finishing lambs. **Tropical animal health and production**, v. 49, n. 1, p. 139-144, 2017.

PERAZZO, A. *et al.* Agronomic Evaluation of Sorghum Hybrids for Silage Production Cultivated in Semiarid Conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 2, 2017.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F. da; CARVALHO, H. F. S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F. de.; SÉRGIO ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. dos. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>

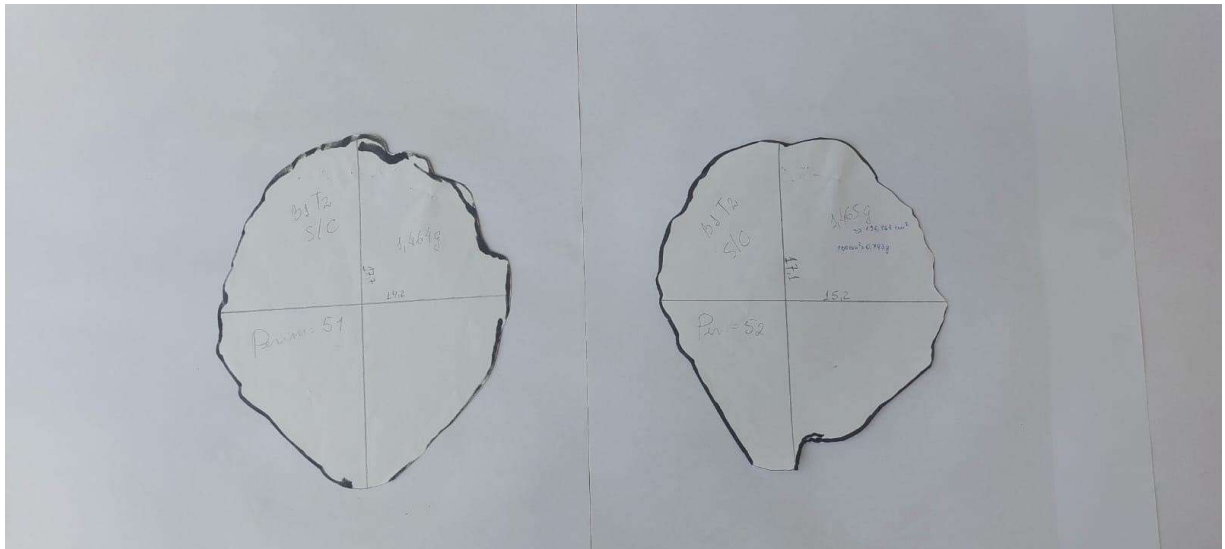
SCHIMILDT, E. R.; AMARAL, J. A. T.; SCHIMILDT, Ó.; SANTOS, J. S. Análise comparativa de equações para estimativa da área foliar em cafeeiros. **Café Ciência**, v. 9, n. 2, p. 155-167, 2014.

SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. R.; SANTOS, D. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, M. C.; CRUZ NETO, J. F.; ARAÚJO, J. E. M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

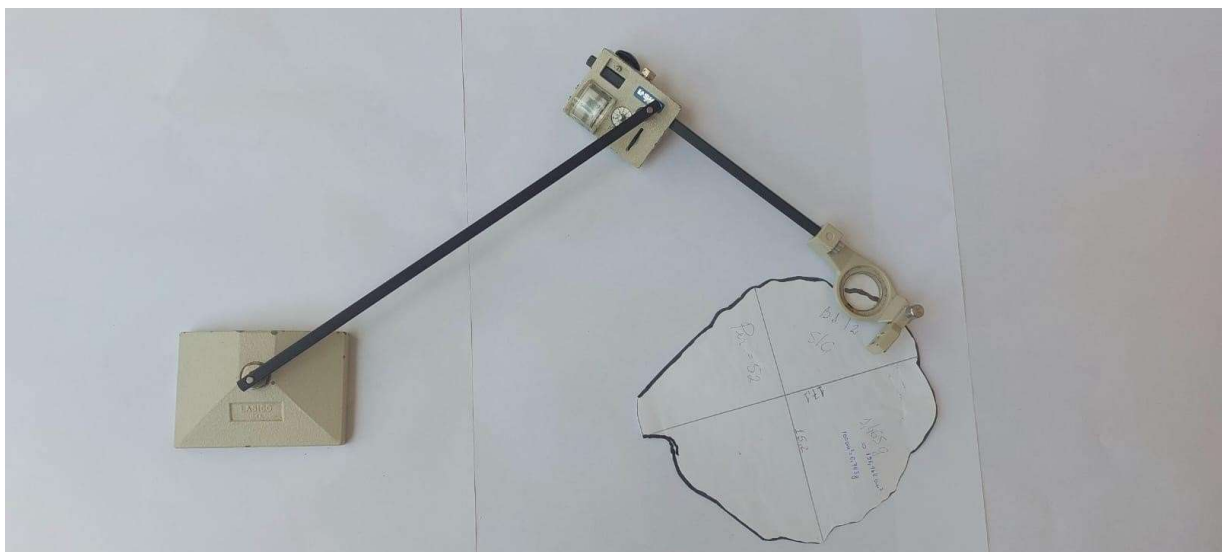
SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com consequências prejudiciais. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

ZELITCH, I, ed. Photosynthesis, photorespiration, and plant productivity. **Elsevier**, 2012.

## 7 ANEXO A



**Imagem 02:** recortes das raquetes de palma desenhados em papel ofício.



**Imagem 03:** planímetro realizando o contorno da área da raquete de palma.



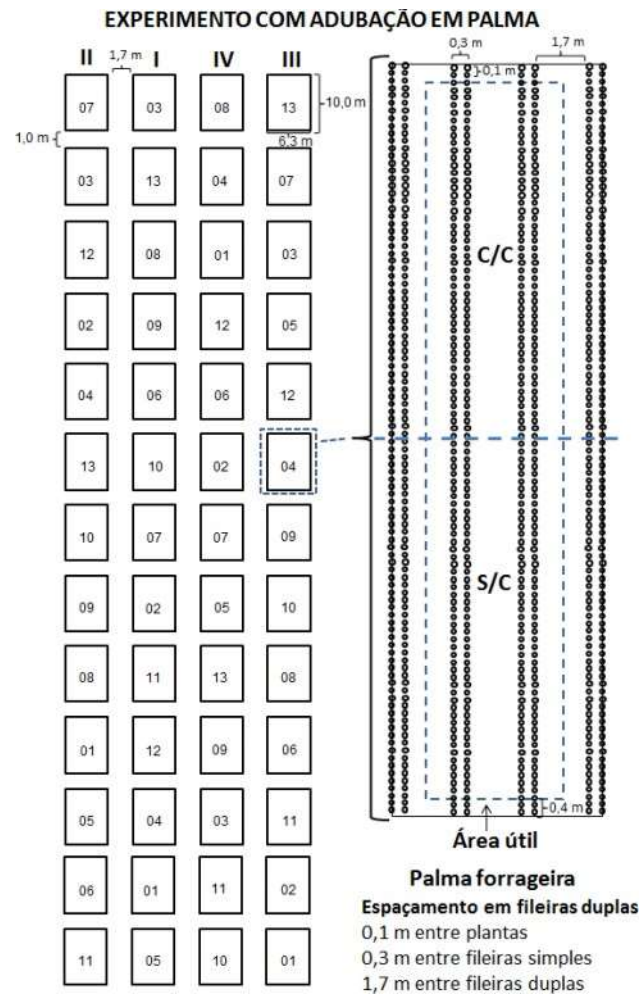
**Imagem 04: Palmal**



**Imagem 05: Campo experimental Unidade I – Campina Grande - PB**



## 8 APÊNDICE A



**Imagem 01:** croqui da área experimental.