



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
DOUTORADO EM CIÊNCIA ANIMAL**

**DHIÉSSICA MORGANA ALVES BARROS**

**USO DO HIDROGEL À BASE DE GOMA  
DO CAJUEIRO EM GRAMÍNEAS E CACTÁCEAS FORRAGEIRAS**

**TERESINA  
2023**

**DHIÉSSICA MORGANA ALVES BARROS**

**USO DO HIDROGEL À BASE DE GOMA  
DO CAJUEIRO EM POÁCEAS E CACTÁCEAS FORRAGEIRAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal - PPGCA da Universidade Federal do Piauí – UFPI, área de concentração em Produção Animal. Como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Loiola Edvan

Co-orientador: Prof. Dr. Daniel Louçana da Costa Araújo

TERESINA  
2023

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí Biblioteca  
Setorial CCA  
Serviço de Representação da Informação

B277u Barros, Dhiéssica Morgana Alves.

Uso do hidrogel à base de goma do cajueiro em gramíneas e cactáceas forrageiras. / Dhiéssica Morgana Alves Barros. -- 2023.

123 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, 2024.

“Orientador: Prof. Dr. Ricardo Loiola Edvan.”

1. Forragem. 2. Palma forrageira. 3. Polímeros biodegradáveis. 3. Sustentável. I. Edvan, Ricardo Loiola. II. Título.


CDD 583.47

# USO DO HIDROGEL À BASE DE GOMA DO CAJUEIRO EM GRAMÍNEAS E CACTÁCEAS FORRAGEIRAS

**DHIÉSSICA MORGANA ALVES BARROS**


**Tese aprovada em: 28/02/2023**

**Banca Examinadora:**

Documento assinado digitalmente  
 **RICARDO LOIOLA EDVAN**  
Data: 03/09/2024 15:27:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

**Prof. Dr. Ricardo Loiola Edvan (Presidente) / DZO/CCA/UFPI**

Documento assinado digitalmente  
 **MARCOS JACOME DE ARAUJO**  
Data: 03/09/2024 15:32:39-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

**Prof. Dr. Marcos Jácome de Araújo (Interno) / UFPI / CPCE/UFPI**

Documento assinado digitalmente  
 **ALEXANDRE FERNANDES PERAZZO**  
Data: 03/09/2024 16:09:25-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

**Prof. Dr. Alexandre Fernandes Perazzo (Interno) / DPPA/CCA**

Documento assinado digitalmente  
 **MARCONIO MARTINS RODRIGUES**  
Data: 03/09/2024 16:26:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Marconio Martins Rodrigues (Externo) / UFMA**

Documento assinado digitalmente  
 **RAFAEL FELIPPE RATKE**  
Data: 03/09/2024 18:22:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke (Externo) / UFMS**

*À Deus, por manter minha Fé nos momentos difíceis, ao meu filho Davi Lucas, à minha querida mãe Maria Ires Alves e minha amada avó Idália Cardoso dos Santos, ambas são meus pilares na vida, sem elas não seria capaz de ultrapassar meus limites e alcançar mais essa vitória. Aos meus familiares e amigos pela força e inspiração.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

*Em primeiro lugar a Deus, por ter sido o meu refúgio e minha fortaleza durante toda a minha vida;*

*À Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade de conclusão de mais uma etapa da minha vida acadêmica;*

*Ao Prof. Dr. Ricardo Loiola Edvan, por sua orientação, paciência e sabedorias repassadas.*

*Aos demais professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e da UFPI e aos que, direta ou indiretamente, contribuíram nessa conquista.*

*A todos meus familiares e ao meu companheiro, obrigada pelo apoio e incentivo durante toda essa jornada.*

*Aos meus amigos e colegas, por sempre me apoiarem e por estarem sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins da vida.*

*Ao grupo NUEFO pelas ajudas nos experimentos, apresentações e convívio na universidade, obrigada pela amizade.*

*Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo.*

*Enfim, à todos que de alguma forma contribuíram para essa conquista.*

*Meu muito obrigada!!!*

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

**Theodore Roosevelt**

BARROS, D. M. A. **Uso do hidrogel à base da goma do cajueiro em poáceas e cactáceas forrageiras.** Bom Jesus, PI: UFPI– Universidade Federal do Piauí, p. 123. 2023. (Tese Doutorado em Ciência Animal)

## RESUMO

É crescente o interesse pelos compostos poliméricos reforçados com fibras naturais em substituição os polímeros sintéticos. Objetivou-se avaliar as características de crescimento, produção, composição química e mineral de genótipos de gramíneas e palmas forrageiras sob doses de hidrogel à base da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*) em comparação ao hidrogel à base de poliácridamida. Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal do Piauí, Câmpus Professora Cinobeina Elvas–UFPI/CPCE, município de Bom Jesus, Piauí, Brasil. O primeiro experimento foi com as gramíneas, sendo o primeiro ensaio em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4×3), sendo quatro genótipos: Mombaça, Massai, Marandu e Paiaguás e três formas de hidratação (Sem hidrogel-SH; Hidrogel Teste- HT e Hidrogel Comercial-HC), com quatro repetições. O segundo ensaio, avaliou-se os níveis de HT nas doses: 0 kg, 10 kg, 20 kg e 40 kg ha<sup>-1</sup> no capim-Mombaça, com quatro repetições. O terceiro ensaio foi em DBC com cinco blocos e três tratamentos: SH, HT e HC no capim-Mombaça à campo. O segundo experimento foi realizado com as palmas em DIC, em esquema fatorial (3×3), sendo três genótipos: Doce, Gigante e Orelha de Elefante Mexicana e três formas de hidratação da planta (SH, HT e HC), com quatro repetições. O segundo ensaio, avaliou-se os níveis de HT nas doses: 0 kg, 10 kg, 20 kg e 40 kg ha<sup>-1</sup> na palma Doce, com quatro repetições. E o terceiro ensaio foi em DBC com cinco blocos e três tratamentos: SH, HT e HC na palma Doce à campo. Em ambos os experimentos foram avaliadas as características de crescimento, produção, composição química e composição mineral. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias pelo teste de Snott-Knott, a um nível de 5% de probabilidade. Para as gramíneas, a TAIF, foi semelhante no uso do HC e HT, com 9,46 e 11,15 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Houve efeito entre do HT e o capim-Marandu na DPP, nos capins Mombaça e Massai para a BSF e no capim-Mombaça na variável BSR. O teor de MS do gênero *Urochloa* apresentaram valores superiores aos do *Megathyrsus*, com médias de 315,9 g kg<sup>-1</sup> para o capim-Paiaguás e 315,1g kg<sup>-1</sup>, para o capim-Marandu. Houve interação entre os hidrogéis e os genótipos, em todos os macros e micronutrientes. Em relação às doses do HT no capim-Mombaça, houve efeito para a BSF e para BSR. Houve acréscimos de MS com 289 g kg<sup>-1</sup> na dose 40 kg ha<sup>-1</sup>. Houve efeito para todos os minerais no capim-Mombaça, exceto para o K. À campo, o capim-Mombaça apresentou efeito para TAIF com HT de 42,3 mm dia<sup>-1</sup>. No primeiro ciclo PMSF de 4447,0 t ha<sup>-1</sup>. Houve efeito apenas para o Zn com uso do HT. No experimento com palma forrageira, houve maior AC, AIP e BSR com o uso de HT nas palmas. Observou-se efeito no teor de MS e PB nos genótipos de palmas sob três formas de hidratação e interação para todos os macronutrientes avaliados nos genótipos das palmas. Para as doses de HT no genótipo Doce, apresentou efeito nas variáveis AC, BSC e BSR. Houve efeito na composição mineral para Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn. À campo, a palma Doce apresentou efeito para NC com 7,86 no HC e BSC com 15,29 g planta<sup>-1</sup> com HT. A MS com HT foi de 14,6 g kg<sup>-1</sup>. Houve efeito apenas do Zn com 43,93 mg kg<sup>-1</sup>. O uso do hidrogel promove melhor crescimento nas gramíneas e palmas forrageiras, e influencia na composição química e mineral das plantas. O hidrogel produzido com a goma do cajueiro pode ser utilizado em substituição ao hidrogel comercial produzido a partir de polímeros compostos por poliácridamida.

**Palavras-chave:** forragem, palma forrageira, polímeros biodegradáveis, sustentável

BARROS, D. M. A. **Use of hydrogel based on cashew gum in forage poaceae and cacti.** Bom Jesus, PI: UFPI– Universidade Federal do Piauí, p. 123. 2023. (Doctoral Thesis in Animal Science).

### ABSTRACT

There is growing interest in polymeric compounds reinforced with natural fibers to replace synthetic polymers. The objective of this study was to evaluate the growth characteristics, production, chemical and mineral composition of genotypes of grasses and forage palms under doses of hydrogel based on cashew gum (*Anacardium occidentale*) in comparison to hydrogel based on polyacrylamide. The experiments were conducted at the Federal University of Piauí, Cinobeina Elvas Campus–UFPI/CPCE, Bom Jesus, Piauí, Brazil. The first experiment was with grasses, and the first trial was in a completely randomized design, in a factorial scheme (4×3), with four genotypes: Mombaça, Massai, Marandu and Paiaguás and three forms of hydration (No hydrogel-SH; Test Hydrogel-HT and Commercial Hydrogel-HC), with four replicates. The second trial evaluated the HT levels at the following doses: 0 kg, 10 kg, 20 kg and 40 kg ha<sup>-1</sup> in Mombaça grass, with four replicates. The third trial was in DBC with five blocks and three treatments: SH, HT and HC in Mombaça grass in the field. The second experiment was carried out with palms in DIC, in a factorial scheme (3 × 3), with three genotypes: Doce, Gigante and Orelha de Elefante Mexicana and three forms of plant hydration (SH, HT and HC), with four replicates. The second trial evaluated the HT levels at the following doses: 0 kg, 10 kg, 20 kg and 40 kg ha<sup>-1</sup> in Doce palm, with four replicates. And the third trial was in DBC with five blocks and three treatments: SH, HT and HC in Doce palm in the field. In both experiments, the growth, production, chemical composition and mineral composition characteristics were evaluated. The data were subjected to analysis of variance and mean test by the Snott-Knott test, at a 5% probability level. For the grasses, the TAlF was similar in the use of HC and HT, with 9.46 and 11.15 mm day<sup>-1</sup>, respectively. There was an effect between HT and Marandu grass in the DPP, in Mombaça and Massai grasses for BSF and in Mombaça grass in the BSR variable. The DM content of the genus *Urochloa* showed higher values than that of *Megathyrsus*, with averages of 315.9 g kg<sup>-1</sup> for Paiaguás grass and 315.1 g kg<sup>-1</sup> for Marandu grass. There was an interaction between the hydrogels and the genotypes, in all macro and micronutrients. Regarding the HT doses in Mombaça grass, there was an effect for BSF and BSR. There were increases in DM with 289 g kg<sup>-1</sup> at the dose of 40 kg ha<sup>-1</sup>. There was an effect for all minerals in Mombaça grass, except for K. In the field, Mombaça grass showed an effect for TAlF with HT of 42.3 mm day<sup>-1</sup>. In the first cycle PMSF of 4447.0 t ha<sup>-1</sup>. There was an effect only for Zn with the use of HT. In the experiment with forage cactus, there was greater AC, AIP and BSR with the use of HT in the palms. An effect was observed on the DM and CP content in the palm genotypes under three forms of hydration and interaction for all macronutrients evaluated in the palm genotypes. For the doses of HT in the Doce genotype, there was an effect on the variables AC, BSC and BSR. There was an effect on the mineral composition for Ca, Mg, Cu, Mn, Fe and Zn. In the field, the Sweet palm showed an effect for NC with 7.86 in HC and BSC with 15.29 g plant<sup>-1</sup> with HT. The DM with HT was 14.6 g kg<sup>-1</sup>. There was an effect only of Zn with 43.93 mg kg<sup>-1</sup>. The use of hydrogel promotes better growth in grasses and forage palms, and influences the chemical and mineral composition of the plants. The hydrogel produced with cashew gum can be used to replace the commercial hydrogel produced from polymers composed of polyacrylamide.

**Keywords:** forage, forage palm, biodegradable polymers, sustainable

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

- Figura 1.** Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura dos anos de 2020 e 2022 no município de Bom Jesus-Piauí.....43
- Figura 2.** Aplicação dos hidrogéis pré-hidratados em seus respectivos tratamentos.....45
- Figura 3.** Análises laboratoriais.....48
- Figura 4.** Comparação das formas de hidratação das gramíneas .....52

### CAPÍTULO III

- Figura 1.** Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura dos anos de 2020 e 2022 no município de Bom Jesus-Piauí.....83
- Figura 2.** Aplicação dos hidrogéis pré-hidratados em seus respectivos tratamentos.....86
- Figura 3.** Avaliação de morfometria das palmas.....87
- Figura 4.** Corte de avaliação de produção das palmas.....
- Figura 5.** Limpeza das raízes para avaliação de produção.....88
- Figura 6.** Comparação das formas de hidratação das palmas.....89

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

**Tabela 1.** Uso de hidrogéis em diferentes culturas.....24

**Tabela 2.** Uso do hidrogel de goma do cajueiro em diversas áreas.....30

### CAPÍTULO II

**Tabela 1.** Características físico-químicas do hidrogel à base da goma do cajueiro.....44

**Tabela 2.** Características morfogênicas de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais sob três formas de hidratação.....50

**Tabela 3.** Características estruturais e produção de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais sob três formas de hidratação.....51

**Tabela 4.** Composição química de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais sob três formas de hidratação.....53

**Tabela 5.** Teores de macronutrientes de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais sob três formas de hidratação.....54

**Tabela 6.** Teores de micronutrientes de genótipos de capins sob três formas de hidratação.....55

**Tabela 7.** Efeito de doses de hidrogel à base de goma do cajueiro sob as características morfogênicas do capim-Mombaça.....57

**Tabela 8.** Efeito de doses de hidrogel à base de goma do cajueiro sob as características estruturais e produção do capim-Mombaça.....57

**Tabela 9.** Composição química do capim-Mombaça, sob doses de hidrogel à base de goma do cajueiro.....58

**Tabela 10.** Composição mineral do capim-Mombaça, sob doses de hidrogel à goma do cajueiro.....59

**Tabela 11.** Características morfológicas do capim-Mombaça, sob três formas de hidratação avaliado à campo.....60

**Tabela 12.** Características estruturais e produção do capim-Mombaça, sob três formas de hidratação avaliado à campo.....60

**Tabela 13.** Composição química do capim-Mombaça, sob três formas de hidratação avaliado à campo.....61

**Tabela 14.** Composição mineral do capim-Mombaça, sob três formas de hidratação avaliado à campo.....62

### **CAPÍTULO III**

**Tabela 1.** Características físico-químicas do hidrogel à base da goma do cajueiro.....84

**Tabela 2.** Características de crescimento e produção nos genótipos de palma forrageira sob três formas de hidratação.....90

**Tabela 3.** Composição química de genótipos de palma forrageira, sob diferentes três formas de hidratação.....91

**Tabela 4.** Composição mineral de genótipos de palma forrageira, sob três formas de hidratação.....92

**Tabela 5.** Efeito de doses de hidrogel à base da goma do cajueiro sob as características de crescimento e produção da palma Doce.....94

**Tabela 6.** Composição química da palma Doce sob doses de hidrogel à base da goma do cajueiro.....95

**Tabela 7.** Composição mineral da palma Doce, sob doses de hidrogel à base da goma do cajueiro.....96

**Tabela 8.** Características de crescimento e produção da palma Doce avaliada à campo sob três formas de hidratação.....97

**Tabela 9.** Composição química e mineral da palma Doce avaliada à campo, sob três formas de hidratação.....97

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

°	Grau
°C	Grau celsius
±	Mais ou menos
Al	Símbolo do elemento químico Alumínio
Aw	Clima tropical, com inverno seco
B	Boro
BSF	Biomassa Seca de Forragem
BSR	Biomassa Seca de Raíz
C	Carbono
C <sub>3</sub>	Ciclo fotossintético das plantas que produzem ao final 3 moléculas de carbono
C <sub>4</sub>	Ciclo fotossintético das plantas que produzem ao final 4 moléculas de carbono
Ca	Símbolo do elemento químico Cálcio
CAM	Metabolismo ácido das crassuláceas
CTC	Capacidade de troca catiônica
cv	Cultivar
°C	Graus Célsius
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
cm	Centímetros
cm <sup>2</sup>	Centímetro ao Quadrado
cmol	Centimole
CO <sub>2</sub>	Símbolo da molécula de gás carbônico
Cu	Símbolo do elemento químico Cobre
cv	Cultivar
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
dm <sup>3</sup>	Decímetro Cúbico
DPP	Densidade Populacional de Perfilhos
EPM	Erro Padrão Médio
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations Brazilian
FDA	Fibra em Detergente Ácido
FDN	Fibra em Detergente Neutro
Fe	Símbolo do elemento químico Ferro
FIL	Filocrono
g	Gramas
GC	Goma do Cajueiro
g kg <sup>-1</sup>	Gramas por quilograma

ha	Hectare
HC	Hidrogel Comercial
HT	Hidrogel Teste
K	Símbolo do elemento químico Potássio
kg	Quilogramas
kg ha <sup>-1</sup>	Quilograma por hectare
K <sub>2</sub> O	Cloreto de Potássio
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
m	Metro
M	Saturação por Alumínio
Mg	Símbolo do elemento químico Magnésio
mg	Miligramma
mm	Milímetro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
Mn	Símbolo do elemento químico Manganês
MM	Material Morto
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
N	Símbolo do elemento químico do Nitrogênio
NFOL	Número de Folhas
O <sub>2</sub>	Símbolo da molécula de oxigênio
P	Símbolo do elemento químico Fósforo
(P<0,05)	Probabilidade inferior a 5%
(P>0,05)	Probabilidade superior a 5%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Superfosfato simples
PB	Proteína bruta
pH	Potencial (ou potência) hidrogeniônico
<i>P</i> -valor	Probabilidade exata
%	Porcentagem
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
®	Marca registrada
r <sup>2</sup>	Valor de r
RFC	Relação Folha Colmo
S	Símbolo do elemento químico Enxofre
SAS	Statistical analysis system
SB	Soma por bases
SH	Sem Hidrogel
spp.	Espécies
t	Tonelada

t ha <sup>-1</sup>	Tonelada por hectare
TApF	Taxa de Aparecimento Foliar
TAIF	Taxa de Alongamento Foliar
TAIH	Taxa de Alongamento de Hastes
TSF	Taxa de Senescência Foliar
UFPI	Universidade Federal do Piauí
V	Saturação de Bases
Zn	Símbolo do elemento químico Zinco

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL.....	13
CAPÍTULO I	
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Importancia das gramíneas forrageiras no Brasil.....	16
1.2 Importancia da palma forrageira na alimentação animal.....	17
1.3 Aplicação de hidrogel na agricultura.....	19
1.4 Hidrogel como suprimento hídrico.....	23
1.5 Hidrogéis de origem natural.....	26
1.6 Goma do cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> ) .....	29
2 CONSIDERAÇÕES .....	32
3 REFERÊNCIAS.....	33
CAPÍTULO II	
RESUMO.....	41
1 INTRODUÇÃO.....	42
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.1 Local do experimento.....	44
2.2 Delineamento.....	44
2.3 Hidrogéis utilizados.....	45
2.4 Unidades experimentais.....	45
2.5 Avaliação de morfogênese e produção das gramíneas.....	47
2.6 Análise da composição química e mineral das plantas.....	49
2.7 Análise estatística.....	50
3 RESULTADOS .....	50
4 DISCUSSÃO.....	63

<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>75</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>75</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>RESUMO.....</b>	<b>81</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>82</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>84</b>
<b>2.1 Local do experimento.....</b>	<b>84</b>
<b>2.2 Delineamento.....</b>	<b>84</b>
<b>2.3 Hidrogéis utilizados.....</b>	<b>85</b>
<b>2.4 Unidades experimentais.....</b>	<b>86</b>
<b>2.5 Avaliação de crescimento e produção das palmas.....</b>	<b>87</b>
<b>2.6 Análise da composição química e mineral das plantas.....</b>	<b>89</b>
<b>2.7 Análise estatística.....</b>	<b>90</b>
<b>3 RESULTADOS .....</b>	<b>90</b>
<b>4 DISCUSSÃO.....</b>	<b>99</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>108</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>109</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>
<b>COSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>115</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>116</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

As espécies forrageiras são consideradas a principal fonte de alimentação dos ruminantes, devido a praticidade e baixo custo de produção de proteína para consumo humano. As características climáticas e extensão territorial favoráveis à pecuária de corte, fazem o Brasil possuir o maior rebanho comercial do mundo, um dos maiores produtores de carne bovina e atualmente, vem se destacando como o maior exportador de carne (Cruz et al., 2021). Entretanto, em regiões como a Nordeste, os animais ficam sujeitos a períodos de ganho e de perda de peso, devido a sazonalidade na produção de forragem no ano e da diminuição do seu valor nutritivo, em virtude da deficiência hídrica se apresentar como fator limitante ao cultivo agrícola e a produção de forragem, em algumas regiões (Martuscello et al. 2015).

A utilização de algumas práticas agrônômicas de manejo como: consorciação, irrigações e insumos agrícolas, estão sendo empregadas na pecuária com a intenção aumentar a produtividade das pastagens e visam minimizar as consequências das constantes variações climáticas e da baixa disponibilidade de nutrientes no solo, acarretados por fatores como: intensos períodos de secas, temperaturas extremas e estiagens prolongadas. A irrigação se destaca, uma vez que a deficiência hídrica é um dos fatores que limita a produção na maior parte do território brasileiro (Lima et al. 2018).

Em regiões com características semi-áridas, em relação a sistemas de irrigação de culturas forrageiras, são carentes de informações técnicas no manejo adequado da aplicação de água e são particularmente caros, tornando assim a aplicação de certos materiais inviável (Mota et al. 2020). O uso de hidrogéis superabsorventes tornou-se uma alternativa atraente para contornar este problema porque eles fornecem necessária redução de custos e irrigação contínua. Podem atuar como suprimento da irrigação complementar na produção de plantas forrageiras representam tecnologias para reduzir a evapotranspiração e prolongar a disponibilidade de água para as plantas principalmente após o corte, pois visa suprir a necessidade hídrica da forrageira no desenvolvimento de novas brotações, podendo reduzir as perdas após o plantio (Souza et al., 2016). Na presença de água, estes são capazes de inchar e reter soluções aquosas, mantendo a umidade do solo por períodos mais longos, além de fornecer fertilizantes.

Com a crescente preocupação com o meio ambiente, os hidrogéis naturais tornaram-se uma alternativa frente à utilização de hidrogéis sintéticos, destacando-se nos últimos anos como um novo produto ecológico, inovador e promissor para diversos campos de aplicação (Yonezawa et al., 2017). O Brasil destaca-se pela sua intensa atividade industrial e agrícola,

tal que a quantidade de subprodutos orgânicos gerados em vários setores da sociedade é considerável e demanda atenção especial para a forma como serão reutilizados.

Pesquisas com o uso de hidrogel de fibras naturais em espécies forrageiras ainda são escassas, necessitando, então, de estudos que comprovem a eficácia da sua utilização, bem como a melhor dose. Dessa forma, a hipótese é que o uso de hidrogel natural a base de goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*), aumentará a produtividade das gramíneas e da palma forrageira, além de assegurar o desenvolvimento das plantas e melhorar o incremento na produção de alimentos destinados a produção animal, para garantir segurança alimentar e rentabilidade ao produtor. Assim, o objetivo desse estudo, foi avaliar o uso do hidrogel à base da goma do cajueiro, sob diferentes doses e em comparação ao uso do hidrogel compostos por poliacrilamida, como suprimento hídrico e de liberação controlada em genótipos de gramíneas e palma forrageira.

Esta Tese está estruturada em três capítulos: CAPÍTULO I - Revisão de Literatura; CAPÍTULO II - Uso do hidrogel à base da goma do cajueiro no crescimento de gramíneas forrageiras e CAPÍTULO III - Uso do hidrogel à base de goma do cajueiro em genótipos de palma forrageira. Os capítulos foram redigidos segundo as normas do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí.

## CAPÍTULO I- REVISÃO DE LITERATURA

### 1. INTRODUÇÃO

As gramíneas forrageiras têm participação expressiva na produção de leite e de carne, pois atuam como a fonte de alimento para os rebanhos, sendo consideradas um dos principais fatores para o desenvolvimento da pecuária em todo o mundo. No entanto, devido a grande diversidade climática e ecológica dos biomas e as dimensões continentais do Brasil, observam-se períodos extensos de escassez de água, tornando o conhecimento das peculiaridades regionais essencial para alinhar as práticas produtivas visando a sustentabilidade (Dick et al., 2021).

A palma forrageira encontra-se em todas as regiões do mundo com exceção das zonas polares (Marques et al., 2017). Sua área cultivada no mundo corresponde a mais de um milhão de hectares, e em sua maioria em sistema de sequeiro, graças a sua adaptação aos climas árido e semiárido, tendo importante papel socioeconômico para fins alimentares (Inglese, 2017), além de ser um alimento importante para a pecuária, na produção de cosméticos e industrialização (Chiacchio et al., 2016).

O déficit hídrico enfrentado na região do semiárido Brasileiro sincronizado ao uso do hidrogel agrícola, proporcionará redução no uso da água da irrigação de gramíneas e da palma forrageira e a um melhor aproveitamento das águas das chuvas com o uso do produto. A função do hidrogel é promover a absorção de água em grande volume pode variar de 10% até centenas de vezes o seu volume de peso quando seco, liberando gradativamente água de acordo com a necessidade da planta (Nascimento et al., 2020).

O uso de fibras naturais na produção dos hidrogéis permite a substituição de composto sintéticos como os polímeros de poliácridamida, obtendo produtos com menor custo de produção e mais ecológicos (Rodriguez et al., 2014; Thakur e Thakur, 2014). Existem hidrogéis desenvolvidos com polímeros biodegradáveis como amido, quitosana e fibras naturais modificadas, reticulados com acrilato de potássio e acrilamida (Cock et al. 2017).

Nesse capítulo serão abordados temas á cerca de gramíneas e palma forrageira em relação suas principais espécies, os principais fatores que interferem na sua produtividade, as interações entre o uso de irrigação e do hidrogel na agricultura e utilização de novas alternativas na produção de polímeros biodegradáveis no cultivo de plantas, objetivando as potencialidades dessa tecnologia como opção para uso na alimentação animal em regiões áridas e semiáridas.

## 1.1 Importância das gramíneas forrageiras

As pastagens participam na sustentação da atividade pecuária nas regiões tropicais, como a principal fonte alimentar dos animais ruminantes, que por sua vez sofrem influência dos interperes climáticos, o que limita o desempenho dos rebanhos em determinadas épocas do ano, como no semiárido nordestino (Araújo et al., 2017).

Nessas regiões, a máxima produção de forragem, tanto em quantidade quanto em qualidade, ocorre no período em que se concentram os maiores índices pluviométricos, sendo reduzida na estação seca, principalmente devido à estiagem (Maranhão et al., 2019). Para tanto, é necessário escolher gramíneas que sejam mais tolerantes ao período de estiagem e que tenham boa produtividade e qualidade (Silva et al., 2016).

Gramíneas do gênero *Megathyrsus*, são uma das forrageiras mais empregadas em sistema de produção animal pela qualidade nutritiva, produtividade e aceitabilidade pelos animais com cultivares produtivas e adaptadas às diferentes condições climáticas regiões do mundo (Silva et al., 2020; Andrade et al. 2013).

O capim Mombaça, foi lançado no Brasil em 1993, pela EMBRAPA, no Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (Jank et al., 1994; Jank, 1995). É um cultivar de alta produtividade, apresenta elevada porcentagem de folhas, principalmente na seca, destacando-se também por apresentar menor estacionalidade de produção (Gomes et al., 2011). Segundo Sales e Valentim (2002), a cultivar Mombaça produz aproximadamente 33 toneladas de massa seca foliar/ha/ano com cerca de 13,4% de proteína.

No ano de 2001, a Embrapa Gado de Corte lançou o cultivar Massai, oriundo do cruzamento entre as espécies *Megathyrsus maximum* x *Megathyrsus infestum*, sendo uma gramínea bastante promissora para o pastejo de animais de pequeno porte, como também bovinos, tendo merecido atenção pela elevada capacidade de emitir folhas e perfilhos, com rápida rebrotação, após corte ou pastejo (Lopes et al., 2013). O capim-Massai ganha destaque por cobrir bem o solo, ser o mais resistente a cigarrinha das pastagens, e principalmente por ser o cultivar menos exigente em fertilidade de solo e mais eficiente na utilização dos nutrientes, exige precipitação pluviométrica acima de 700 mm e pode ser cultivado em solos ácidos com índice de saturação das bases acima de 40% e 5 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo (Faria, 2007).

A espécie *Urochloa brizantha* ocupa atualmente a maior parte das áreas de pastagens cultivadas no Brasil (Júnior et al., 2017). De acordo com Farias et al. (2019), o capim-Marandu é uma forrageira originada da África Tropical e do Sul e chegou ao Brasil no ano de

1984, surgindo como boa opção para os pecuaristas, por possuir ótimas características produtivas, como a tolerância à cigarrinha das pastagens (Guimarães et al., 2010). Esta forrageira apresenta características de qualidade consideradas boas e sofre menor influência das mudanças estacionais do clima na produção de volumoso, quando comparada à outras forrageiras do mesmo gênero (Costa et al., 2019). Além dessas qualidades, outras podem ser citadas, tais como a média exigência nutricional, o florescimento tardio e a diminuição desacelerada, de acordo com o tempo, de seus valores nutritivos (Cabral et al., 2016). Por esses fatores tem sido considerada uma das forrageiras mais apropriada nas condições de clima, produção e solo brasileiro (Monteiro et al., 1995).

O capim-Paiaguás também apresenta boa capacidade de produção de forragem durante a estação seca, em comparação com outros cultivares de *U. brizantha* (Veras et al., 2020). O capim-Paiaguás é uma excelente opção para a diversificação de pastagens em solos de média fertilidade no Cerrado (Moreira et al., 2009). Possui boa produtividade, vigor, produção de sementes e tem elevado potencial de produção animal no período seco, com grande quantidade de folhas e bom valor nutritivo. Apresenta maior acúmulo de forragem no período de seca, em relação a outras forrageiras, (qual genótipo) com um melhor valor nutritivo, resultando em maiores ganhos de peso por animal e por área (Costa et al., 2010).

A morfogênese pode ser definida como a dinâmica de geração (gênese) e expansão da forma da planta (morfos) no espaço (Chapman e Lemaire, 1993). Com tudo, o estudo das características de crescimento se faz interessante uma vez que permite a compreensão de aspectos relativos à forma e função das plantas forrageiras e possibilita quantificar respostas destas plantas quando submetidas a diferentes condições bióticas e abióticas (Morais et al., 2012).

## **1.2 Importância da palma forrageira para alimentação animal**

A palma é uma planta pertencente à família *Cactaceae*, que possui aproximadamente 178 gêneros descritos, com destaque para os gêneros *Opuntia* e *Nopalea* (Marques et al., 2017). Considerada é um importante recurso forrageiro para as regiões semiáridas, devido ao seu potencial de produção de biomassa em condições de baixa pluviosidade com elevada capacidade de produção de biomassa se comparada à vegetação nativa do bioma Caatinga (Neto et al., 2016).

Para o seu crescimento vegetativo, as condições climáticas como a precipitação pluvial, umidade relativa do ar e umidade de água no solo, tem um papel fundamental nos principais processos fisiológicos e bioquímicos, a exemplo da fotossíntese, respiração, transpiração e absorção de nutrientes (Sampaio et al., 2005). A palma forrageira pode manter sua fotossíntese máxima até 15 dias depois de acabar o suprimento de água do solo e depois mantém taxas decrescentes de fotossíntese, com períodos de abertura de estômatos cada vez menores. Naturalmente, estes períodos dependem da temperatura e da umidade relativa do ar, principalmente à noite (Sampaio, 2005).

A eficiência no uso da água, até 11 vezes superior à observada nas plantas de mecanismo C3, torna a palma, dentre as forrageiras cultivadas, a espécie mais adaptada ao semiárido (Ferreira et al., 2008). Os cladódios de cactos podem sobreviver por vários meses sem água, após a separação da planta-mãe. Seus estômatos permanecem fechados durante todo o tempo, e o CO<sub>2</sub> liberado pela respiração é refixado em malato. Tal processo é denominado CAM ocioso e permite a planta sobreviver por períodos de seca prolongados com perda de água extremamente reduzida (Taiz e Zeiger, 2009).

Para Marques et al., (2017), a capacidade da palma forrageira absorver água até do orvalho, através das redes de raízes que se formam pela camada superior do sistema radicular da planta nos primeiros 20 cm de solo, também é um dos fatores determinantes e tido como uma vantagem desta espécie vegetal nestes ambientes, ou seja, a capacidade e os mecanismos utilizados pelas plantas para absorverem água, possibilitam uma resposta positiva em termos de sobrevivência e de desenvolvimento das mesmas em condições climáticas adversas.

A palma apresenta grande diversidade genética, apesar de possuir o mesmo tipo fotossintético, os clones de cactos diferem em suas características morfológicas por possuírem diferentes tamanhos e estruturas de cladódios (Barbosa et al., 2018). A literatura científica nas últimas décadas, destaca sobretudo três variedades de palma forrageira destinado para alimentação de ruminantes: cv. Gigante, cv. Miúda ou Doce e cv. Orelha de Elefante Mexicana. A palma Gigante (*Opuntia ficus-indica*), conhecida popularmente como graúda, azeda ou santa é muito produtiva, no entanto possui menor palatabilidade e menor valor nutricional (Silva e Santos, 2006), além de ser suscetível a principal praga da palma, a cochonilha do carmim (Neves et al., 2010), já foi a espécie de palma forrageira mais cultivada no Nordeste do Brasil.

A palma Miúda ou Doce (*Nopalea cochenillifera*) é uma das principais variedades de palma forrageira cultivada atualmente no Nordeste brasileiro, principalmente por apresentar resistência à cochonilha do carmim. É considerada mais palatável para ruminantes em comparação com outras variedades, porém apresenta uma menor resistência à seca (Silva e Santos, 2006). A palma Orelha de Elefante Mexicana - OEM (*Opuntia stricta*) possui como principal característica resistência à infestação por cochonilha do carmim (Vasconcelos et al., 2009). A OEM apresenta espinhos, o que pode comprometer sua palatabilidade e dificultar seu manejo como planta forrageira (Cavalcanti et al., 2008).

O plantio da palma forrageira acontece no último terço do período da seca, pois durante o período chuvoso pode ocorrer apodrecimento dos cladódios causados pela contaminação com fungos e bactérias devido ao alto teor de água nas raquetes e no solo (Santos et al., 2006). O sombreamento e posicionamento do plantio do cladódio podem influenciar a interceptação da luz e eficiência fotossintética, comprometendo o desenvolvimento e produtividade da cultura. A adubação é estratégia de manejo fundamental para aumentar a eficiência da produção de forragem (Ramos et al., 2011).

A palma pode participar em até 40 a 50% da matéria seca da dieta dos bovinos; possui uma digestibilidade superior à da silagem de milho, porém contém um baixo teor de fibra que mesmo considerado como um alimento de alto valor energético, não deverá ser administrado isoladamente, necessitando complementação proteica e fibrosa (Santos et al., 2006). De acordo com Lima et al., (2015), considerando uma produção de 300 toneladas de matéria verde (t.MV) para a palma têm-se em média 270 toneladas de água de boa qualidade ofertada aos rebanhos. Além de possibilitar a oferta de forragens aos animais, a utilização da palma forrageira também possibilita o fornecimento de água de boa qualidade para os ruminantes, diminuindo a níveis consideráveis o requerimento hídrico dos rebanhos (Cavalcante, 2013; Lima et al., 2015).

### **1.3 Aplicações de hidrogel na agricultura**

Os produtos obtidos de plantas como: alimentos, rações, fibras e combustíveis são muito influenciados pelo clima, fertilidade do solo, e disponibilidade hídrica. Embora o controle sobre o clima seja difícil, a deficiência dos nutrientes do solo pode ser remediada, em grande medida por seleção racional de tipos e doses de fertilizantes e método de aplicação (Timilsena et al. 2015).

Estima-se que até 2030 a demanda global por recursos hídricos aumente em quase 50%, considerando que o setor agrícola já sofre com a escassez e usa grande parte da água doce mundial, polímeros como os HGs, por possuírem capacidade de retenção e liberação controlada ganham especial atenção (Singh et al., 2021), como forma de aumentar a eficiência do uso da água e diminuir os custos com a fertilização.

Os hidrogéis são definidos como redes poliméricas reticuladas tridimensionais capazes de absorver grandes quantidades de água e de fluidos biológicos, conservando esse volume líquido em sua estrutura sem se dissolver (Soares, 2022). Quando em contato com água o hidrogel entra em processo de intumescimento, as cadeias sofrem expansão, aumentando a distância entre seus retículos e o volume entre elas. O efeito, durante o ciclo de intumescimento, a diferença entre as pressões osmótica dos meios externo e interno ao hidrogel possibilita que o solvente adentre à matriz, sendo contrabalanceada por uma força elástica retrativa. Deste modo, quando as duas forças se igualam, o hidrogel atinge seu estágio de equilíbrio de intumescimento (Cilli et al., 2019).

O termo hidrogel foi usado pela primeira vez no ano de 1960 por Wichterle e Lim relataram hidrogéis à base de poli (2-hidroxietil metacrilato) e sugeriram que os hidrogéis podem ser usados como preenchimento após a enucleação do olho, fabricação de lentes de contato e artérias (Wichterle e Lim, 1960). Mais tarde, Erickson et al. (1984), relataram pela primeira vez a aplicação de SAPs preparados a partir de vários poli(alquil acrilatos) e poli(alquil metacrilatos) como condicionadores de solo e, desde então, os cientistas continuaram a explorar vários polímeros superabsorventes, incluindo sistemas inteligentes responsivos a estímulos, para melhorar a sua capacidade reversível de retenção de água (Xu et al 2020). A partir desse período, este material começou a ser comercializado, contribuindo assim para a retomada de novos estudos para o uso de hidrogel na agricultura (Guilherme et al., 2015; Yonezawa; Moura; Aouada, 2017).

Na agricultura, os hidrogéis são conhecidos como polímeros hidrorretentores ou condicionadores do solo, por terem como finalidade aprimorar a estrutura do solo, liberar nutrientes, promover trocas catiônicas e garantir a retenção de água (Ayer et al., 2019; Vasconcelos et al., 2020). Neste sentido, os hidrogéis têm demonstrado serem materiais promissores para o melhor uso e aproveitamento de água, pois reduz o consumo de água existente no meio, oriunda de chuvas ou de métodos de irrigação diminuindo a frequência de irrigação, atuam como fornecedores e carregadores de macro e micronutrientes essenciais de acordo com as necessidades das plantas e liberação graduada (Guilherme et al., 2015).

Além de melhorar a porosidade do solo ou até mesmo de um determinado substrato e excelente capacidade de troca catiônica que atua como minimização da lixiviação dos íons. De acordo com Abrisham et al. (2018), a aplicação de polímero superabsorvente em diferentes concentrações no solo (0,0 a 3,0 g dm<sup>3</sup>) aumentou significativamente a troca catiônica do solo em até 31 % quando comparados ao controle.

A capacidade de absorção desses materiais depende de vários fatores como: mudança de pH, temperatura, campo elétrico e irradiação a luz, pressão osmótica, concentração dos monômeros com grupos funcionais (-OH, -COOH, -COO-), agente reticulante, método de síntese, concentração salina e força iônica (Lamichhane et al., 2016; Kiran et al., 2019; Ma; Zhong; Jiang, 2020). Segundo Abobatta (2018), o hidrogel quando aplicado em condições ideais (quantidade, tipo de solo e planta) libera água e nutrientes para o solo ao redor da zona radicular da planta. Além de influenciar positivamente na densidade, textura, taxas de infiltração e evaporação de água através do solo.

Para o preparo ou síntese dos hidrogéis, os materiais precursores podem ser de origem natural, sintética ou híbridos (combinação de polímeros naturais e sintéticos) (Ahmed, 2015). No entanto, o maior volume de hidrogéis sintéticos é composto integralmente de origem artificial ou petroquímica, que possuem longa vida útil, alta capacidade de absorção de água e alta resistência do gel. Esses polímeros também recebem destaque por limitar a compactação do solo, e aumentar a aeração e a drenagem dos mesmos. A cinética de inchamento e absorção de nutrientes dos hidrogéis melhora a atividade funcional dos insumos, bem como a redução do uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, haja vista sua potencialidade não só em reter o fertilizante em seu interior, como em liberá-lo de forma lenta para o meio (Trenkel et al 2010; Bünemanna et al 2018). Neste cenário, a liberação controlada de insumos agrícolas possui várias vantagens, como por exemplo reduzir o risco de perda para o ambiente (atmosférico ou subterrâneo) (Rashidzadeh; Olad; Reyhanitabar, 2015).

Essa característica de liberação controlada de insumos agropecuários, vinculado à agricultura de precisão pelos hidrogéis é apontado como promissora e inteligente, pois promove a segurança no manuseio desses produtos, favorece a preservação do meio ambiente (solo e fontes aquáticas), diminui o custo ao produtor, e principalmente mantém as concentrações desses agroquímicos a níveis efetivos, visto que concentrações acima desses níveis são consideradas tóxicas, e abaixo, ineficientes. Além disso, diminui a recorrência de aplicações, e conseqüentemente, a mão-de-obra, o desgaste de maquinários, e principalmente,

a possibilidade de contaminação pelos aplicadores (Mattoso et al. 2005; Aouada et al. 2008; Zohuriaan-Mehr et al. 2010; Bortolin et al. 2013).

Rashidzadeh et al. (2015) desenvolveram um novo hidrogel nanocompósito para aplicação na agricultura como revestimento de fertilizantes granulares. Os autores observaram também que no tempo de 8 horas, o grânulo revestido entrou em equilíbrio não absorvendo mais água, e que a liberação do fertilizante no solo aconteceu de maneira mais prolongada (menos de 57% em 30 dias) pelos grânulos de NPK revestidos com o nanocompósito do que os grânulos não revestidos (100% em 20 dias). Wei et al. (2020) investigaram o efeito de hidrogéis contendo acrilamida e amido de milho, reticulados com N, N'-metilenobisacrilamida no comportamento de liberação lenta de ureia. Os resultados evidenciaram que o aumento da concentração de amido em relação ao monômero ou o acréscimo do conteúdo de reticulador eleva a quantidade de poros e densidade de reticulação, melhorando assim o comportamento de liberação controlada de ureia.

Callaghan et al. (1988) testaram a poliacrilamida como polímero superabsorvente aplicado em solos do Sudão. Concluíram que o polímero aumentou o período de sobrevivência das plantas aumentando a capacidade de campo do solo. Bortolin et al. (2013) sintetizaram um hidrogel usando poliacrilamida (pAAm), montmorilonita (MMT) e metilcelulose (MC) para a liberação lenta de fertilizantes. O melhor resultado para a dessorção controlada de uréia foi para um hidrogel hidrolisado contendo 50% de MMT cálcico. Este sistema obteve melhor resultado de dessorção, liberando quantidades maiores de nutriente e quase 200 vezes mais lento que a uréia pura, isto é, sem hidrogel. Islam et al. (2011), aplicaram poliacrilamida granulada em solo em condições de irrigação sob irrigação moderada a baixas. Concluiu que a presença do polímero foi capaz de aumentar a eficiência da irrigação em 8,1% sob condições moderadas e, 15,6% sob condição seca.

Olad et al. (2018) polimerizaram ácido acrílico na presença de montmorilonita e fertilizante. Os resultados mostraram que os hidrogéis sintetizados têm comportamentos de intumescimento sensíveis ao pH e ao sal, além de boas propriedades de retenção de água. Os estudos de liberação de fertilizantes também mostraram que a presença de MMT fez com que o sistema de formação liberasse o nutriente de maneira mais controlada.

Liu et al. (2016) prepararam três tipos de sistemas de entrega usando poli (ácido láctico): microcápsulas, microesferas e microcápsulas porosas para entrega do inseticida  $\lambda$ -cialotrina. Verificou-se que a liberação do pesticida é controlada principalmente pela difusão e degradação da matriz. Ao manipular os parâmetros do processo, eles foram capazes de

construir sistemas nanocarrier com tamanhos ajustáveis, bem como diferentes conteúdos de carga. Eles observaram que as proporções em peso de poli (ácido láctico) / $\lambda$ -cicalotrina e o tamanho das microcápsulas afetaram a liberação do pesticida, com microcápsulas menores apresentando taxas de liberação mais rápidas. Da mesma forma, os nanocarreadores em forma de pellets e microgrânulos foram preparados usando um poli-3-hidroxi-butirato-*co*Copolímero-3-hidroxi-valerato para avaliar o impacto do formato do carreador para liberação sustentável de herbicida.

#### **1.4 Hidrogel como suprimento de água e nutrientes**

Embora, a utilização da irrigação em pastagens ainda seja incipiente no Nordeste, é considerada uma tecnologia importante, em decorrência das limitações edafoclimáticas e hídricas existentes na região. No entanto, as fontes alternativas de água em áreas áridas como água de reuso, chuvas, poços de baixa vazão, podem não ser suficientes para implementar a irrigação, além de os processos de irrigação são particularmente caros, tornando assim a aplicação de certos materiais inviável, pois para o sucesso da irrigação, é fundamental levar em consideração dependência de informações sobre a demanda atmosférica, do conteúdo de água presente no solo e da resistência da planta quanto à perda de água para o ambiente (Campos et al., 2008; Silva et al., 2011).

A região Nordeste possui apenas 3% da disponibilidade hídrica do Brasil e isso deve ser levado em consideração na inserção de tecnologias que visam melhorar as condições hídricas desfavoráveis que influenciam na otimização da produção de forragem (Vidal e Evangelista 2012). As gramíneas (C4) necessitam de 250 a 359 kg de água por kg de matéria seca produzida (Larcher, 1986). Essa eficiência expressa à capacidade de produção de biomassa por uma determinada cultura, sob determinado consumo de água ou volume aplicado, sendo esse indicador influenciado pela fase de crescimento e disponibilidade hídrica (Costa et al., 2012; Pereira et al., 2012; Rizza et al., 2012).

O uso de polímeros hidroretentores é preferencialmente indicado para regiões com reduzida disponibilidade de água ou que sofrem longos períodos de estiagem, ocasião em que à baixa umidade do solo afeta desfavoravelmente o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Azevedo et al. 2002). Na literatura é possível encontrar o uso de hidrogéis superabsorventes em aplicações agrícolas de diversas culturas. As espécies florestais apresentam maior concentração de trabalhos, principalmente o *Eucalyptus* sp., com testes de

sobrevivência pós-plantio e na produção de mudas. No entanto, vem ganhando destaque as pesquisas voltadas para a fruticultura, olericultura e a cafeicultura utilizando o polímero hidrorretentor (Neto et al. 2017).

**Tabela 1.** Uso de hidrogéis em diferentes culturas

<b>Nome cinetífico</b>	<b>Nome vulgar</b>	<b>Referências</b>
<i>Eucalyptus</i>	Eucalipto	Cilli et al. (2022)
<i>Tabebuia roseoalba</i>	Ipê branco, pau d'arco	Ximenes et al. (2021)
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Gabiroba-de-árvore, Guabiroba e Guavirova	Santo et al. (2021)
<i>Schinus terebinthifolia</i>	Aroeira vermelha	Beltrami et al. (2020)
<i>Cucumis melo</i>	Melão	Demartelaere et al. (2009)
<i>Citrullus lanatus</i>	Melancia	Pereira et al. (2019)
<i>Cucumis sativo</i>	Pepino	Torres et al. (2020)
<i>Brassica oleracea var. italica</i>	Brócolis	Lopes et al. (2009)
<i>Lactuca sativa</i> L.	Alface	Santos et al. (2015); Andrada e Barbaro (2018)
<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate	Schons et al. (2022); Torres et al. (2020); Melo et al. (2018)
<i>Triticum</i>	Trigo	
<i>Quercus suber</i> L.	Sobreiro	Chirino et al. (2011)
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	Capim -Buffel	Martínez et al. (2016)
<i>Zea mays</i>	Milho	Martinez-Santos et al. (2020); Sandoval et al. (2015)
<i>Saccharum</i>	Cana-de -açúcar	Marques e Pinto (2013)
<i>Urochloa</i>	Brachiaria	Monteiro et al. (2015)
<i>Bouteloua curtipendula</i>	Gramma sideoats	Yáñez-Chávez et al. (2018)
<i>Chloris gayana</i>	Capim-de- rhodes	Yáñez-Chávez et al. (2018)

<i>Opuntia cochenillifera</i>	Palma forrageira	Edvan et al. (2020)
<i>Glycine max</i>	Soja	Kraisig et al. (2018)
<i>Vigna unguiculata</i>	Feijão-caupi	Fidelis et al. (2020)
<i>Avena sativa</i>	Aveia	Kraisig et al. (2018); Scremin et al. (2017)
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	Espinha do mar	Mamani et al. (2018)
<i>Coffea</i>	Café	Marques et al. (2012); Souza et al. (2015); Resende 2016.
<i>Passiflora edulis</i> Sims	Maracujá-amarelo	Araújo et al. (2022)
<i>Adenium obesum</i>	Rosa do deserto	Neto et al. (2019)
<i>Jatropha curcas</i> L.	Pinhão-manso	Dranski et al. (2013)
<i>Capsicum annuum</i>	Pimentão	Marques e Bastos (2010)
<i>Capsicum annuum</i>	Pimenta vermelha	Fernandez et al. (2018)
<i>Cordia trichotoma</i>	Louro-pardo	Kelling et al. (2017)
<i>Tagetes patula</i> L.	Tagetes, cravo-de-defunto	Sousa et al. (2022)
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba	Rodriguez et al. (2017)

Demartelaere et al. (2009) observaram que o uso do polímero hidroabsorvente reduziu em 25% a quantidade de água utilizada na irrigação do meloeiro. Em culturas hortícolas são poucos os trabalhos com o uso de hidrogel. Lopes et al. (2009) estudaram o efeito da adição de hidrogel em brócolis obtendo os melhores resultados com a dose de 2 g L<sup>-1</sup>.

Monteiro et al. (2015) avaliando a regeneração natural e a sobrevivência de mudas de espécies florestais nativas do bioma Cerrado, em áreas de pastagens abandonadas, observaram que a mortalidade pós-plantio foi 7,2% na área com polímero e 6,3% na área controle, não diferenciando estatisticamente. No entanto, observou-se uma redução da mortalidade de plantas ao avaliarem após 17 meses do plantio constatou-se que a mortalidade foi 43,7% na área com o polímero e 55,1% na área controle, havendo diferenças significativas entre si. Constatando-se que o hidrogel promoveu a sobrevivência das espécies em classes de solo Latossolo, de acordo com Monteiro et al. (2015).

Yoshimura et al. (2006) prepararam hidrogéis à base de celulose de algodão e anidrido succínico na presença de catalisadores via reação com NaOH, sem adição de agentes reticulantes, o que indicou a formação de grupos diéster. Além de absorverem 400 vezes o peso seco, os materiais apresentaram biodegradabilidade em 25 dias. Chirino et al. (2011) verificaram que a associação de hidrogel, argila e turfa reduziu o estresse hídrico no estabelecimento de mudas de *Quercus suber* L. no campo e pode contribuir para melhorar métodos de restauração florestal em ecossistemas semiáridos

### **1.5 Hidogéis de origem natural**

É cada vez mais crescente o interesse pelos compostos poliméricos reforçados com fibras naturais. Várias fibras vegetais vêm sendo utilizadas para a produção do hidrogel (Junior et al., 2013). Os hidrogéis obtidos a partir de polímeros naturais utilizam resíduos de produtos vegetais, são propícios para o desenvolvimento de materiais a serem utilizados em diversas aplicações, principalmente na área de alimentos e biomédica, por serem de baixo custo, pois são de fácil acesso, abundantes, não tóxicos e biodegradáveis e possuem outras propriedades biológicas atraentes (Ahmed, 2015). Como a matéria prima é de origem renovável, espera-se que no final de sua vida útil haja degradação do material, de forma que a quantidade de resíduos gerada diminua consideravelmente (Yates, Barlow, 2013).

Os chamados HGs híbridos, como são também conhecidos, surgem como alternativa sustentável para sanar o problema da não biodegradabilidade dos polímeros sintéticos (Palmese et al., 2019; Madduma-Bandarage e Madihally, 2020). Por serem de origem natural, a maioria dos biopolímeros apresenta compatibilidade com sistemas biológicos e baixa toxicidade sem que haja alteração em suas propriedades mecânicas, o que aumenta ainda mais a relevância tecnológica desses materiais. Além de atuar diretamente na retenção de água, nutrientes e liberação controlada dos mesmos, contribuindo também para o desenvolvimento, crescimento e produtividade de várias culturas (Abobatta, 2018; Kumar et al., 2020).

São citados os benefícios da aplicação destes hidrogéis, como a excelente capacidade de retenção de água no solo por um longo período, aumento da atividade microbiana do meio de cultivo, rendimento de germinação, melhora do desenvolvimento radicular, crescimento e a produtividade (De, 2017; Elbarbary et al., 2017; Said et al., 2018; Nayan et al., 2018). Essas

características fazem com que hidrogéis sintéticos oriundos de recursos não renováveis tenham suas aplicações tecnológicas limitadas. Castro-Aguirre et al. (2016) relatam que grandes empresas mundiais como Danone, Wal-Mart e Track & Field já substituíram parte dos polímeros oriundos de recursos não-renováveis por PLA na confecção de seus produtos.

Kirti et al. (2020) sintetizaram um hidrogel nanocompósito a base de amido, alginato de sódio, acrilamida e bentonita. Os hidrogéis sintetizados foram carregados com ureia e aplicados no cultivo de arroz e trigo. De acordo com os autores, todos os tratamentos contendo hidrogéis nanocompósitos produziram um elevado rendimento da biomassa e grãos devido a liberação prolongada de nitrogênio no solo, sendo suficiente para suprir os processos fisiológicos da planta.

Em estudos, Fan et al. (2019) prepararam um fertilizante orgânico contendo alginato e ureia para aplicação em culturas sem solo. Os autores destacam que as interações de hidrogênio e hidrofóbicas presentes entre esses componentes controlaram a taxa de liberação, e que o fertilizante orgânico desenvolvido apresentou resultados mais significativos do que o estudo feito com fertilizante inorgânico comumente usado. Com isso, os autores concluem que a associação do alginato a ureia é uma nova alternativa para controlar a liberação de fertilizantes de fontes nitrogenadas e melhorar o rendimento das culturas.

Mello et al. (2019) sintetizaram e aplicaram diferentes concentrações (0,0, 1,5 e 2,0 %) de hidrogel de acrilamida, carboximetilcelulose e montmorilonita para produção de mudas de tomate (BRS Nagai). Após 21 dias de semeadura foram analisados diversos parâmetros de crescimento delas. De acordo com os resultados, a concentração de 1,5 % combinado com substrato a base de turfa melhorou o crescimento das mudas de tomates, sem apresentar nenhum efeito tóxico para as mudas.

Por outro lado, por ser um material que maximiza a segurança alimentar devido a boa capacidade de absorção de metais pesados, e por possuir características similares ao carvão marrom (que já é destacado na literatura como uma substância que aumenta a eficiência do uso de nitrogênio nas lavouras), o alginato também pode ser aplicado na agricultura, uma vez que seus oligossacarídeos são biologicamente ativos para promover o crescimento das plantas e melhorar o rendimento de diversas culturas (Fan et al. 2019; Zhu et al. 2019).

Os autores Motamedi et al. (2020) analisaram um hidrogel à base de amido, ácido acrílico-co-acrilamida, reforçado com nanopartículas de carvão natural na retenção de água no solo. A aplicação de 1,0 % deste material aumentou em 53,9 % a capacidade de retenção de água. Em contrapartida, a taxa de retenção de água do controle foi de 38,0 %. Ainda foi possível observar

que após 14 dias de análises, o solo controle perdeu praticamente toda a umidade. Por outro lado, os hidrogéis nanocompósitos apresentaram um comportamento de retenção de água de 23,1 % após 14 dias, atuando como um reservatório de água, fornecendo umidade para a planta por um longo período de tempo.

Giroto et al. (2014) produziram um hidrogel nanocompósito à base de amido e nanoargila montmorilonita para liberação controlada de herbicida. Os hidrogéis foram obtidos mediante o preparo inicial de uma solução de amido e sobre esta solução adicionou a nanoargila e o herbicida ametrina. Por esse motivo, os autores enfatizam que a aplicação desses herbicidas a partir de hidrogéis, pode melhorar seus níveis quantitativos no solo, minimizando toda essa problemática de contaminação, extinção da fauna e traspasse da biodiversidade. Os hidrogéis derivados de amido, à base de polissacarídeos, são atóxicos ou biodegradáveis, podendo permanecer no solo por aproximadamente um ano, dependendo da atividade microbiana, além de serem inodoros e biodegradáveis, e ao serem imersos em água, aumentam de volume, apresentando capacidade de reter de 400 a 500 vezes seu próprio peso (Garcia et al., 2011; Franchement, 2012).

Segundo Ritonga et al. (2019), hidrogel a base de quitosana reticulado com ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) aplicado como condicionador de solo não afeta a capacidade de troca catiônica do meio e mantém o pH do meio constante. Conseqüentemente, ambos os hidrogéis testados melhoraram as propriedades da capacidade de retenção de água, podendo contribuir para a liberação controlada dela ao meio de cultivo.

Em estudo realizado por Shu & Zhu (2000), foram preparados hidrogéis à base de quitosana reticulados com tripolifosfato através de coagulação para liberação controlada de fármacos. Nesse trabalho, estudou-se a eficiência de se utilizar óleo de gergelim frio para induzir o processo de coagulação antes de se adicionar o reticulante, e o material preparado apresentou resistência mecânica 10 vezes superior àquele feito em temperatura ambiente com a mesma matriz polimérica.

Dentre esses precursores, quitosana e derivados (Chatterjee et al., 2010), amido, celulose e ágar (Cho e Ooya, 2019) têm sido comumente descritos na literatura na produção de hidrogéis. De acordo com Montesano et al. (2015) ao avaliar os hidrogéis superabsorventes à base de celulose verificou que o produto é adequado para uso iminente na agricultura, com potencial benefício em particular para cultivos de plantas de ciclo curto. Em estudo recente, Li e Chen (2019) relataram diversos hidrogéis baseados em celulose e suas nanopartículas para aplicação na agricultura como forma de se controlar a umidade do solo e a liberação de

nutrientes baseados em nitrogênio, fósforo e potássio, que são essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Montesano et al. (2015) desenvolveram um hidrogel superabsorvente a base de celulose, e estudaram sua influência nas propriedades de retenção de água do solo, aplicados no cultivo de pepino e manjeriço. Os autores Ahmed et al. (2016) testaram a eficiência de um hidrogel contendo carboximetilcelulose e poli (ácido acrílico-co-acrilamida) no cultivo de ervilhas. Pandey e De (2017) que aplicaram hidrogel a base de quitosana e acrilamida no crescimento de mudas de alfafa (*Medicago sativa L.*) e na retenção de água no solo. No mesmo ano, Elbarbary et al. (2017) avaliaram hidrogéis a base de poliacrilamida, alginato e quitosana no cultivo de milho.

Neste cenário, Said et al. (2018) também desenvolveram hidrogel a base de polissacarídeos (quitosana-g-poli (ácido acrílico-co-acrilamida)) e investigaram a propriedade deste material como condicionador de solo em mudas de berinjela (*Solanum melongena*). Similarmente Nayan et al. (2018) sintetizaram um hidrogel baseado em quitosana e poli (acetato de vinila), e aplicaram o mesmo na germinação de sementes e crescimento de quiabo. O uso de polímeros de alta densidade no cultivo da palma forrageira permitiu aumento de produtividade (Junior et al., 2018). Hidrogel a base de fibra natural proporcionou melhor crescimento e composição química dos genótipos de palma forrageira (Edvan et al., 2020).

Senna et al. (2018) sintetizaram um hidrogel derivado do acetato de celulose o qual mostrou ser um excelente substrato para liberação lenta e retenção de água no solo, redutor de lixiviação de fertilizantes, além de ser atóxico, biodegradável no solo e ecológico. Heise et al. (2019) sintetizaram um hidrogel a base de palha de trigo, em que sua matriz consiste em lignocelulósica reticulada com ácido cítrico, e analisaram o efeito de sua incorporação em dois tipos de solos diferentes (arenoso e siltoso) com relação a retenção de água nos mesmos. Os resultados da adição do hidrogel nas concentrações de 0,2 e 0,7 % em solo arenoso correspondem a 70 e 300 %, respectivamente. Enquanto em solo siltoso, a retenção de água do solo decresceu em aproximadamente 12 e 20 % quando incorporados 0,2 e 0,7 % de hidrogel, respectivamente.

## **1.6 Goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*)**

O cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) é uma frutífera nativa e extensivamente cultivada no Brasil e que possui potencial econômico e medicinal (Silva et al., 2018; Barros et

al., 2020). A região nordeste do Brasil mais precisamente o Estado da Paraíba apresenta um grande potencial para o cultivo do cajueiro, tendo dessa forma uma alternativa de geração de renda para a comunidade carente que habita esta região (Júnior et al 2021).

As células epiteliais do cajueiro produzem um exsudato de cor amarela que é utilizado pela planta como um mecanismo de defesa contra injúrias físicas e ataques microbianos. Esse polissacarídeo (exsudado pelo cajueiro) é a matéria-prima para a produção da goma do cajueiro (GC), que atualmente tem sido extensivamente estudado por sua ampla disponibilidade, flexibilidade para modificação química, caráter hidrofílico, baixo custo, biocompatibilidade, biodegradabilidade e aplicabilidade (Padilha et al., 2020). Em relação à estrutura química da sua molécula, contém galactose, arabinose, ramnose, glicose, ácido glicurônico, e outros resquícios de açúcar em sua estrutura, e que produz, durante sua hidrólise: L - arabinose, L-ramnose e D-galactose (Furtado et al., 2019).

A vantagem do uso da GC está na abundância e facilidade na obtenção, haja vista, a área plantada com cajueiro, somente nos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, possui potencial para produzir goma suficiente para reverter o quadro brasileiro de importador para exportador de goma para muitas das finalidades industriais nas quais se utiliza a goma arábica (Lima et al. 2013). Desta forma, diminui a necessidade de importação, escassez e logística de gomas com características semelhantes como: peso molecular, teor de ácido urônico e mesmos tipos de nidades monossacarídeas, e por serem gomas exudadas e apresentarem ramificações em cadeias (Paula et al. 2014; Porto e Cristianini, 2014). E pode ser obtido naturalmente ou através de incisões periódicas no tronco e ramos da árvore (Menezes Filho; Castro, 2020; Menezes Filho et al., 2020).

Esse subproduto, possuem vasto campo em desenvolvimento de tecidos sintéticos e foi testado com sucesso em diversas finalidades:

**Tabela 2.** Uso do hidrogel de goma do cajueiro em diversas áreas

<b>Aplicações</b>	<b>Autor e ano</b>
Tratamento de água	(Griveau et al., 2021)
Desenvolvimento de sensores	(Zhang et al., 2022)
Farmacológicas	(Wu et al., 2020; Wroblecka et al., 2021); (Júnior et al. 2021; Hasnain et al. (2019)

---

Agricultura em formato de hidrogel	(Mahon et al., 2019; Rodrigues et al., 2021)
Revertimentos de alimentos	(Carneiro-Da-Cunha et al., 2009; Pinto, 2012); Magalhães et al., 2021; Araruna et al., 2020.

---

Os hidrogéis oriundos da modificação química de polissacarídeos como a goma do cajueiro (GC) com ácido acrílico poli (ácido acrílico) ganham especial destaque por apresentarem vantagens na facilidade de manipulação e modificação química, além de alto potencial de reprodutibilidade com características similares ou melhores que as apresentadas por materiais 100% sintéticos (Laberfinger et al., 2017; Barros et al. 2020).

## **2. CONSIDERAÇÕES**

As condições de déficit hídrico é um fator comum à produção de forragem, podendo apresentar impactos negativos de larga escala e/ou drásticos no comportamento vegetal em diferentes estágios de desenvolvimento das plantas, no qual reverter a situação dependerá do genótipo, da extensão, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta. Desta forma, a capacidade de liberação lenta de água em solo gerada pelos hidrogéis, tende a favorecer a absorção, devido a pressão exercida pelo solo, apresentando potencial de aplicação como sistemas fornecedores de água para a agricultura, em especial para as gramíneas e palmas forrageiras.

### 3. REFERÊNCIAS

- Andrade, K. C. S., Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Azeredo, H. M. C., Corrêa, J. S. & Caldas, C. M. Goma De Cajueiro (*Anacardium Occidentale*): Avaliação Das Modificações Químicas E Físicas Por Extrusão Termoplástica. **Polímeros**, 23 (5), 667-671, 2013.
- Ahmed, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**, v. 6, p. 105-121, 2015.
- Araújo, S. A. D. C.; Silva, T. O. D.; Rocha, N. S. et al. Growing tropical forage legumes in full sun and silvopastoral systems. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 39, p. 27-34, 2017.
- Azevedo, T. L. F.; Bertonha, A.; Gonçalves, A. C. A.; Freitas, P. S. L de.; Rezende, R.; Frizzone, J. A. Níveis de polímero superabsorvente, frequências de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum**. v. 24, n. 5, p. 1239-1243, 2002.
- Barbosa, M. L., Silva, T. G. F., Zolnier, S. & Ferreira, W. P. M. Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in clones of the forage cactus. **Revista Ciência Agronômica**, 49(3):399-408, 2018.
- Barros, A. B., Moura, A. F., Silva, D. A., Oliveira, T. M., Barreto, F. S., Ribeiro, W. L. C., Alves, A. P. N. N., Araújo, A. J., Moraes Filho, M. O., Iles, B., Medeiros, J. V. R. & Marinho-Filho, J. D. B. Evaluation Of Antitumor Potential Of Cashew Gum Extracted From *Anacardium Occidentale* Linn. **International Journal Of Biological Macromolecules**, 154, 319-328, 2020.
- Braz, T.G.S.; Martuscello, J.A.; Jank, L.; Fonseca, D.M.; Resende, M.D.V.; Evaristo, A.B. Genotypic value in hybrid progenies of *Panicum maximum* Jacq. **Cienc. Rural**, 47, 1–6, 2017.
- Cabral, C. E. A.; da Silva Cabral, L.; Silva, E. M. B.; dos Santos Carvalho, K.; Kroth, B. E.; Cabral, C. H. A. Resposta da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu a fertilizantes nitrogenados associados ao fosfato natural reativo. **Comunicata Scientiae**, 7(1), 66-72, 2016.
- Campos, J. H. B. C.; Silva, V. D. P.; Azevedo, P. V.; Borges, C. J.; Soares, J. M.; Moura, M. S.; Silva, B. B. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. Campina Grande, PB: Rev, **Bras. Eng. Agr. e Amb.**, v.12, n.2, p.150– 156, 2008.
- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. A.; Silva, L. M.; Fagundes, J. L.; Silva, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424 - 433, 2014.
- Cavalcanti, M. C. A.; Batista, Â. M. V.; Guim, A.; Andrade, M. L.; Ribeiro, V. L.; RIBEIRO Neto, A. C. Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) e palma orelha-de-elefante (*Opuntia* sp.). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 30, n. 2, p. 173-179, 2008.

Chapman, D. F.; Lemaire, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after deliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17.PALMERSTON NORTH, NEW ZELAND, 1993. **New Zeal C and Grassland Association**, 1993.

Chatterjee, S., et. al. Adsorption of congo red by chitosan hydrogel beads impregnated with carbon nanotubes. **Bioresource Technology**. Elsevier Ltd, 101(6), pp. 18001806, 2010.

Chiacchio, F. P. B.; Mesquita, A. S.; Santos, J. R dos. Palma Forrageira: uma Oportunidade Econômica ainda desperdiçada para o Semiárido Baiano. **Bahia Agrícola**. v.7, n.3, p. 39-49, 2006.

Chirino E.; Vilagrosa A.; Vallejo VR. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. **Plant and Soil**, 344(1-2): 99-110, 2011.

Cho, I. S.; Ooya, T. Tuned cell attachments by double-network hydrogels consisting of glycol chitosan, carboxymethyl cellulose and agar bearing robust and self-healing properties', **International Journal of Biological Macromolecules**. Elsevier B.V., 134, pp. 262268, 2019.

Costa-Coutinho, J.M.; Jardim, M.A.; Castro, A.J.F.; Viana-Junior, A.B. Biogeographic connections of Brazilian savannas: partition of marginal and disjunct diversity and conservation of northern ecotonal tropics in a biodiversity hotspot. **Revista Brasileira de Geografia Física**,12, 2407-2427, 2019.

Costa, F. S. et al. Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, p.26-33, 2012.

Costa, K.A.P.; Faquin, V.; Oliveira, I.P. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim-marandu. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.1, p.192-199, 2010.

Costa, S.; Rodrigues, J.; & de Paula, R. Monitorização do Processo de Purificação de Gomas Naturais: Goma do Cajueiro. **Polímeros: Ciência eTecnologia**, 6, 49–55, 1996.

Cock L.S., Guancha-Chalapud M.A. Natural fibers for hydrogels production and their applications in agriculture. **Acta Agronómica**, 66: 495–505, 2017.

Cruz, P. J. R. Fluxo de tecidos, fisiologia e produção de plantas forrageiras sob sombreamentos. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina-MG, 2019.

Da Silva, D. A.; de Paula, R.C.M.; Feitosa, J.P.A. Graft copolymerisation of acrylamide onto cashew gum. **Eur. Polym. J.**, 43, 2620–2629, 2007.

Demartelaere, A.C.F.; Dutra, I.; Alves, S.S.V.; Teófilo, T.M.S.; Alves, S.V. Utilização de polímero hidroabsorvente no meloeiro (*Cucumis melon L.*) sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 5-8, 2009.

Dick, M.; Da Silva, M. A.; Da Silva, R. R. F.; Ferreira, O. G. L.; Maia, M. S.; De Lima, S. F.; Neto, V. B. P.; Dewes, H. Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in

the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. **Journal of Cleaner Production**, 311, 15, 2021.

Edvan, R.L.; Sá M.; Magalhães, R.; Ratke, R.; Sousa, H. R.; Neri, L. M. L.; Silva-Filho, E.C.; Filho, J. P. Fibra natural copolimerizada do mesocarpo de *Orbignya phalerata* (fruto do babaçu) como fertilizante de irrigação para o cultivo de palma. **Polímeros (Basel)** v.12 (8); Agosto de 2020.

Farias, P. P., Ferreira, O. G. L., de Oliveira, A. P. T., Kröning, A. B., Costa, P. T., & da Rosa, P. P. Implantação de pastagens pelo método vegetativo. **Revista Científica Rural**, 21(2), 421-437, 2019.

Ferreira, M. D. A.; Silva, F. M. D.; Bispo, S. V.; Azevedo, M. D. Estratégias na suplementação de vacas leiteiras no semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, suplemento especial, p. 322-329, 2009.

Furtado, R. F.; Ribeiro, F. W. M.; Mendes, L. G.; Mariano, A. C. M.; Alves, C. R.; Bastos, M. S. R.; Costa, J. M. C. Modificação Química De Goma De Cajueiro: Novas Características E Potencialidades De Aplicações. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013.

Franchement, M. Turnos de rega e doses de polímero hidrorretentor na formação de mudas de cafeeiro em tubetes e saquinhos. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, p. 46. 2012.

Galindo, F. S.; Buzetti, S.; Teixeira Filho, M. C. M.; Dupas, E.; & Ludkiewicz, M. G. Z. Acúmulo de matéria seca e nutrientes no capim-mombaça em função do manejo da adubação nitrogenada. **Journal of Neotropical Agriculture**, 5(3), 1-9, 2018.

Garcia, A. L. A.; Padilha; L.; Dias; A. S. Uso de polímero hidrorretentor no plantio de cafeeiros em ambientes protegidos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, **Anais**. EMBRAPA Café. v. 7, p. 1-4. 2011.

Gomes, R.A.; Lempp, B.; Jank, L.; Carpejani, G.C.; Moraes, M.D.G. Características anatômicas e morfofisiológicas de lâminas foliares de genótipos de *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.2, p.205-211, 2011.

Guilherme, M. R. et al. Synthesis of a novel superabsorbent hydrogel by copolymerization of acrylamide and cashew gum modified with glycidyl methacrylate. **Carbohydrate Polymers**, 61(4), pp. 464–471, 2005.

Guimarães, F. B.; Soares Filho, C. V.; Heinrichs, R., Crociolli, C. A.; & Castro, A. Produtividade inicial do capim-xaraés submetido à adubação completa e omissão de nutrientes. **Vet Zootec**, 17(1 supl 1), 150, 2010.

Griveau, L.; Lafont, M.; le Goff, H.; Drouglazet, C.; Robbiani, B.; Berthier, A.; Sigaudou-Roussel, D.; Latif, N.; Visage, C. L.; Gache, V.; Debret, R.; Weiss, P.; & Sohier, J. Design and characterization of an in vivo injectable hydrogel with effervescently generated porosity for Regenerative Medicine Applications. **Acta Biomaterialia**, 2021.

Inglese, P.; Mondragon, C.; Nefzaoui, A.; Saenz, C. **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017.

Jank, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum* In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12, Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.21-58.

Jank, L.; Savidan, Y.H.; Souza, M.T.C.; Costa, J.C.G. Avaliação do germoplasma de *Panicum maximum* introduzida da África. I: Produção forrageira. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, p.433-440, 1994.

Junior, A. L. D. C. S.; De Aguiar, E. M.; Da Costa, J. A.; Da Costa, J. M. B.; Da Costa, P. R.; Silva, S. N., Dos Santos, W. C. Uso de Polímeros Hidroretentores na Produção de Palma Forrageira. **Uso de Polímeros Hidroretentores na Produção de Palma Forrageira**, p.1-388, 2018.

Junior, M. G.; Novack, K. M.; Botaro, V. R.; Protásio, T. D. P.; Couto, A. M. Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, v. 33, n. 1, p. 33-42, 2013.

Júnior, M. R. R.; Canaver, A. B.; Rodrigues, A. B.; Neto, F. J. D.; & Spers, R. C. Desenvolvimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetidas a diferentes tipos de adubação (Química e Orgânica). **Revista Unimar Ciências**, 24(1-2), 2017.

Larcher, W. Utilização de carbono e produção de matéria seca. In: Larcher, W. *Ecologia vegetal*. São Paulo. EPVE. 1986.

Leberfinger, A. N.; Ravnicek, D. J.; Dhawan, A.; & Ozbolat, I. T. Concise review: Bioprinting of stem cells for transplantable tissue fabrication. **Stem Cells Translational Medicine**, 6(10), 1940–1948, 2017.

Lemaire, G.; Chapman, D. Tissue fluxes in grazin HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Eds.). *g plant communities*. In: *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford: CAB International, p.33, 1996.

Li, S.; AND CHEN, G. Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: Preparation, performance, and socioeconomic impacts, **Journal of Cleaner Production**. Elsevier B.V,2020.

Lima, G. F. C. et al. Palma forrageira irrigada e adensada: Uma reserva forrageira estratégica para o semiárido potiguar. Parnamirim: EMPARN, ISSN 01-4197, 2015.

Lopes, M.N.; Cândido, M.J.D.; Pompeu, R.C.F.F.; Da Silva, R.G.; Lopes, J.W.B.; Fernandes, F.R.B.; Bezerra, F.M.L. Fluxo de biomassa em capim-massai durante o estabelecimento e rebrotação com e sem adubação nitrogenada1. **Revista Ceres**, v.60, n.3, p.363- 371, 2013.

- Lopes, J.L. W. et al. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 217-224, 2010.
- Mahon, R.; Balogun, Y.; Oluyemi, G.; & Njuguna, J. Swelling performance of sodium polyacrylate and poly(acrylamide-co-acrylic acid) potassium salt. **SN Applied Sciences**, 2(1), 2019.
- Marques, O. F. C. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cad. Ciênc. Agra.**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.
- Maranhão, S. R.; Pompeu, R. C. F. F.; de Souza, H. A.; de Araújo, R. A.; Fontinele, R. G.; Cândido, M. J. D. Morphophysiology of buffel grass grown under different water supplies in the dry and dry-rainy seasons. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** 23 (8), 2019.
- Martuscello, J.; Rios, J.; Ferreira, M.; Assis, J.; Braz, T.; & Cunha, D. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. *Boletim De Indústria Animal*, 76, 1-10, 2019.
- Menezes Filho, A. C. P.; Castro, C. F. S. Análise morfológica foliar de *Anacardium humile* A. St. –Hil. (Anacardiaceae). **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, 1, 480-485, 2020.
- Menezes Filho, A. C. P.; Santos, D. B.; Nascimento, R. C.; Oliveira, M. S.; Castro, C. F. S. Physicochemical evaluation and antifungal activity of essential oil from *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae). **Revista de Agricultura Neotropical**, 7, 57-61, 2020.
- Moreira, N. J.; Lira, M. de A.; Santos, M. V. F. dos; Araújo, G. G. L. de; Silva, C. G. da. Potencial de produção de capim-buffel na época seca no semi-árido Pernambucano. **Revista Caatinga**, v.20, p.22-29, 2007.
- Monteiro, M. M.; Souza, D. M.; Venturoli, F. Influência de polímero hidroabsorvente na recuperação ecológica de latossolo recoberto com braquiária no cerrado. **Revista de Biologia Neotropical / Journal of Neotropical Biology**, Goiânia, v. 12, n. 1, p. 20–25, 2016.
- Monteiro, F. A.; Ramos, A. K. B.; De Carvalho, D. D.; de Abreu, J. B. R. Daiub, J. A. S.; Da Silva, J. E. P.; & Natale, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, 52(1), 135-141, 1995.
- Montesano, F. F. et al. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 451-458, 2015.
- Nascimento S.M.; Aquiar E.M.; Lima G.F.C.; Novaes L.P.; Costa P.R. Aspectos gerais da palma forrageira e alternativas de manejo: uma associação do hidrogel agrícola e da adubação foliar. **Nutri time**, vol 17, N°02 ISSN: 1983- 9006, 2020.

Neto, J. L. L. M.; et al. Hydrogels in Brazilian Agriculture. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 4, p. 347-360, 2017.

Neto, J.P.; Soares, P. C.; Batista, A.M.V.; Andrade, S.F.J.; Andrade, R.P.X.; Lucena, R.B.; Guim. A. Balanço hídrico e excreção renal de metabólitos em ovinos alimentados com palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). **Pesquisa Veterinária Brasileira** 36,322-328, 2016.

Neves, A. L. A.; Pereira, L. G. R.; Santos, R. D dos.; Voltolini, T. V.; Araújo, G. G. L de.; Moraes, S. A de.; Aragão, A. S. L de.; Costa, C. T. F. **Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos no semiárido brasileiro**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010.

Oliveira, G.C.; Dias Junior, M.S.; Resck, D.V.S.; Curi, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.327-336, 2004.

Pereira, L. S.; Cordery, I.; Iacovides, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v.108, 39-51, 2012.

Pessoa, F.A.P.; Bandeira, C.T. Caju informativo, ANO VI, 1993.

Ramos Junior, E.U.; Machado, R.A.F.; Olibone, D.; Castoldi, G.; Ramos, B.M. Crescimento de plantas de cobertura sob déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.1, p.47- 56, 2013.

Ramos, J. P. F.; Leite, M. L. M. V.; Oliveira Junior, S.; Nascimento, J. P.; Santos, E. M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos, **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 41-48, 2011.

Rizza, F.; et al. Constitutive differences in water use efficiency between two durum wheat cultivars. **Field Crops Research**, v. 125, p.49–60. 2012.

Rodrigues Sousa, H.; Lima, I. S.; Neris, L. M. L.; Silva, A. S.; Santos Nascimento, A. M. S.; Araújo, F. P.; Ratke, R. F.; Silva, D. A.; Osajima, J. A.; Bezerra, L. R.; et al. Superabsorbent Hydrogels Based to Polyacrylamide/Cashew Tree Gum for the Controlled Release of Water and Plant Nutrients. **Molecules**, 26, 2680, 2021.

Rodriguez, A.; Jose, V.; Daniel, D.; Viviane, M.; Lavinia, A. Desarrollo de un material compuesto de fibras de henequén utilizando una matriz termofija development of composite with henequen´s fibres and termofix matrix. **Ingeniería Mecánica**, 17; 264–272. 2014.

Sales, M. F. L.; Valentim, J. F. Capim Mombaça – Formação e Manejo de Pastagens no Acre. 1º impressão. Rio Branco: Embrapa, 2002.

Sampaio, E. V. S. B. et al. **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 43-56, 2005.

- Santos, D. C.; Farias, I.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Arruda, G. P.; Coelho, R. S. B.; Dias, F. M.; Melo, J. N. de. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco. Recife. IPA. Documentos, 30, p.48, 2006.
- Silva, H. M.; Vendramini, J. M.; De Oliveira, F. C.; Filho, C. V. S.; Kaneko, M.; Silveira, M. L.; Yarborough, J. K. Harvest frequency effects on herbage characteristics of 'Mavuno' brachiariagrass. **Crop Science**, p. 1-24, 2020.
- Silva, I.; Raliuson, J.; Maniçoba, A.; Barroso, J. N.; Leite, M. L.; Imbroisi, T.V. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 11, n. 3, 2018.
- Silva, V.J.C.G.S.; Pedreira, L.E.; Sollenberger, L.S.; Silva, J.I.; Yasuoka, I.C.L.; Almeida. Canopy height and nitrogen affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of 'Mulato II' brachiariagrass. **Crop Science**, v. 56, n. 4, p. 2054-2061, 2016.
- Silva, C. C. F.; Santos, L. C. Palma Forrageira (*Opuntia Ficus-Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, n. 10, 2006.
- Soares, J.B. **O Cajú: Aspectos tecnológicos**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. p.133-205, 1986.
- Sousa, B.M.L.; Rizato, C.A.; Fagundes, J.L.; Fontes, P.T.N.; Backes, A.A.; Oliveira Junior, L.F.G.; Nascimento, C.S. Tillering dynamics of digit grass subject to different defoliation frequencies. **Pesqui. Agropecu. Bras**, 54, 1–9, 2019.
- Souza, A.J.J.; Guimarães, R.J.; Colombo, A.; Sant'ana, J.A.V. Quantitative analysis of growth in coffee plants cultivated with a water-retaining polymer in na irrigated system. **Revista Ciência Agronômica**, 47:162–71, 2016.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 5. ed., Artmed, p. 918, 2013.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- Thakur, V. K.; Thakur, M. K. Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 109, p. 102-117, 2014.
- Tiomno F. R. **Revista de química industrial** 147, 23, 1946.
- Vasconcelos, A. G. V. de; et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmin (*Dactylopius* sp). Viçosa, MG, **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.5, p.827-831, 2009.
- Venturoli, F.; Venturoli, S. Recuperação florestal em uma área degradada pela exploração de areia no Distrito Federal. **Ateliê Geográfico, Goiânia, GO**, v. 5, n. 13, p. 183-195, 2011.
- Veras, E. L. de L.; Difante, G. dos S.; Gurgel, A. L. C.; Costa, A. B. G. da.; Rodrigues, J. G.; Costa, C. M.; Neto, J. V. E.; Pereira, M. de G. ; Costa, P. R. Tillering and Structural

Characteristics of Panicum Cultivars in the Brazilian Semiarid Region. **Sustainability** 2020, 12, 3849, 2020.

Vidal, Maria de Fátima.; Evangelista, Francisco Raimundo. Irrigação na Área de Atuação do Banco do Nordeste do Brasil. 53 pág. BNB, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE), mar. 2012.

Wu, Z.; Zhang, P.; Zhang, H.; Li, X.; He, Y.; Qin, P.; Yang, C. Tough porous nanocomposite hydrogel for water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, 421, 126754, 2022.

Wu, C.-H.; Sun, M.-K., Kung, Y.; Wang, Y.-C.; Chen, S.-L.; Shen, H.-H.; Chen, W.-S.; Young, T.-H. One injection for one-week controlled release: In vitro and in vivo assessment of ultrasound-triggered drug release from injectable thermoresponsive biocompatible hydrogels. **Ultrasonics Sonochemistry**, 62, 104875, 2020.

Wróblewska, K. B.; Jadach, B.; Muszalska-Kolos, I. Progress in drug formulation design and delivery of medicinal substances used in ophthalmology. **International Journal of Pharmaceutics**, 607, 121012, 2021.

Yoshimura, T.; Matsuo, K.; Fujioka, R. Novel biodegradable superabsorbent hydrogels derived from cotton cellulose and succinic anhydride: Synthesis and characterization. **Journal of Applied Polymer Science**, 99(6), pp. 3251–3256, 2006.

Zhang, X.; Wan, H.; Lan, W.; Miao, F.; Qin, M.; Wei, Y.; Hu, Y.; Liang, Z.; Huang, D. Fabrication of adhesive hydrogels based on poly (acrylic acid) and modified hyaluronic acid. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, 126, 105044, 2022.

## CAPÍTULO II: USO DE HIDROGEL À BASE DA GOMA DO CAJUEIRO NO CRESCIMENTO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

**RESUMO:** O desenvolvimento de hidrogéis naturais como veículos carreadores em sistemas de liberação controlada é considerado promissor, desta forma, objetivou-se avaliar o uso do hidrogel teste (HT) da goma do cajueiro, nas características agrônômicas, composição química e mineral de dois genótipos do gênero *Urochloa brizantha* e dois genótipos do *Megathyrsus maximum*, em comparação ao uso do hidrogel comercial (HC) composto por poli(acrilamida) sob doses. Foi realizado dois ensaios simultâneos, em casa de vegetação. No primeiro ensaio foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial ( $4 \times 3$ ) sendo o primeiro fator constituindo por dois genótipos do gênero *Megathyrsus maximum*: Mombaça e Massai e dois genótipos *Urochloa brizantha*: Marandu e Paiaguás, e o segundo fator composto pelas três formas de hidratação da planta: Sem Hidrogel-SH, Hidrogel Teste- HT e Hidrogel Comercial -HC, com quatro repetições. O segundo ensaio foi avaliado quatro níveis do HT: 0 kg, 10 kg, 20 kg e 40 kg ha<sup>-1</sup>, no capim-Mombaça, com quatro repetições. À campo, realizou-se o terceiro ensaio, em blocos inteiramente casualizados, com cinco blocos e três tratamentos: SH, HT e HC no capim-Mombaça. Foram avaliadas as características de crescimento, produção, composição química e mineral das plantas em dois ciclos a cada 30 dias. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias pelo teste de Snott-Knott, a um nível de 5% de probabilidade. Houve efeito para TAlF entre as formas de hidratação e para o NFL no uso do HT apenas no capim-Paiaguás. Os quatro genótipos avaliados apresentaram resultados semelhantes para TAlF e TAlH. Os resultados de NFL e TApF apresentaram semelhança nas avaliações realizadas nas quatro espécies, sendo que o capim-Paiaguás obteve maiores resultados nessas duas variáveis quando comparado com as demais espécies. Com uso do HT, os capins Marandu e Massai apresentaram maior DPP, com 2,94 e 2,55 perfilhos por vaso respectivamente. Houve interação no uso do HC no capim-Marandu atingindo a média de 90,6 g kg<sup>-1</sup> MS de PB e menor no capim Massai. O teor de K, obteve maior interação com HC nos capins Marandu, Paiaguás e Mombaça. O capim-Mombaça apresentou maior concentração de P com 265,2 g kg<sup>-1</sup>. Para Mn, houve interação no capim-Massai com HC, com 9,5 g kg<sup>-1</sup>, seguido do capim-Marandu com uso do HT com 9,2 g kg<sup>-1</sup> e o capim-Mombaça SH com 8,9 g kg<sup>-1</sup> de Mn. Para BSR houve efeito com aumento da dose do HT, atingindo máxima de 24,37 kg ha<sup>-1</sup>. A DPP e a BSF aumentaram com os níveis de HT no capim-Mombaça. A FDA diminuiu de 375 g kg<sup>-1</sup> MS na dose 0 para 360 g kg<sup>-1</sup> MS na dose 40 kg ha<sup>-1</sup>. O Ca, Mg, P, Fe e Zn, reduziram com o aumento das doses do HT, o P que reduziu de 319,8 g kg<sup>-1</sup> na dose 0, para 48,6 g kg<sup>-1</sup> na dose 40 kg ha<sup>-1</sup>. À campo, o capim-Mombaça apresentou efeito para TAlF com HT de 42,3 mm dia<sup>-1</sup> e 35,0 mm dia<sup>-1</sup> com HC. Para PMSF, o primeiro ciclo apresentou 4447,0 t ha<sup>-1</sup> com HT e no segundo ciclo 2060,4 t ha<sup>-1</sup>. Não houve efeito das hidratações na composição química. Observou-se efeito apenas do Zn com HT na composição mineral do capim-Mombaça à campo. O hidrogel de fibra natural de *Anacardium occidentale* influenciaram positivamente no acúmulo de biomassa seca de forragem, raiz, PB e de macro e micronutrientes.

**Palavras-chave:** estacionalidade, hidrogéis, *Megathyrsus maximus*, pastagem irrigada, sustentabilidade, *Urochloa brizantha*

## 1. INTRODUÇÃO

A distribuição irregular das chuvas em regiões tropicais e subtropicais, diminuiu a disponibilidade de água no solo, como consequência interfere nas relações hídricas, na fisiologia e na morfologia do dossel forrageiro, e causa um estresse que, conforme a severidade, pode limitar a produção de forragem e até mesmo a sobrevivência da espécie (Oliveira et al., 2020). Esses fatores, exercem impactos diretos para o baixo desempenho produtivo das atividades agropecuárias destas regiões, com isso, ocasionando insegurança alimentar para os rebanhos (Costa et al., 2021; Jardim et al., 2021a; Sabino et al., 2021; An et al., 2022; Guo et al., 2022; Wang et al., 2022).

Os hidrogéis se destacam pela sua capacidade de reter grandes quantidades de água (Liu et al., 2020). Na agricultura possuem importância relevante por atuarem como condicionadores do solo melhorando a retenção de água por longos períodos, diminuindo a frequência de irrigação, além de atuar como fornecedores de macro e micronutrientes essenciais de acordo com as necessidades das plantas (Guilherme et al., 2015). A maioria dos hidrogéis disponíveis no mercado são de origem sintética (derivados do petróleo), denominados de PAM (poliacrilamida) ou de PAA (poliacrilamida – acrilato) (Navroski, 2014). Um dos fatores que limita o uso desse polímero é o seu custo de produção elevado e especialmente por não serem degradados biologicamente, podendo gerar resíduos, prejudicando o meio ambiente (Yonezawa et al., 2017).

Em busca de tornar esse material mais acessível, estão sendo estudadas alternativas na produção desses polímeros utilizando fibras vegetais. A goma do cajueiro é um exsudato ou resina extraído da árvore *Anacardium occidentale*, da qual o Brasil possui extensas áreas de produção e facilidade na obtenção, além de uma vasta importância social e econômica permitindo assim grandes vantagens em relação aos outros países produtivos (Araújo, 2015). Os hidrogéis naturais vem se destacando nos últimos anos como um novo produto ecológico, inovador e promissor para diversos campos de aplicação (Yonezawa et al., 2017).

As plantas forrageiras constituem a fonte basal de alimentos para animais ruminantes nos trópicos, sendo as principais forrageiras tropicais utilizadas, são as dos gêneros *Megathyrus* (Syn. *Panicum*) e *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) têm sido os mais cultivados nos sistemas de produção de bovinos (Bueno et al. 2019). Porém, na pecuária, os baixos rendimentos alcançados nas pastagens, em função da indisponibilidade hídrica, aliados à realidade nas regiões de clima tropical, fazem como que os produtores busquem pelo emprego

de novas tecnologias na região. Desta forma, o conhecimento do ecossistema de forragem, contribui para que o gerenciamento dos dosséis forrageiros seja feito de forma adequada, respeitando os limites fisiológicos de cada espécie forrageira.

As avaliações das características morfogênicas (Souza et al., 2020), características estruturais (Braz et al., 2017) e característica de produção produtividade (Leal et al., 2017) associado a avaliação da composição química e mineral da planta, são ferramentas importantes para alcançar índices produtivos desejáveis, com o menor custo possível (Silveira-Junior et al., 2015; Erasmo et al., 2017).

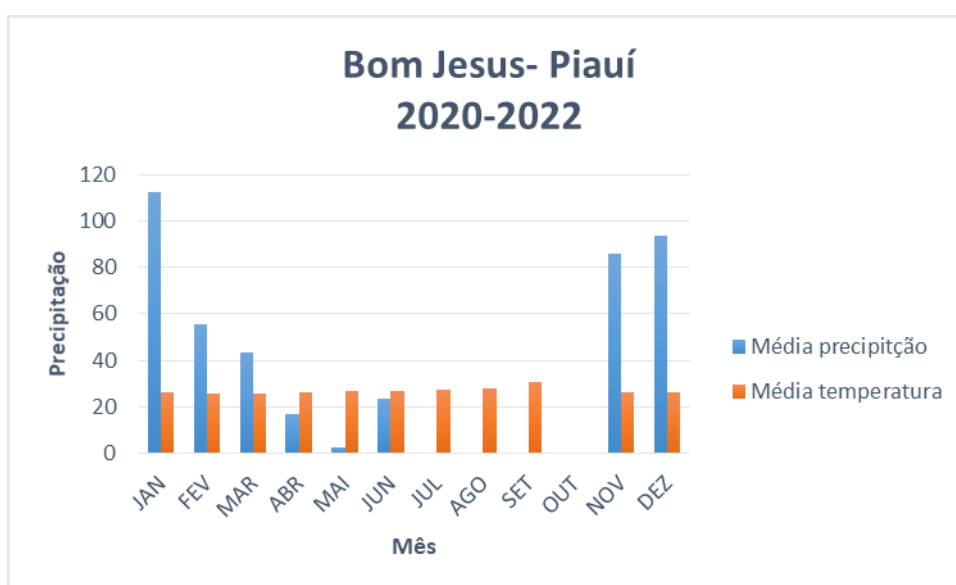
O uso de hidrogel em plantas forrageiras, pode ser uma boa alternativa para aumentar a segurança produtiva das pastagens de clima tropical, tendo em vista a ausência de informação sobre o uso do hidrogel no cultivo de gramíneas forrageiras, em especial de hidrogel produzidos com fibras naturais. Desta forma, objetivou-se avaliar as características morfogênicas, estruturais, produção, composição química e teor de macro e micronutrientes dos capins-Mombaça, Massai, Marandu e Paiaguás com uso do hidrogel à base da goma de cajueiro em comparação ao hidrogel à base de poliacrilamida e ao não uso de hidrogel, além de avaliar diferentes doses de aplicação do hidrogel natural, com as avaliações sendo realizadas na rebrota dos capins em vasos e à campo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local do experimento

Os ensaios foram conduzidos na Universidade Federal do Piauí (UFPI), câmpus Cinobelina Elvas (CPCE), no município de Bom Jesus, Piauí, Brasil, com coordenadas geográficas 09°04'28'' de latitude Sul, 44°21'31'' de longitude Oeste e com altitude média de 277 m.

O clima é do tipo Aw (com tropical quente e úmido, com estações secas de primavera a verão e chuvosa de outono a inverno) segundo o modelo da classificação de Köppen. A vegetação da região é o Cerrado, equivalente à savana brasileira (Costa-Coutinho et al., 2019).



**Figura 1.** Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura dos anos de 2020 a 2022 no município de Bom Jesus-Piauí.

### 2.2 Delineamento

Foram realizados dois ensaios simultaneos (primeiro e segundo ensaio) em vasos em casa de vegetação no período de setembro de 2020 a março de 2021, e o terceiro ensaio no campo agroestológico de julho de 2021 a julho de 2022. O primeiro ensaio foi desenvolvido sob delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial ( $4 \times 3$ ), sendo o primeiro fator constituído por quatro genótipos de gramíneas forrageiras: dois genótipos do gênero *Megathyrsus maximum* (capim-Mombaça e capim-Massai) e dois do gênero *Urochloa brizantha* (capim-Marandú e capim-Paiaguás) e o segundo fator constituído por três formas de hidratação das plantas: Sem Hidrogel (SH), onde não houve adição de hidrogel no vaso e dois tipos de hidratação do solo-com Hidrogel Teste (HT) à base da goma do Cajueiro (*Anacardium occidentale*) e com Hidrogel Comercial (HC), à base de poliácridamida, ambos

com doses de 20 kg ha<sup>-1</sup>, com quatro repetições. O segundo ensaio foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo avaliados quatro doses do HT (0, 10, 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições, apenas no capim-Mombaça. E o terceiro ensaio foi realizado em campo, utilizando um delineamento em blocos casualizados com cinco repetições e três tratamentos: SH, HT e HC em pastagem de capim-Mombaça.

### 2.3 Hidrogéis utilizados

O HT produzido à base da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*), foi produzido através do processo de copolimerização e adição de nutrientes. Em cada grama do HT continha 0,5% de K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sendo 67% de K e 33% de P. O HT possui capacidade de intumescimento de 1100 g de H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> de hidrogel, com estabilidade térmica na temperatura de 439 °C e não tóxico. O HT foi produzido na UFPI, no Laboratório de Ciência dos Materiais.

**Tabela 1.** Características físico-químicas do hidrogel à base da goma do cajueiro

Hidrogel teste <sup>1</sup>	
Características físicas e químicas	
Iônica	Aniônico
Cor	Amarelada
Forma	Sólido granulado
Ingrediente	Goma do exudato do cajueiro reticulado com poliacrilamida

<sup>1</sup>Fibra natural da goma de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.).

O HC utilizado foi a base de copolímero de acrilamida e acrilato de potássio de marca Hydroplan-EB (SAP)<sup>®</sup>, produto comercializado. Ambos os hidrogéis foram aplicados no solo para o plantio, já hidratados com equivalente a 400 litros para cada kg de hidrogel, seguindo a recomendação do hidrogel comercial.

### 2.4 Unidades experimentais

As unidades experimentais consistiram em 44 vasos com 27x27x23 cm de tamanho, preenchidos com 9 dm<sup>3</sup>. Os vasos foram dispostos aleatoriamente em bancadas considerando a premissa da casualização, contidos de solo tipo Latossolos vermelho-amarelo distróficos

associados a areias quartzosas (Raij et al., 1991), com caracterização física franco argiloso arenoso (argila: 220; silte: 50 e areia: 720 g kg<sup>-1</sup>). No início do experimento, foi realizada a coleta do solo utilizado no preenchimento dos vasos, a uma profundidade de 0 - 0,20 m em área de mata nativa de cerrado do Brasil nas proximidades no CPCE/UFPI.

Após a coleta, o solo foi seco e peneirado em malha metálica de 2 mm de diâmetro para a retirada de impurezas e uma amostra deste solo foi retirada para análise físico química seguindo a metodologia de (Texeira et al., 2017), para determinar as características químicas do solo, apresentando os seguintes resultados: 5,2 pH em água; 8,37 mg/dm<sup>3</sup> de fósforo (P); 0,05 mg/dm<sup>3</sup> de potássio (K); 1,20 cmolc/dm<sup>3</sup> cálcio (Ca); 0,08 cmolc/dm<sup>3</sup> magnésio (Mg); <0,50 cmolc/dm<sup>3</sup> alumínio (Al); 2,30 cmolc/dm<sup>3</sup> hidrogênio + alumínio (H + Al); 1,33 cmolc/dm<sup>3</sup> soma de bases (SB); 3,63 cmolc/dm<sup>3</sup> CTC a pH 7,0 (T); 36,6% de saturação de base (V); e 27,3% de saturação por alumínio (M).

A correção da acidez do solo foi feita com a aplicação de uma dose equivalente a 2 t ha<sup>-1</sup> de Calcário dolomítico Filler (PRNT 92%), sendo calculado para elevar a saturação por bases para 45%. A adubação de correção foi realizada de acordo com as recomendações para implantação feitas por Martha Jr et al. (2007), que a composição do Hidrogel Teste – HT, existe 67% de K e 33% de P, com cada grama do produto contendo 0,5% de K<sub>3</sub> PO<sub>4</sub>, foi realizado uma adubação de padronização aplicado o equivalente desses minerais nos tratamentos com hidrogel comercial e sem hidrogel.



**Figura 2.** Aplicação do hidrogel pré-hidratado, nos respectivos tratamentos.

Para correção dos níveis de potássio foi utilizado cloreto de potássio (60% de  $K_2O$ ) como fonte de potássio, aplicando-se o equivalente a 40 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$ . E o superfosfato simples (18% de  $P_2O_5$ ) como fonte de fósforo, aplicando o equivalente a 90 Kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ . Além disso, foram aplicados o equivalente a 100 kg de N  $ha^{-1}$  de nitrogênio na forma de ureia (45% de N). Os adubos foram diluídos em água e aplicados separadamente no solo, com auxílio de uma seringa, após o corte de uniformização dos capins.

Para os ensaios um e dois foi realizado em vasos, a semeadura foi realizada com 30 sementes por vaso, com posterior desbaste aos 15 dias após a emergência, deixando-se apenas três plantas por vaso. Os hidrogéis e adubos, foram aplicados em suas respectivas unidades experimentais após o corte de uniformização a uma altura de 15 cm da superfície do solo, que foi realizado 50 dias após a semeadura para um melhor estabelecimento da planta. As plantas foram irrigadas até a capacidade de campo nos primeiros 50 dias, após o corte de uniformização e aplicação dos tratamentos, as plantas receberam uma lâmina de irrigação, proporcionando estresse hídrico nas plantas, com objetivo de verificar o potencial dos hidrogéis. Para determinação do manejo de lâmina de água aplicada, foi aplicado o método da capacidade de vaso, descrito por Casaroli e Lier (2008).

Realizou-se o terceiro ensaio no campo agrostológico da UFPI/CPCE, durante período de 60 dias de avaliações. Foi utilizado pasto de capim-Mombaça, com idade de cinco anos de estabelecimento. A princípio realizou-se um corte de uniformização, respeitando a altura de resíduo da espécie à fim de simular o pastejo e posterior aplicação dos hidrogéis (HC e HT) na base das torceiras, ambos pré-hidratados seguindo a dose recomendada de 20 kg  $ha^{-1}$ .

## **2.5 Avaliação das características morfogênicas e de produção das gramíneas**

Para avaliação das características morfogênicas foram escolhidos três perfilhos e marcados com arame liso revestido de plástico de diferentes cores. As avaliações do ensaio em vasos e do ensaio em campo foram realizadas em dois ciclos a cada 30 dias com auxílio de régua milimétricas, a cada três dias, durante o período experimental de 60 dias ao total. Em cada perfilho foi monitorado o número de folhas, comprimento da lâmina foliar, comprimento do colmo e classificação da folha quanto ao estágio (em expansão, expandida, senescente e mortalidade). De posse dessas informações, calcularam-se os parâmetros: taxa de aparecimento foliar (TApF, folhas/ perfilho.dia): número de folhas surgidas por perfilho dividido pelo número de dias do período de avaliação; filocrono (FIL, dias/folha.perfilho): inverso da taxa de aparecimento foliar; taxa de alongamento foliar (TAIF, cm/folha.dia):

somatório do alongamento de lâmina foliar por perfilho dividido pelo número de dias de avaliação; taxa de alongamento de colmo (TAIC, cm/perfilho.dia): somatório do alongamento de colmo por perfilho dividido pelo número de dias de avaliação; número de folhas vivas expandidas por perfilho (NFVe): número médio de folhas por perfilho completamente expandidas, incluindo as folhas pastejadas, duração de vida das folhas (DVF, dias): estimada pela equação  $DVF \text{ (dia)} = NFVe \times FIL$  (Lemaire & Chapman, 1996); taxa de senescência foliar (TSF, cm/perfilho.dia): decréscimo do comprimento da parte verde da lâmina foliar, obtida pela diferença entre a mensuração inicial e a final dividida pelo número de dias de avaliação; comprimento final de folha (CFF, cm): comprimento médio das folhas vivas, completamente expandidas e não pastejadas no perfilho; comprimento final do colmo (CFC, cm): comprimento médio dos colmos.

A taxa do aparecimento foi avaliada por meio da contagem do número de folhas surgidas por perfilho, dividido pelo número de dias de avaliação – folhas/perfilho/dia; a taxa de alongamento foi obtida através do somatório de todo alongamento foliar por perfilho, dividido pelo de dias do período de avaliação –mm/perfilho/dia; a longevidade das folhas é obtido a partir da contabilidade do número médio de folhas em alongamento por perfilho; o filocrono foi obtido pelo inverso da taxa de aparecimento de folhas-dias e o número de folhas por perfilho foi determinada com a contagem de folhas vivas em três perfilho por vaso.

As avaliações das características de produção dos ensaios em vasos e em campo foram realizadas ao final de cada ciclo, sendo as seguintes avaliações: altura da planta, medida do solo até a última folha expandida do perfilho mais alto; densidade populacional de perfilhos por vasos (DPP), contando-se o número de perfilhos vivos presentes em cada vaso. Após as avaliações, foram realizados cortes das gramíneas por meio de tesoura ao nível de recomendação de cada. Após os cortes, todas as massas verdes colhidas nas áreas úteis dos vasos, foram levadas ao laboratório acondicionadas em sacos plásticos, onde foram pesadas a massa verde total a sem balança eletrônica, com capacidade de 1g a 5 kg.

Em seguida as amostras das massas verdes foram separadas em lâminas foliares, colmos + bainhas e material morto (MM), logo após pesado e colocado em saco de papel identificado e levado para estufa com ventilação forçada de ar por 72h a 55°C, até peso constante, a fim de se obter a biomassa seca de forragem (BSF) total (g / vaso). Com os dados do peso seco de lâminas foliares e de colmos + bainha, foi determina a relação folha/colmo (F/C: lâmina foliar/colmo + bainha), por meio da seguinte equação: relação (F/C) =  $MSF/MSH$ , ou seja, a relação foi obtida pela divisão do peso seco das lâminas foliares pelo

peso seco de colmo e bainha. Os valores obtidos de massa seca total foram extrapolados para valores equivalentes em g/vaso.

As raízes foram coletadas, lavadas com água corrente para retirada do solo contido em cada vaso e posteriormente secas em papel toalha. Essas amostras foram acondicionadas em sacos de papel e pesadas, para obtenção da biomassa fresca. Em seguida, foram levadas à estufa de ventilação forçada para secagem, a uma temperatura entre 55 e 65°C por 72h, até peso constante. Posteriormente, o material foi pesado em balança de precisão para obtenção da biomassa seca das raízes-BSR (g/planta).

## 2.6 Análises da composição química e mineral das gramíneas

Após a pré-secagem, as amostras da biomassa seca das forragens de cada tratamento, foram trituradas em moinho de facas estacionário “Thomas Wiley”, com peneira de malha de 1,0 mm, para realização das análises químicas laboratoriais. As análises de composição química foram feitas conforme prossegue: determinação da matéria seca (MS) à 105°C (Método INCT-CA G-003/1), proteína bruta (PB) (Método INCT-CA N-001/1), matéria mineralou cinzas (MM) (Método INCT-CA M-001/1), fibra em detergente neutro (FDN) (Método INCT-CA F-002/1), fibra em detergente ácido (FDA) e matéria orgânica (MO) utilizou-se as metodologias descritas por Detmann et al. (2012), todas as análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da UFPI de Bom Jesus/CPCE.



**Figura 3.** Análises química e mineral dos genótipos de gramíneas forrageiras.

As análises de macro e micronutrientes foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo e Planta, da UFPI/Campus de Cinobelina Elvans. Foram determinados os seguintes teores de minerais: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), expresso em g kg<sup>-1</sup>; ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu), expressos em mg kg<sup>-1</sup>. Foi realizada a digestão nítrico-perclórica, e após a digestão foi determinado o teor de fósforo (P) por espectrofotometria UV/VIS a 660nm, por meio de leitura de intensidade da cor azul do complexo fosfomolibdico produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico em espectrofotômetro Digital de Luz –UV-Visível modelo IL-592 EVEN. Já os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), modelo AA240FS VARIAN®. A metodologia utilizada para análise dos nutrientes nas plantas, seguiram os padrões sugeridos por Silva (2009).

## **2.7 Análises estatísticas**

Os dados foram analisados para análise de variância e interação (Genótipo de Gramínea × Hidrogel), quando significativo para interação foi realizado o desdobramento dos dados dos fatores utilizando o teste de Scott-Knott para a comparação das médias e para as doses de Hidrogel Teste foi realizada análise de regressão. Todas as análises foram realizadas considerando significativas para *P*-valor de  $\leq 0,05$ . As análises estatísticas foram realizadas com o emprego do programa SISVAR versão 5.0 (Ferreira, 2011).

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Primeiro ensaio**

#### **3.1.1 Morfogênese**

Não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre as formas de hidratação e os genótipos avaliados para nenhuma das características morfogênicas (Tabela 2). Observou-se efeito isolado entre as formas de hidratação para taxa de alongamento de folhas (TAIF), número de folhas (NFL), taxa de aparecimento de folhas (TApF) e Filocrono. Não houve efeito nas formas de hidratação para a taxa de alongamento de hastes (TAIH) e taxa de senescência total (TST). Houve efeito isolado entre os genótipos para a TST, NFL e TApF (Tabela 2).

**Tabela 2.** Características morfogênicas de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais sob três formas de hidratação

Variáveis	Hidrogel (H)		
	Sem	Comercial	Teste
TAIF <sup>1</sup> (cm/folha.dia)	5,87b	9,46a	11,15a
TAIH <sup>2</sup> (cm/perfilho.dia)	0,21	0,39	0,28
TSF <sup>2</sup> (cm/perfilho.dia)	0,95	1,01	1,36
NFVe <sup>1</sup> (folhas/perfilho)	2,81b	3,39a	3,43a
TApF <sup>1</sup> (folhas/perfilho.dia)	0,03b	0,05a	0,05a
FIL <sup>1</sup> (dias/folha.perfilho)	27,4a	21,5b	19,4b

Variáveis	Genótipos (G)			
	Marandu	Paiaguás	Mombaça	Massai
TAIF <sup>1</sup> (cm/folha.dia)	7,71	8,14	10,05	9,40
TAIH <sup>2</sup> (cm/perfilho.dia)	0,20	0,30	0,34	0,35
TSF <sup>2</sup> (cm/perfilho.dia)	0,60b	1,36a	1,09a	1,38a
NFVe <sup>1</sup> (folhas/perfilho)	2,91b	3,83a	2,88b	2,91b
TApF <sup>1</sup> (folhas/perfilho.dia)	0,04b	0,06a	0,04b	0,05b
FIL <sup>1</sup> (dias/folha.perfilho)	25,1a	18,3b	27,1a	20,5b

Variáveis	<i>P - Valor</i>			EPM <sup>1</sup>
	H	G	H × G	
TAIF <sup>1</sup> (cm/folha.dia)	<0,01	0,08	0,06	0,61
TAIH <sup>2</sup> (cm/perfilho.dia)	0,20	0,57	0,33	0,06
TSF <sup>2</sup> (cm/perfilho.dia)	0,13	0,01	0,06	0,15
NFVe <sup>1</sup> (folhas/perfilho)	0,01	<0,01	0,24	0,16
TApF <sup>1</sup> (folhas/perfilho.dia)	0,02	0,01	0,33	0,01
FIL <sup>1</sup> (dias/folha.perfilho)	0,03	0,06	0,27	2,14

TAIF (Taxa de Alongamento Foliar), TAIH (Taxa de Alongamento de Hastes), TSF (Taxa de Senescência Foliar), NFV (Número de folhas), TApF (Taxa de Aparecimento Foliar); FIL (Filocrono). Médias seguidas por diferentes letras minúscula na linha e maiúscula na coluna diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott <0,05. EPM: erro padrão médio.

Para TAIF, os resultados foram semelhantes no uso dos Hidrogel Comercial (HC) e Teste (HT), com 9,46 e 11,15 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Em relação a TAIH e TST, os resultados foram semelhantes nas três formas de hidratação. Os resultados encontrados em NFL e TApF, foram superiores com o uso dos hidrogéis (Comercial e Teste). O Filocrono foi de 27,4 dias sem o uso de hidrogéis, resultado maior quando comparados com as amostras que receberam hidratação. A hidratação com HT obteve resultados semelhantes ao HC, o que indica a viabilidade de substituição do mesmo pelo HT produzido com a goma do cajueiro (Tabela 2).

Os quatro genótipos avaliados apresentaram resultados semelhantes para TAIF e TAIH. O capim-Marandu apresentou menor TST (0,60 mm dia<sup>-1</sup>). Na variável FIL, foi encontrado no capim-Paiaguás o valor de 18,3 dias, o menor o dentre as demais, enquanto o

capim-Mombaça apresentou valores de 27,1 dias, enquanto o Massai obteve valores de 20,5 dias de intervalo para emitir uma nova folha (Tabela 2).

### 3.1.2 Características estruturais e de produção

Não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre as formas de hidratações e os genótipos avaliados para as nenhuma das características estruturais e de produção (Tabela 3). Observou-se efeito isolado ( $P < 0,05$ ) entre os hidrogéis para Densidade Populacional de Perfilhos (DPP) e Biomassa Seca de Raiz (BSR). Não houve efeito entre as hidratações para relação F/C e Material Morto (MM). Entre os genótipos, houve efeito isolado ( $P < 0,05$ ) para DPP, BSF e BSR.

**Tabela 3.** Características estruturais e de produção de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais sob três formas de hidratação

Variáveis	Hidrogel (H)			
	Sem	Comercial	Teste	
DPP (perf/vaso)	1,89b	2,49a	2,37a	
F/C	1,36	1,54	1,89	
MM (g/vaso)	1,41	1,09	1,55	
BSF (g/vaso)	4,59b	5,59a	5,36a	
BSR (g/vaso)	5,51c	8,60b	15,56a	
Variáveis	Genótipos (G)			
	Marandu	Paiaguás	Mombaça	Massai
DPP (perf/vaso)	2,94a	1,69b	1,84b	2,55a
F/C	1,59	1,48	1,86	1,46
MM (g/vaso)	1,25	1,21	1,73	1,21
BSF (g/vaso)	4,40b	4,69b	5,84a	5,84a
BSR (g/vaso)	7,70b	6,31b	15,82a	9,72b
Variáveis	<i>P - Valor</i>			EPM <sup>1</sup>
	H	G	H × G	
DPP (perf/vaso)	<0,01	<0,01	0,06	0,12
F/C	0,26	0,68	0,15	0,22
MM (g/vaso)	0,09	0,10	0,90	0,14
BSF (g/vaso)	0,02	<0,01	0,09	0,25
BSR (g/vaso)	<0,01	<0,01	0,11	1,04

DPP (Densidade Populacional de Perfilhos), F/C (Folha/Colmo), MM (matéria morta), BSF (Biomassa Seca Foliar), BSR (Biomassa seca Raiz). Médias seguidas por diferentes letras minúscula na linha e maiúscula na coluna diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott com  $P < 0,05$ . EPM: erro padrão médio.

Para DPP, os resultados foram semelhantes no uso dos hidrogéis (Comercial e Teste) com 2,49 e 2,37 perfilhos/vaso, respectivamente. A relação F/C e MM, os resultados foram

semelhantes nas três formas de hidratação. Os valores observados para BSF e BSR, foram superiores com o uso dos hidrogéis em especial para a BSR obtendo o valor de 15,5 g/vaso com uso do HT (Tabela 3).



**Figura 5.** Comparação das formas de hidratação na produção das gramíneas.

Em relação aos genótipos, observou-se maior DPP para o capim-Marandu seguido do capim-Massai com 2,94 e 2,55 perfilhos/vaso, respectivamente. A relação F/C e MM apresentaram valores semelhantes entres os genótipos. Na variável BSF, observou-se valores superiores e idênticos com 5,84 g/vaso para o capim-Mombaça e capim-Massai. O capim-Mombaça, obteve maior BSR com 15,82 g/vaso, enquanto o capim-Paiaguás apresentou o acúmulo de 6,31 g/vaso de BSR, considerado o menor dentre os genótipos avaliados (Tabela 3).

### 3.1.3 Composição química e mineral

Observou-se efeito ( $P < 0,05$ ) entre as formas de hidratação e os genótipos de capins para Proteína Bruta (PB) (Tabela 4). Houve efeito isolado entre as hidratações para PB e Fibra em Detergente Neutro (FDN). Não houve efeito entre as hidratações para Matéria Seca (MS), Fibra em Detergente Ácido (FDA) e Matéria Mineral (MM). Observou-se efeito isolado entre os genótipos para MS, PB e FDN (Tabela 4).

A PB foi maior quando hidratada com HC, foi observado maior teor de PB nos genótipos Paiaguás e Marandu, com 92,4 e 92,1 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente. Os teores de MS, FDN e MM foram superiores com uso do HT. A FDA, foi superior quando tratamentos não foram hidratados pelos hidrogéis (SH) com média de 348,6 g kg<sup>-1</sup> MS. Em relação aos genótipos, o teor de MS para os capins do gênero *Urochloa* foram superiores aos do gênero *Megathyrsus*, com médias de 315,9 g kg<sup>-1</sup> MS para o capim-Paiaguás e 315,1 g kg<sup>-1</sup> MS, para o capim-Marandu (Tabela 4). Foi observado maior teor de FDN no capim-Mombaça com

médias de 714,5 e o capim-Massai com média de 718,8 g kg<sup>-1</sup> MS. O capim-Massai apresentou a menor média de FDA, com 315,5 g kg<sup>-1</sup> MS (Tabela 4).

**Tabela 4.** Composição química de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais, sob três formas de hidratação

Hidrogel	Genótipos de Capins (GC)				Média
	Paiaguás	Marandu	Massai	Mombaça	
	Matéria Seca (g kg <sup>-1</sup> )				
Sem	289,2	308,0	273,3	292,5	29,07
Comercial	297,6	331,3	303,5	251,5	29,60
Teste	361,1	305,9	284,4	271,0	30,56
Média	315,9a	315,1a	287,1b	271,6b	
	Proteína Bruta (g kg <sup>-1</sup> MS)				
Sem	80,3cB	89,9aA	87,8bB	64,7dB	80,7
Comercial	92,4aA	92,1aA	89,8aA	80,6bA	88,7
Teste	80,6bB	90,0aA	71,9cC	68,2cB	77,7
Média	84,4	90,6	83,1	71,2	
	Fibra em Detergente Neutro (g kg <sup>-1</sup> MS)				
Sem	668,8	702,9	714,1	725,7	702,9A
Comercial	650,3	600,0	709,4	679,2	659,7B
Teste	696,8	718,1	733,1	738,7	721,7A
Média	671,9b	673,7b	718,8a	714,5a	
	Fibra em Detergente Ácido (g kg <sup>-1</sup> MS)				
Sem	336,5	350,9	323,3	383,6	348,6
Comercial	347,9	280,5	349,1	313,7	322,8
Teste	347,1	388,3	274,3	394,5	310,0
Média	343,8	339,9	315,5	363,9	
	Matéria Mineral (g kg <sup>-1</sup> MS)				
Sem	23,0	20,2	18,6	20,4	21,4
Comercial	23,8	23,2	21,7	21,9	22,6
Teste	26,6	26,7	33,9	31,8	28,8
Média	24,4	23,3	24,7	24,7	
Variável	<i>P-Valor</i>				EPM
	H	G	G x H		
MS (g kg)	0,50	0,02	0,11		0,88
PB (g kg)	<0,01	<0,01	0,01		0,12
FDN (g kg)	<0,01	0,03	0,33		1,06
FDA (g kg)	0,40	0,35	0,18		1,56
MM (g kg)	0,16	0,98	0,71		0,27

MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; MM:Matéria Mineral. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de P<0,05 para o Genótipo de Capins (GC). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de P<0,05 para uso do hidrogel (H). EPM: Erro Padrão Médio.

Houve efeito ( $P < 0,05$ ) entre as formas de hidratação e os genótipos de capins em todos os macronutrientes avaliados (Ca, Mg, P e K). O capim-Mombaça e capim-Massai apresentaram maior teor de Ca sem uso de hidrogéis, com acúmulo de 65,6 e 55,3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 5). Em geral, foi observado redução na quantidade de Ca com o uso dos hidrogéis, essa redução pode ter ocorrido devido a diluição de seus teores causada pelo uso dos hidrogéis.

**Tabela 5.** Composição mineral de macronutrientes de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais, sob três formas de hidratação

Genótipos	Hidrogel			Média	EPM	P - Valor		
	Sem	Comercial	Teste			H	GC	H×G
Cálcio (mg kg <sup>-1</sup> )								
Paiaguás	47,1cAB	26,9bB	31,6cB	35,1	0,12	<0,01	<0,01	<0,01
Marandu	29,3dB	40,3aB	30,4cB	33,3				
Massai	55,3bA	32,9bB	37,6bB	41,9				
Mombaça	65,6aA	45,1aA	48,3aB	53,0				
Média	49,3	36,3	37,0					
Magnésio (mg kg <sup>-1</sup> )								
Paiaguás	17,6dC	19,7cB	21,6aA	19,6	0,005	<0,01	<0,01	<0,01
Marandu	21,0bB	21,7aA	21,7aA	21,4				
Massai	25,8aA	17,5dC	18,2bB	20,5				
Mombaça	20,2cB	20,5bB	21,6aA	20,8				
Média	21,2	19,8	20,8					
Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )								
Paiaguás	518,2aA	236,1dC	280,4cB	345,2	0,225	<0,01	<0,01	<0,01
Marandu	252,5dB	438,8bA	205,1dC	298,4				
Massai	457,3bA	359,1cC	408,1aB	408,3				
Mombaça	348,1cB	565,2aA	330,3bA	414,1				
Média	394,3	400,3	305,2					
Potássio (mg kg <sup>-1</sup> )								
Paiaguás	475,5bB	752,2aA	717,9aA	648,3	0,835	<0,01	<0,01	<0,01
Marandu	545,2aB	727,0aA	697,1aA	656,2				
Massai	452,1bB	650,1bA	652,5bA	585,0				
Mombaça	545,0aC	752,3aA	652,5bB	650,4				
Média	504,3	720,0	680,1					

EPM: Erro Padrão Méido. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de  $P < 0,05$  para o Genótipo de Capins (GC). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de  $P < 0,05$  para uso do hidrogel (H).

Em relação ao Mg, os genótipos de *Urochloa Brizantha* (Paiaguás e Marandu), obtiveram resultados semelhantes, com acúmulo desse macronutriente em maior quantidade no uso do HT, com 21,6 e 21,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, no entanto, o capim-Marandu, apresentou valores idênticos nos tratamentos com uso de HC e HT com 21,7 em ambos. Já para os genótipos de *Megathyrus maximum*, o capim-Massai obteve maior acúmulo de Mg sem uso de hidrogéis, com 25,8 g kg<sup>-1</sup> e o capim-Mombaça 21,6 g kg<sup>-1</sup> no HT (Tabela 5).

Para os valores de P, foram observados maior acúmulo no capim-Paiaguás e no capim-Massai, com 518, 2 g kg<sup>-1</sup> e 457, 3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, quando não hidratado com hidrogéis, enquanto o capim-Marandu obteve 438,8 g kg<sup>-1</sup> de P e o capim-Mombaça 565,2 g kg<sup>-1</sup> quando hidratados com o HC. Já o teor de K o capim-Paiaguás apresentou maior acúmulo nos tratamentos hidratados com hidrogéis, com 752,2 com HC e 717,9 com HT, mesmo comportamento foi observado no capim-Marandu, com maior acúmulo de 727,0 g kg<sup>-1</sup> com HC e 697,1 g kg<sup>-1</sup> com HT. Observou-se valores estatisticamente semelhantes no teor de K, com uso de HC com 650,1 e HT 652,5 g kg<sup>-1</sup> no capim-Massai e no capim-Mombaça, obteve maior teor de K no HC com 752,3 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Houve interação ( $P < 0,05$ ) entre os quatro genótipos de capins e as três formas de hidratação para os micronutrientes avaliados (Cu, Mn, Fe e Zn) (Tabela 6). O capim-Paiaguás apresentou valor de 8,5 mg kg<sup>-1</sup> de Cu sem o uso do hidrogel em seu cultivo. Já o capim-Marandu, observou-se maior teor de Cu nos tratamentos com HC com 4,1 mg kg<sup>-1</sup>, esse mesmo valor foi obtido pelo capim-Massai com o uso do HC, enquanto o capim-Mombaça, apresentou acúmulo de 5,4 mg kg<sup>-1</sup> de Cu com o uso do HC. No entanto, observou-se o menor teor de Cu no cultivo do capim-Paiaguás hidratado com HC e Massai sem uso dos hidrogéis, com acúmulo de apenas 0,4 e 0,9 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 6).

**Tabela 6.** Composição mineral de micronutrientes de genótipos de gramíneas forrageiras tropicais, sob três formas de hidratação

Genótipos	Hidrogel			Média	EPM	<i>P-Valor</i>		
	Sem	Comercial	Teste			H	HG	HxG
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )								
Paiaguás	8,5aA	0,4bC	3,5aB	4,1	0,004	<0,01	<0,01	<0,01
Marandu	2,2cB	4,1bA	2,2cB	2,8				
Massai	0,9dC	4,1bA	3,1bB	2,7				
Mombaça	3,1bB	5,4aA	2,4cC	3,7				
Média	03,7	3,5	2,8					
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )								
Paiaguás	5,5cC	8,4bA	7,4bB	7,1	0,008	<0,01	<0,01	<0,01
Marandu	6,4bB	6,6cB	9,2aA	7,4				
Massai	6,1bB	9,5aA	6,5cB	7,4				
Mombaça	8,9aA	5,4dC	6,4cB	6,9				
Média	6,7	7,5	7,4					
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )								
Paiaguás	133,6aA	38,4dC	104,9aA	92,3	0,052	<0,01	<0,01	<0,01
Marandu	66,1dC	87,4aA	75,7cB	66,4				
Massai	63,5cA	62,7cB	40,1dC	55,6				
Mombaça	76,4bB	68,4bC	86,6bB	77,1				

Média	77,4	64,2	77,0					
			Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )					
Paiaguás	20,1cC	22,6bA	22,2aB	21,6				
Marandu	17,7dC	19,6cC	21,7bC	19,7	0,007	<0,01	<0,01	<0,01
Massai	20,8bB	22,4bB	19,3cC	20,8				
Mombaça	25,0aA	22,6aA	22,4aA	23,7				
Média	20,9	22,0	21,4					

EPM: Erro Padrão Médio. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de  $P < 0,05$  para o Genótipo de Capins (GC). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de  $P < 0,05$  para uso do hidrogel (H).

Foi observado maior acúmulo de Mn no capim-Paiaguás com o uso de HC, com 8,4 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto no capim-Marandu, foi observado maior teor de Mn com uso de HT com 9,2 mg kg<sup>-1</sup>. Em relação ao Fe, o genótipo Paiaguás demonstrou maior acúmulo desse micronutriente que os demais genótipos, com 133,6 mg kg<sup>-1</sup> de Fe sem uso de hidrogéis, seguido de 104,9 mg kg<sup>-1</sup> quando hidratado com o HT, enquanto o capim-Marandu, apresentou 87,4 mg kg<sup>-1</sup> com HC (Tabela 6).

Os genótipos de *Megathyrsus maximum*, apresentaram maior acúmulo de Fe sem hidratação, no caso do capim-Massai com 63,5 mg kg<sup>-1</sup> sem hidrogel, e no capim-Mombaça de 86,6 mg kg<sup>-1</sup> com HT. Para o acúmulo de Zn, o capim-Paiaguás foi superior com o uso de HC, com 22,6 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto o capim-Marandu apresentou maior acúmulo na hidratação com HT, com 21,7 mg kg<sup>-1</sup>. O capim-Massai, obteve acúmulo de 22,4 mg kg<sup>-1</sup> quando hidratado com HC e o capim-Mombaça, apresentou teor de 25,0 mg kg<sup>-1</sup> sem hidrogéis (Tabela 6).

## 3.2 Segundo ensaio

### 3.2.1 Morfogênese

Observou-se efeito ( $P < 0,05$ ) linear para TAlF e TAlH nas características morfogênicas do capim-Mombaça sob diferentes doses do HT. Foi observado efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático para NFL e FIL, nas demais variáveis como TSF e TApF, não houve efeito ( $P > 0,05$ ) (Tabela 7). Para TAlF, o efeito do HT foi crescente com o aumento das doses, sendo a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> apresentou valor de 5,2 mm dia<sup>-1</sup>, superior às demais doses avaliadas. A TAlH apresentou efeito linear decrescente, onde houve uma redução no crescimento das hastes com o aumento da dosagem de 0,14 mm dia<sup>-1</sup> na dose com 40 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao tratamento sem hidrogel.

**Tabela 7.** Efeito de doses de hidrogel à base da goma do cajueiro sob as características morfológicas do capim-Mombaça

Variáveis	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )				P-valor		Equação	R <sup>2</sup>
	0	10	20	40	x	x <sup>2</sup>		
TAIF <sup>1</sup> (mm/folha.dia)	3,1	4,1	5,0	5,2	<0,01	0,10	y=6,2150+0,2541x	76,9
TAIH <sup>2</sup> (mm/perfilho.dia)	0,16	0,13	0,09	0,02	0,01	0,62	y=0,1695-0,003x	31,3
TSF <sup>2</sup> (mm/perfilho.dia)	0,82	0,07	1,17	0,02	0,23	0,34	-	-
NFVe <sup>1</sup> (folhas/perfilho)	2,16	2,50	3,41	2,66	0,15	0,02	y=2,0491+0,0967x-0,002x <sup>2</sup>	79,5
TApF <sup>1</sup> (folhas/perfilho.dia)	0,04	0,04	0,05	0,04	0,80	0,12	-	-
FIL <sup>1</sup> (dias/folha a. perfilho)	30,4	27,5	20,5	23,7	0,32	0,03	y=31,1535-0,7184x+0,0131x <sup>2</sup>	87,8

TAIF (Taxa de Alongamento Foliar), TAIC (Taxa de Alongamento de Hastes), TSF (Taxa de Senescência Foliar), NFV (Número de Folhas Vivas), TApF (Taxa de Aparecimento Foliar), FIL (Filocrono). Médias seguidas por diferentes letras minúscula na linha e maiúscula na coluna diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott P<0,05. EPM: erro padrão médio.

Para NFL, houve efeito quadrático, com valor máximo de NFL obtido na dose de 24,17 kg ha<sup>-1</sup> de HT, não sendo recomendável utilizar doses acima desse valor. Em relação ao Filocrono, observou-se efeito quadrático negativo à medida que as doses aumentavam, com dose mínima de 27,41 kg ha<sup>-1</sup> de HT (Tabela 7).

### 3.1.2 Características estruturais e de produção

Houve efeito linear (P<0,05) para a DPP e BSF nas características estruturais e de produção do capim-Mombaça sob diferentes doses do HT (Tabela 8). Observou-se efeito quadrático (P<0,05) para relação F/C e BSR. Foi observado efeito linear crescente para DPP, onde apresentou maior resultado com 2,14 perfilho/vaso, quando adicionado a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> do hidrogel. Para a BSF, observou-se efeito linear crescente, chegando a 7,43 g/vaso na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> do HT no capim-Mombaça.

**Tabela 8.** Efeito de doses de hidrogel à base de fibra natural do Cajueiro sob as características estruturais e de produção do capim-Mombaça

Variáveis	Dose hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )				P-valor		Equação	R <sup>2</sup>
	0	10	20	40	x	x <sup>2</sup>		
DPP (perfilho/vaso)	1,66	1,78	1,90	2,14	0,04	0,44	y=1,6665+0,0119x	51,1
F/C	0,92	1,45	2,55	1,57	0,42	0,04	y=0,7872+0,1296x-	84,5

MM (g vaso)	1,92	1,92	1,99	1,76	0,72	0,74	0,0027x <sup>2</sup>	-
BSF (g vaso)	3,47	4,76	5,91	7,43	<0,01	0,55	y=3,6845+0,0977x	98,15
BSR (g vaso)	10,66	13,25	31,60	17,72	0,13	0,01	y=7,9992+1,5610-0,0323x <sup>2</sup>	66,65

DPP (Densidade Populacional de Perfilhos), F/C (Folha/Colmo), MM (Matéria Morta), BSF (Biomassa Seca Foliar), BSR (Biomassa seca Raiz). x: P<0,05, efeito linear. x<sup>2</sup>: P<0,05, efeito quadrático.

Observou-se maior relação F/C na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup>, com valor de 2,55, sendo superior quando comparado com as demais doses avaliadas. Para BSR, observou-se maior acúmulo na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> com 31,6 g/vaso, no entanto a dosagem máxima recomendada é de 24,37 kg ha<sup>-1</sup>, não sendo recomendado doses superiores a essa (Tabela 8).

### 2.2.3 Composição química e mineral

Foi observado efeito quadrático ( $P<0,05$ ) para PB e efeito linear crescente ( $P<0,05$ ) para a variável FDN na composição química do capim-Mombaça sob doses de HT. Para a PB, foi observado redução nos teores de PB à medida que a dose aumentava, com redução de 26 g kg<sup>-1</sup> MS na dose com 40 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao tratamento sem hidrogel (dose 0). Em relação a FDN, a adição do HT na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou teor de 768 g kg<sup>-1</sup> MS dessa fibra, enquanto sem o uso do hidrogel, o teor diminui para 708 g kg<sup>-1</sup> MS (Tabela 9).

**Tabela 9.** Composição química do capim-Mombaça, sob doses de hidrogel à base da goma do cajueiro

Variáveis	Dose hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )				P-valor		Equação	R <sup>2</sup>
	0	10	20	40	x	x <sup>2</sup>		
MS (g kg <sup>-1</sup> )	200	222	244	289	0,30	0,37	-	-
PB (g kg <sup>-1</sup> MS)	117	111	104	91	0,19	0,05	y=11,786-0,066x <sup>2</sup>	12,70
FDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	708	718	734	768	0,03	0,15	y=70,158+0,166x	56,51
FDA (g kg <sup>-1</sup> MS)	375	371	368	360	0,38	0,62	-	-
MM (g kg <sup>-1</sup> MS)	24	25	27	30	0,58	0,63	-	-

MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; MM: Matéria Mineral. x: P<0,05, efeito linear. x<sup>2</sup>: P<0,05, efeito quadrático.

Foi observado valor médio de 238,75 g kg<sup>-1</sup> para MS no capim-Mombaça submetido a doses de hidrogel de fibra natural do cajueiro. Para FDA, a média foi de 368,5 g kg<sup>-1</sup>MS, com 375 g kg<sup>-1</sup> MS sem uso de hidrogel (dose 0) e 360 g kg<sup>-1</sup> MS na dose 40 kg ha<sup>-1</sup>. E relação ao teor de Cinzas, foi observado média de 26,5 g kg<sup>-1</sup> MS (Tabela 9).

Houve efeito linear ( $P < 0,05$ ) crescente para o Cu e o Mn, enquanto para Ca, Mg, P, Fe e Zn, foi encontrado efeito linear decrescente no aumento das doses do HT (Tabela 10). Os macronutrientes Ca, Mg e P apresentaram redução na medida que as doses foram elevadas, resultados mais relevantes foram observados no macronutriente P que diminuiu de 319,8 g kg<sup>-1</sup> sem a adição de hidrogel, para 48,6 g kg<sup>-1</sup> na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup>. Já o macronutriente K, apresentou acréscimo em suas quantidades a partir da adição de 10 kg ha<sup>-1</sup> chegando a 664,3 g kg<sup>-1</sup> de K na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 10).

**Tabela 10.** Composição mineral do capim-Mombaça, sob doses de hidrogel a base da goma do cajueiro

	Dose hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )				P-valor		Equação	R <sup>2</sup>
	0	10	20	40	x	x <sup>2</sup>		
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	53,2	46,7	40,2	27,2	<0,01		y=5,328-0,065x	35,07
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	20,5	20,1	19,8	19,1	<0,01		Y=2,052-0,003x	13,44
P (mg kg <sup>-1</sup> )	319,8	252,0	184,2	48,6	<0,01		y=31,983+0,677x	48,33
K (mg kg <sup>-1</sup> )	615,5	627,7	639,9	664,3	0,156		-	-
Cu(mg kg <sup>-1</sup> )	2,4	2,5	2,6	2,9	<0,01		Y=0,242+0,001x	14,46
Mn(mg kg <sup>-1</sup> )	7,7	8,0	8,2	8,7	<0,01		Y=0,779+0,002x	10,33
Fe(mg kg <sup>-1</sup> )	66,3	64,4	62,6	58,8	<0,01		Y=6,638-0,018x	1,89
Zn(mg kg <sup>-1</sup> )	24,8	23,8	22,8	20,9	<0,01		y=2,481-0,009x	98,26

Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; P: Fósforo Absorvido; P: Fósforo; K: Potássio; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Fe: Ferro; Zn: Zinco. x: P<0,05, efeito linear. x<sup>2</sup>: P<0,05, efeito quadrático.

Os micronutrientes Cu e Mn apresentaram aumento gradativo de acordo com a elevação das doses, atingindo 2,9 e 8,7 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente, na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup>, no entanto, foi observado efeito contrário para o Fe e Zn, no qual as plantas que não receberam o hidrogel (dose 0) apresentaram maior teor desses micronutrientes com 66,3 mg kg<sup>-1</sup> para o Fe e 24,8 mg kg<sup>-1</sup> para o Zn (Tabela 10).

## 2.3 Terceiro ensaio

### 3.3.1 Morfogênese

Houve efeito ( $P < 0,05$ ) apenas para TAlF no capim-Mombaça sob as formas de hidratação (Tabela 11). Não houve efeito ( $P > 0,05$ ) das hidratações no capim-Mombaça para TAlH, TST, NFol, TApF e Filocrono (Tabela 11). Observou-se maior alongamento das folhas com uso dos hidrogéis, em especial do HT com 42,33 mm dia<sup>-1</sup> e com 35,00 mm dia<sup>-1</sup> com HC.

**Tabela 11.** Características morfogênicas do capim-Mombaça à campo sob três formas de hidratação

Variáveis	Hidrogel (H)			Média	<i>P-valor</i>	
	Sem	Comercial	Teste			EPM <sup>1</sup>
TAlF <sup>1</sup> (mm fol.dia)	30,53b	35,00ab	42,33a	35,95	0,03	2,67
TAlH <sup>2</sup> (mm perf.dia)	0,26a	0,35a	0,60a	0,40	0,11	0,10
TSF <sup>2</sup> (mm perf.dia)	0,95a	1,01a	1,36a	3,36	0,36	4,22
NFVe <sup>1</sup> (fol/perf)	8,27a	8,53a	9,33a	8,71	0,87	1,47
TApF <sup>1</sup> (fol/perf.dia)	2,57a	3,60a	4,95a	3,71	0,53	1,44
FIL <sup>1</sup> (dias/fol. perf)	2,86a	4,55a	4,97a	4,13	0,51	1,32

Para as variáveis TAlH, TApF e Filocrono, os resultados foram 0,60 mm dia<sup>-1</sup> 4,95 e 4,97 fol dia<sup>-1</sup>, respectivamente com a hidratação do HT, enquanto sem uso de hidrogéis foram de 0,26 mm dia<sup>-1</sup> e 2,57 fol dia<sup>-1</sup> e 2,86. A TST e NFV apresentaram médias de 3,36 e 8,71 com as formas de hidratação (Tabela 11).

### 3.3.2 Características estruturais e de produção

Houve efeito ( $P < 0,05$ ) isolado entre as formas de hidratação e os ciclos para PMVF. Houve interação ( $P < 0,05$ ) entre as formas de hidratação e os ciclos para PMSF. Observou-se efeito isolado entre as formas de hidratação para DPP (Tabela 12).

**Tabela 12.** Características estruturais e de produção do capim-Mombaça à campo, sob três formas de hidratação

Hidrogel	Ciclos	Média	EPM	<i>P - Valor</i>
----------	--------	-------	-----	------------------

	Ciclo 1	Ciclo 2		H	C	H×C
Altura de Planta (cm)						
Sem	64,8	64,2	64,5	1,32	0,23	0,62
Comercial	64,6	59,0	61,8			
Teste	62,2	63,8	63,0			
Média	63,8	62,3				
Produção de Massa Verde Foliar (t ha <sup>-1</sup> )						
Sem	7000,0	4936,0	5968,0b	232,17	<0,01	<0,01
Comercial	7448,0	5296,0	6372,0b			0,84
Teste	8664,0	6161,0	7412,0a			
Média	7704,0A	5464,0B				
Produção de Massa Seca Foliar (t ha <sup>-1</sup> )						
Sem	2617,4Ca	1678,8Ab	2338,9	81,55	0,16	<0,01
Comercial	3694,5Ba	1966,5Aa	2830,5			<0,01
Teste	4477,0Aa	2060,4Ab	3077,9			
Média	3596,3	1901,9				
Densidade Populacional de Perfilhos						
Sem	177,0	188,2	182,6a	9,76	<0,01	0,09
Comercial	169,6	219,4	194,5a			0,44
Teste	231,0	243,4	237,3a			
Média	192,6	217,0				

Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de  $P < 0,05$  para o uso do Hidrogel (H). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de  $P < 0,05$  para o Ciclo (C). EPM: Erro Padrão Médio.

Para a PMVF, o HT apresentou 8664,0 e 7448,0 com uso do HC. Em relação aos ciclos, observou-se maior PMSF no primeiro ciclo. O primeiro ciclo apresentou máxima de 4477,0 t ha<sup>-1</sup> para PMSF quando hidratado com HT, e no segundo ciclo 2060,4 t ha<sup>-1</sup> no mesmo tratamento (Tabela 12).

### 3.3.3 Composição química e mineral

O uso dos hidrogéis não influenciou na composição química do capim-Mombaça. As médias observadas para MS foram de 308,6 g kg<sup>-1</sup>, para PB foi de 71,8 g kg<sup>-1</sup> MS, FDN 707,6 g kg<sup>-1</sup> MS, FDA 347,9 g kg<sup>-1</sup> MS e MM 43,3 g kg<sup>-1</sup> MS (Tabela 13).

**Tabela 13.** Composição química do capim-Mombaça, sob três formas de hidratação à campo

Variáveis	Hidrogel (H)			Média	EPM	P – Valor
	Sem	Comercial	Teste			
MS (g kg)	310,6a	307,1a	308,1a	308,6	1,53	0,98

PB (g kg <sup>-1</sup> MS)	69,5a	73,8a	72,3a	71,8	0,35	0,68
FDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	713,6a	691,5a	717,9a	707,6	0,83	0,11
FDA (g kg <sup>-1</sup> MS)	349,3a	341,2a	353,4a	347,9	0,57	0,36
MM (g kg <sup>-1</sup> MS)	42,2a	41,9a	46,0a	43,3	0,44	0,77

MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; MM: Matéria Mineral. EPM: Erro Padrão da Média. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de  $P < 0,05$  para uso do hidrogel (H).

Na composição mineral do capim-Mombaça à campo sob hidratações, observou-se efeito apenas para o Zn com acúmulo de 28,0 mg/kg com a hidratação com HT. Os macronutrientes Mg, P e K apresentaram médias de 4,5 g kg<sup>-1</sup>, 4,0 g kg<sup>-1</sup> e 331,0 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, enquanto os micronutrientes Cu apresentou 8,1 mg kg<sup>-1</sup>, o Mn 124,6 mg kg<sup>-1</sup>, o Fe 78,6 mg kg<sup>-1</sup> e Zn 13,6 mg kg<sup>-1</sup> em sua composição (Tabela 14).

**Tabela 14.** Composição mineral do capim-Mombaça, sob três formas de hidratação à campo

Variáveis	Hidrogel (H)			Média	EPM	P - Valor
	Sem	Comercial	Teste			
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	42,6a	35,7a	35,2a	37,8	0,31	0,24
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	5,0a	4,5a	4,1a	4,5	0,07	0,72
P (mg kg <sup>-1</sup> )	3,5a	3,8a	4,7a	4,0	0,05	0,35
K (mg kg <sup>-1</sup> )	365,2a	334,0a	294,0a	331,0	4,07	0,49
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	1,1a	1,4a	17,0a	8,1	0,03	0,48
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	35,9a	34,1a	304,0a	124,6	0,59	0,80
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	19,3a	23,5a	193,0a	78,6	0,37	0,72
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	4,6a	8,3b	28,0a	13,6	0,11	0,02

Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; P: Fósforo; K: Potássio; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Fe: Ferro; Zn: zinco. EPM: Erro Padrão da Média. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de  $P < 0,05$  para uso do hidrogel (H).

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Primeiro ensaio

#### 4.1.1 Morfogênese

A ausência de interação entre as formas de hidratação e os genótipos de capins demonstra que a morfologia das gramíneas associado ao uso de hidrogel não influenciam nas características morfogênicas dessas plantas. No entanto, o efeito isolado nas hidratações,

mostrou que o uso dos hidrogéis (HT e HC) proporcionou maior TAlF, NFl e TApF em comparação ao tratamento sem hidrogel. A TAlF é considerada uma das mensurações completamente ligadas as características morfogênicas de plantas forrageiras, pois essa taxa é diretamente influenciada pelas condições ambientais do ecossistema de pastagem (Oliveira et al., 2019), bem como os recursos hídricos fornecidos. O NFl está relacionado aos resultados de TApF, ambos fazem parte do processo de recuperação das plantas, que foi ativado devido ao recurso hídrico disponível a mesma, através do hidrogel.

A TAlH e TST foram semelhantes em todas as formas de hidratação, ou seja, a disponibilidade de água fornecida pelos hidrogéis durante o cultivo das forrageiras, não influenciou nos resultados dessas variáveis. De acordo com Bezerra (2014) o aumento de colmos em pastagens possui pontos distintos, o negativo e o positivo. O primeiro remete ao valor nutritivo, devido ao acúmulo de colmos, que possui menor digestibilidade e é menos palatável ao animal. O segundo é positivo e remete a maior produção de massa que conseqüentemente contribui para produção de matéria seca total, e na impossibilidade de uso de pastejo direto esse material pode processado, aproveitando todos os componentes da pastagem. O FIL foi menor nos tratamentos com uso dos hidrogéis, o que significa que o número de dias entre o aparecimento de uma folha e outra foi menor com o uso de hidrogéis, fato interessante para o aumento da produção de massa de forragem e esse resultado indica que a disponibilidade de água favoreceu as espécies, diminuindo esse intervalo de rebrota de folhas.

Os genótipos não apresentaram influência do HT para a TAlF e TAlH, no qual os resultados dessas variáveis foram estatisticamente semelhantes em todos os capins avaliados. O efeito isolado para TST mostrou que o capim-Massai, sofreu maior influência com o uso do HT em seu cultivo, seguido do capim-Paiaguás e capim-Mombaça, sendo, o genótipo Marandu o que apresentou menor taxa de senescência. Esse resultado, pode ter representado o momento de estabelecimento das espécies, pois após o reestabelecimento da área foliar, inicia-se o processo de senescência das primeiras folhas expandidas, geralmente localizadas na porção inferior do dossel. Neste sentido, o processo de senescência das folhas se intensifica até que as taxas de aparecimento e senescência se igualem, estabilizando o número de folhas vivas por perfilho (Lemaire e Chapman, 1996). É durante a senescência foliar, a planta forrageira possui capacidade de reciclar nutrientes e utilizar para a formação de novos órgãos vegetativos dando continuidade ao seu processo de crescimento (Bezerra et al., 2020).

O NFL e TApF, apresentaram comportamento estatisticamente semelhantes em seus resultados, onde o genótipo Paiaguás obteve maior influência do HT, nessas variáveis em comparação aos demais genótipos avaliados. Na prática, o aparecimento de novas folhas ocorre através da atividade de meristemas apicais e gemas basilares e axilares remanescentes pós-pastejo, e seu crescimento baseia-se no alongamento e aparecimento de folhas para recomposição da área de tecidos fotossinteticamente ativos (Taiz et al., 2017). Durante a recuperação da área foliar, a rebrota de plantas forrageiras obedece a um fluxo de tecidos, no qual, primeiramente, a planta investe seus recursos para a formação de novos tecidos foliares. Logo após a desfolhação, no início da rebrota, a velocidade de crescimento do dossel depende das taxas de alongamento e aparecimento de folhas e perfilhos, resultando no acúmulo de biomassa que será novamente pastejada (Souza et al., 2020).

O hidrogel da goma do cajueiro, apresentou desempenho igual ao HC, para as principais características morfogênicas dos capins avaliados. Desta maneira, com entendimento dos processos morfogênicos da planta forrageira, é possível elaborar planos de gestão da pastagem para que ela possa ser sustentável do ponto de vista ambiental e econômico (Cruz et al., 2021). Assim, além de determinar a forma de crescimento de uma planta forrageira, o conhecimento da morfogênese proporciona estimar a qualidade e disponibilidade de forragem e, dessa forma, propor estratégias de manejo direcionada para cada espécie em relação aos genótipos.

#### **4.1.2 Características estruturais e de produção**

A inexistência de interação entre as formas de hidratação e os capins, demonstra que a fisiologia das gramíneas e o uso de hidrogéis não influenciaram nas características estruturais e de produção dos genótipos avaliados. Durante o cultivo das gramíneas sob as três formas de hidratação, observou-se maior DPP no uso do HC, seguido do HT, o que significa que a liberação lenta proporcionada pelos polímeros aumentou a quantidade dos perfilhos, fato observado também nas características morfogênicas TApF e NFL, que são diretamente relacionadas com a DPP. A formação e arquitetura do dossel forrageiro, tem ligação direta com sua densidade populacional de perfilhos que faz parte das características estruturais, uma vez que o perfilhamento de uma planta é resultante do acúmulo de fitômeros (Cruz et al., 2021).

A maior BSF foi observada com uso dos hidrogéis (HC e HT), demonstrando o efeito desses no acúmulo de massa seca de forragem quando comparados com as amostras sem

adição de polímeros hidroretentores, o que indica que a hidratação do solo e a retenção de água para serem liberadas com frequência aumenta a produtividade das gramíneas. Esse fato pode ser explicado devido a BSF está agregada a DPP, no qual ambas se correlacionam em seus efeitos, pois a população de perfilhos quando maior, influencia na BSF. Foi encontrado resultados semelhantes aos relatados por Abraão et al. (2020) onde a aplicação do hidrogel na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> aumentou a produtividade da soja.

Em relação a BSR, o HT apresentou maior acúmulo quando comparado ao uso do HC e sem uso de hidratação nas plantas (SH). Essa resposta é interessante, uma vez que, quanto maior a BSR, significa que maior será a profundidade alcançada por essa parte no solo, o que aumenta a persistência da planta e alcance de grandes quantidades de nutrientes. A importância fisiológica no crescimento das raízes faz com que as plantas apresentem maior sustentação e proporcionam maior abrangência na busca por nutrientes. Os valores para relação F/C e MM, apresentaram semelhança nas três formas de hidratação e nos quatro genótipos.

Em relação aos genótipos avaliados, a maior DPP ocorreu no capim-Marandu e no capim-Massai. Esse fato pode estar relacionado a resistência desses genótipos ao estresse hídrico, pois a capacidade de perfilhamento de uma espécie está correlacionada ao seu potencial de emissão de folhas, onde estas correspondem à geração de uma gema axilar capaz de formar um novo perfilho. Portanto, o perfilhamento de uma planta forrageira é um dos mecanismos que garantem a perenidade de plantas forrageiras, visando a substituição contínua de gerações de perfilhos (Jones e Tracy, 2017). Cruz et al. (2019) avaliaram os efeitos de quatro alturas pré-desfolha (25, 35, 45 e 55 cm) nas características estruturais do capim-Survenola (*Digitaria eriantha* cv. Survenola). Os autores relataram maiores acúmulos de massa nas maiores alturas pré-desfolha. No entanto, a partir da análise desses dosséis, foi constatado que houve diminuição da densidade populacional de perfilhos.

Em relação a produção de BSF e BSR das plantas de capins, o genótipo Mombaça obteve a maior produção de biomassa devido o armazenamento de água no solo apresentar uma boa correlação com a produção, podendo ser uma ferramenta útil para períodos em que as condições climáticas afetam a produção desse capim (Pezzopan et al., 2011). Segundo Scremin, (2017), ao utilizar o polímero de hidrogel, foi possível observar aumento na eficiência e na produtividade da aveia, mostrando ser eficiente em gramíneas de interesse econômico nas condições de 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> do biopolímero. Portanto, plantas com maior sistema radicular tem maior potencial de produção e de resistir as condições climáticas pois

apresentam maior capacidade de absorção de água e nutrientes disponíveis no solo (Wendling et al., 2016). Assim, o hidrogel teste produzido a partir da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*), demonstrou potencial, pois apresentou desempenho igual ou melhor para as características estruturais e de produção nos genótipos de capins.

#### **4.1.3 Composição química e de minerais**

A interação entre os genótipos de capins e as três formas de hidratação demonstra que houve influência do uso de hidrogéis no teor de PB. Foi observado maior teor de PB no capim-Paiaguás seguido do capim-Marandu, ambos com uso do HC. Essas variedades são consideradas mais resistentes a baixa disponibilidade de água, o que explica sua resistência e acúmulo de PB (Gotado et al., 2018). Essa resposta pode ser explicada devido a condição climática no período do experimento, proporcionada pelo hidrogel, promovendo um microclima favorável as plantas dentro da casa de vegetação, onde os teores de PB na pastagem variaram especialmente em razão da variação hídrica na região, interferindo no seu desenvolvimento e alterando suas concentrações nutricionais.

A PB esta correlacionada ao teor de N existente na fisiologia da planta, o N é fundamental no desenvolvimento das plantas, principalmente no processo de formação vegetativa, e sua deficiência causa redução significativa no porte e estrutura das plantas, afetando vigor, potencial de crescimento e rebrote. A condição hídrica é um fator limitante no aproveitamento deste nutriente, bem como sua disponibilidade no solo, sendo a água o meio responsável por conduzir este nutriente até o sistema radicular das plantas (Mantelli et al., 2021).

O efeito isolado nas formas de hidratação, demonstrou que o uso do HT proporcionou aumento no teor de FDN. A FDN é constituída pelos carboidratos de parede celular, celulose e hemicelulose, e apresenta interferência na capacidade de ingestão e no aproveitamento nutricional, pois, dependendo da quantidade pode restringir ou estimular o consumo pelos ruminantes (Alves et al., 2016). Aumento no teor de fibras na planta indica aumento da parede celular e redução do seu conteúdo, fato que reduz a digestibilidade do alimento para o animal (Freitas et al., 2012).

O efeito isolado para MS, com maior teor no gênero *U. brizantha* (Paiaguás e Marandu), demonstra que nesses genótipos houve um maior acúmulo de compostos orgânicos e minerais nos tecidos das plantas (Laredo et al., 1991). O uso do hidrogel proporcionou maior acúmulo de conteúdo vegetal, que propriamente será consumido pelos animais, ou seja,

plantas que acumulam maior quantidade de MS em seus tecidos demonstram ter maior acúmulo de biomassa seca total, pois proporciona maior disponibilidade de alimento, aumentando a segurança alimentar para os rebanhos de regiões secas, fato importante para produção animal (Amorim et al., 2019).

Os genótipos de *Megathyrsus* (capim-Mombaça e Massai), apresentaram maior teor de FDN com uso do HT. Desta forma o hidrogel favoreceu o aumento da FDN no capim-Mombaça e Massai. O capim-Massai apresentou menor FDA, que é composta principalmente por celulose, sílica, lignina. Essa fração está diretamente relacionada a digestibilidade da forragem, pois apresenta uma porção de fibras indigestíveis, sendo assim, quanto mais expressivos são os teores de FDA, menor é a porção digestível do alimento (Alves et al., 2016).

Os valores de MM foram estatisticamente semelhantes entre os genótipos avaliados, essa resposta é importante pois na MM encontramos grande quantidade de nutrientes e representam o resíduo remanescente, após a remoção de toda a umidade da forragem e, o material orgânico (gorduras, proteínas, carboidratos, vitaminas, ácidos orgânicos e outros) após ter sido aquecido a alta temperatura. A Matéria Mineral ou Cinzas, contém os cátions: cálcio, potássio, magnésio; e ânions: sulfato cloreto, silicato e fosfato, principalmente (Silva, Queiroz, 2002).

Ao determinar a concentração dos macronutrientes nesse experimento, foi observado maior acúmulo de Ca e Mg quando não houve adição de hidrogéis. Enquanto para P e K, foi encontrado maior acúmulo no uso do HC. Baixas concentrações de P nas proteínas citoplasmáticas reduzem o crescimento da planta. Havendo uma diminuição no crescimento, as folhas mais velhas das plantas carentes em fósforo mostram, a princípio, uma coloração verde escura azulada, causada pela maior concentração relativa da clorofila, podendo ocorrer tonalidades roxas nas folhas e no caule. O K é o segundo nutriente mais exigido pelas culturas ele não se encontra nos solos em teores tão limitantes quanto o de fósforo. O potássio não desempenha função estrutural na planta, mas ele contribui para a sua regulação osmótica. A utilização do hidrogel permitiu que a água absorvida pela planta durante o seu ciclo fosse mais bem distribuída o que proporcionou, melhor a eficiência de absorção de nutrientes (Santos et al., 2020).

Em relação aos genótipos, observou-se valor máximo de Ca de 65,6 mg kg<sup>-1</sup> que corresponde a 6,56% no capim-Mombaça e mínimo de 26,9 mg kg<sup>-1</sup> equivalente a 2,69% na espécie do capim-Paiaguás. A ausência de Ca se expressa nos pontos de crescimento da parte

aérea e da raiz e em frutos em desenvolvimento, ou seja, nas regiões em maior expansão celular na planta, pois são as mais afetadas pela deficiência desse metal. O aumento da massa de raízes pode ser justificado pelo aumento da dosagem de fósforo conforme o aumento das dosagens de HT.

Vale ressaltar que um sistema radicular melhor desenvolvido consegue explorar maior volume de solo, com tendência de absorver maior quantidade de nutrientes apresentando reflexo positivo no desenvolvimento da cultura. O sistema radicular das gramíneas forrageiras é conhecido pelo crescimento agressivo e desenvolvimento em profundidade, fato este que pode ter auxiliado na absorção de K lixiviado para as camadas subsuperficiais (Galindo et al., 2018). Resultado semelhante foi encontrado por Saraiva (2017) quando analisou o desenvolvimento vegetativo do milho biofertilizado com manipueira tratada, e constatou que o uso de tal efluente ocasionou maior altura de plantas e aumento de macronutrientes no tecido foliar, nas raízes das plantas e no solo.

Uma possível explicação do aumento do acúmulo de K na parte aérea é devido ao fato de, possivelmente, ao aumentar a dose de hidrogel, houve conseqüentemente o acúmulo de N na forrageira e maior desenvolvimento do sistema radicular e conseqüente aumento na parte aérea, aumentando a absorção de K. Outra explicação possível está relacionada ao alto consumo, onde as plantas absorvem quantidade acima da sua necessidade metabólica, que é acumulada em organelas da célula vegetal, como nos cloroplastos, nas mitocôndrias e, especialmente, nos vacúolos (Gommers et al., 2005).

O capim-Paiaguás apresentou maior teor de Cu sem o uso de hidrogel, esse mesmo comportamento foi encontrado para o micro Fe nessa cultivar. O capim-Marandu e Massai apresentaram médias próximas para Cu com HC. O capim-Massai e capim-Mombaça apresentaram teores de Cu semelhantes no uso do HT. A resposta de pastagens de gramíneas tropicais ao uso de Cu foi encontrada poucas vezes. Solos bem drenados e arenosos são pobres em Cu e podem apresentar algum potencial de resposta ao Cu.

O genótipo Mombaça também absorveu maior quantidade de Zn em relação aos demais genótipos em todas as formas de hidratação, em especial sem uso de hidrogéis. As plantas de mesma espécie, ou mesmo entre genótipos podem apresentar diferentes comportamentos em seu desenvolvimento, ato que pode ser observado nas cultivares analisadas. Os micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês, boro, molibdênio, cloro e níquel) são igualmente importantes para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Ahmed e Qadir, 2017).

## 4.2 Segundo ensaio

### 4.2.1 Morfogênese

O efeito crescente na TAlF do capim-Mombaça sob o acréscimo nas doses de HT, mostraram que a disponibilidade de água para esse genótipo favorece a expansão foliar da mesma, no entanto, a TAlH foi prejudicada. Assim, como as folhas, a taxa de colmo apresentou efeito significativo com a utilização de doses do HT, sendo que em ambos o efeito foi inverso, onde as doses apresentaram maiores que os tratamentos testemunha para TAlF e menores para TAlH. Possivelmente os valores maiores de colmo se dá pelo fato do maior crescimento dessas plantas, uma vez que quanto maior a planta maior a altura das folhas e colmo. Coutinho et al. (2020) ao trabalhar com o capim-Massai, observou redução na altura do capim massai, sob déficit hídrico, ao relacionar à redução na TAlF e TAlH, que tem influência sobre esta variável, ou vice-versa, aliado a redução no uso dos nutrientes do solo em condições severas de disponibilidade hídrica. Assim, o HT proporcional maior crescimento dessas plantas.

O efeito quadrático das doses do HT no NFL, mostrou que a dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> melhora a produção de folhas no capim-Mombaça. Essa resposta pode ser explicada pelo efeito encontrado no FIL dessa avaliação, no qual foi maior no tratamento sem adição de hidrogel e menor na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, a presença de água fornecida pelo hidrogel, diminuiu o intervalo de aparecimento de uma folha e outra, o que responde a maior TApF nessa dosagem.

A TST e TApF, apresentaram comportamento semelhantes, com valores máximos na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup>, e diminuição deles na dose máxima de 40 kg ha<sup>-1</sup>. Segundo Pereira (2013), a taxa de Senescência de folhas é diretamente afetada por condições de alagamento, por consequência da redução no teor de clorofila e pela reciclagem de nutrientes de folhas senescentes para folhas em processo de expansão. De acordo com Bezerra (2014) o crescimento da pastagem pode ocasionar um auto-sombreamento, principalmente onde se utilizou a dose altas de hidrogel, propiciando maior acúmulo de material morto na parte inferior do dossel devido a menor penetração de luz nesse estrato. Esse resultado mostra que a dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> do HT no capim-Mombaça, favorece suas características morfogênicas, sendo valores superiores do hidrogel, não interessante para seu uso nessa gramínea.

#### **4.2.2 Características estruturais e de produção**

As doses de HT não influenciaram a produção de MM do capim-Mombaça, no entanto, a DPP e a BSF apresentaram melhor desempenho quanto ao aproveitamento do hidrogéis no solo de acordo que as doses aumentavam. Em condição onde ocorre menor precipitação pluviométrica, o hidrogel promove maior produtividade para o capim-Mombaça, proporcionando conforto hídrico as plantas, quando usado como condicionado de solo (Lopes et al., 2016). De Mamann (2016) também constatou que o uso de hidrogel com a dosagem de 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> promoveu uma maior eficiência no trigo aumentando à produtividade do grão.

A relação F/C obteve valor máximo com a utilização do HT na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup>, sendo superior quando comparado com as demais doses avaliadas. Esse mesmo comportamento, foi observado para a produção de BSR, com maiores resultados na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup>, onde apresentou uma maior quantidade de raiz quando se comparado a dose 40 kg ha<sup>-1</sup>, tendo assim uma maior eficiência em absorver água no solo. Esse resultado se atribui ao uso do hidrogel, onde as plantas que têm o desenvolvimento radicular bem desenvolvido são menos susceptíveis a estresse hídrico (Salton e Tomazi, 2014).

#### **4.2.3 Composição química e de minerais**

O maior teor de PB foi obtido no tratamento sem o uso do hidrogel (dose 0), o que se deve ao fato da PB da planta sem adição de hidrogel ter sido influenciada pelo estresse hídrico. O estresse hídrico em plantas forrageiras pode proporcionar o aumento do seu conteúdo celular, em especial o de PB (Silva et al., 2012). O teor da PB com uso do HT independente da dose permanece elevados, o que não afeta a questão nutricionais da forragem e nem compromete sua qualidade para seu fornecimento aos animais devido a quantidade de N disponível. Este nutriente é essencial para a manutenção da produtividade e persistência da pastagem, e participa como principal constituinte das proteínas que atuam ativamente na síntese dos compostos orgânicos que formam a estrutura do vegetal (Santos et al., 2012).

A umidade proporcionada pelo HT favoreceu o acúmulo de FDN nas forrageiras, esse acréscimo de fibras foi gradual de acordo com as doses, porém, não é interessante, pois limita a digestibilidade do animal desse capim e a absorção de nutrientes por eles, que serve como indicativo de qualidade desse genótipo em condições de estresse hídrico, o que geralmente acontece na prática nas propriedades. Como a FDA é inversamente proporcional a FDN, ela regrediu com a elevação das doses atingindo a mínima de 360 g kg<sup>-1</sup> MS na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup>.

Observou-se maior teor de MS e MM na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup>, resultado importante para essas características nutricionais, pois demonstra que a adição do hidrogel contribui no acúmulo de compostos orgânicos e minerais nos tecidos das plantas (Laredo et al., 1991). Na MM encontramos grande quantidade de nutrientes, desta forma, o aumento das doses de hidrogel nesse capim, são interessantes, pois melhora a absorção de nutrientes pelas plantas forrageira e proporciona efeitos positivos no capim-Mombaça o que afeta no seu desempenho da produção animal.

Os macronutrientes Ca, Mg e P, tiveram seus teores reduzidos com o aumento das doses de HT, porém, houve efeito contrário no K, que aumentou com a elevação das doses do hidrogel. Segundo Rosolem et al. (2012) tal inferência deve-se ao fato de que o K absorvido permanecer a maior parte do tempo no tecido vegetal, vivo ou morto, protegido de perdas por erosão e lixiviação e que, portanto, espécies com elevada capacidade de extrair K do solo e, ou, capazes de explorar camadas profundas do solo como as gramíneas forrageiras, em especial o capim-Mombaça, são de extrema importância para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, por maximizar o aproveitamento de K e manter a fertilidade do solo, evidenciando o potencial das gramíneas forrageiras como culturas cicladoras de nutrientes.

O capim-Mombaça obteve o maior teor de Mn sem uso dos hidrogéis, na maioria dos genótipos avaliados, no entanto, encontram-se abaixo do recomendado, pois a faixa de teor adequado de Mn da *Urochloa brizantha* é de 40 a 200 mg kg<sup>-1</sup> e do *Megathyrus maximum* é de 40 a 250 mg kg<sup>-1</sup> (Werner et al., 1996), isso pode indicar deficiência desses nutrientes no solo. O Cu e o Mn foram favorecidos com a adição de doses de HT. Isso acontece pelo fato de que, a utilização do hidrogel permite que a água absorvida pela planta durante o seu ciclo seja mais bem distribuída, o que proporciona, eficiência de absorção de nutrientes (Santos et al., 2020).

Já o Fe e o Zn, diminuíram seus teores com adição das doses de HT, esse resultado mostra que a presença constante de água sendo absorvida pela planta, interfere no acúmulo desses micronutrientes, gerando redução dos mesmos e podendo acarretar prejuízos maiores, já que a deficiência de Zn afeta o crescimento de ramos e de folhas, havendo formação de internódios curtos, com o aparecimento de folhas miúdas na extremidade dos ramos (Giracca, 2016). Desta forma a produtividade animal é diretamente influenciada por atributos qualitativos das forrageiras que, por sua vez, são micronutrientes (Kumar et al., 2016).

### **4.3 Terceiro ensaio**

#### ***4.3.1 Morfogênese campo***

As análises das características morfogênicas do capim-Mombaça avaliado à campo sob diferentes formas de hidratação apresentaram efeito apenas para a TAlF com uso do HT, com 42,33 mm/folha.dia, sendo considerado estatisticamente semelhante a taxa encontrada no uso do HC. Esse resultado mostra que o HC pode ser substituído com segurança pelo HT.

No entanto, não houve diferenças das hidratações no capim-Mombaça avaliado à campo para a TAlH, TSF, NFV e FIL, porém em todas essas variáveis observou-se valores maiores quando o capim recebeu aplicação do HT. O comportamento desses resultados mostra que o HT favorece o crescimento das folhas e poderá influenciar nas demais variáveis em um maior prazo, pois a característica do hidrogel é liberar água de forma gradual. Isso pode ser justificado pelos valores da TApF e NFV, que praticamente duplicou, em relação aos valores sem uso de hidrogéis.

#### ***4.3.2 Características estruturais e de produção***

O efeito dos hidrogéis para PMVF, foi observada em ciclos, onde no primeiro ciclo o HT e HC apresentaram efeitos semelhantes e favoráveis à produção do capim. No segundo ciclo a PMVF foi considerada igual entre as três formas de hidratação. Este resultado pode ser entendido, que nos primeiros 30 dias (primeiro ciclo) de uso dos hidrogéis, houve uma liberação maior que no segundo ciclo. A água existente no sistema para o capim, proporcionou maior produção, fato observado na TAlF das características morfogênicas, que está relacionado ao maior desenvolvimento das folhas.

Houve interação dos ciclos e as hidratações para PMSF, o que significa que o ciclo teve maior PMSF que no ciclo dois. No entanto o capim-Mombaça apresentou maior PMSF com uso do HT tanto no primeiro quanto no segundo ciclo. A PMSF foi menor quando não utilizado os hidrogéis.

Para DDP, foi observado no segundo ciclo quantidade superior que do primeiro, isso sugere que o uso contínuo dos hidrogéis haja uma estabilidade na PMVF, uma vez que quanto mais perfis emitidos maior será a produção do capim.

### 4.3.3 Composição química e mineral

A ausência de efeito na análise de composição química entre as formas de hidratação no capim-Mombaça à campo, demonstra que o uso dos hidrogéis não interfere na sua composição, porém pode ocorrer alterações no caso de avaliações com outros genótipos. Apesar de estatisticamente os valores entre os tratamentos serem semelhantes, observa-se uma alteração na PB, FDN, FDA e MM com uso do HT. No entato os valores de FND, não são considerados interessantes nesse teor encontrado no ensaio. Já para as demais variáveis o incremento é positivo para a espécie sob efeito do HT à campo.

O micronutriente Zn, foi o único nutriente que apresentou efeito com as três formas de hidratação. Foi observado nos resultados dos macronutrientes Ca, Mg e K, diminuição no teor com uso do HT. Para o Ca ao ser determinada a concentração deste metal nas espécies de Poaceae, o valor máximo encontrado foi de 4,8 g kg que corresponde a 0,48% na espécie *Eleusine indica* e mínimo de 0,6 g kg equivalente a 0,06% na espécie *Aristida longifolia* (Conceição et al. 2013). O potássio não desempenha função estrutural na planta, mas ele contribui para a sua regulação osmótica. Em condições de carência, o potássio pode deslocar-se dos órgãos mais velhos dirigindo-se aos mais novos (2013). Santos-Filho et al. (2007), alega que o nível adequado para esse nutriente é de 10,0 a 14,0 g kg. Como os valores variam de acordo com órgão analisado, segundo esses dados às espécies analisadas neste trabalho possuem alta concentração desse nutriente.

Enquanto os micronutrientes avaliados, apresentaram uma significativa elevação em seus teores, que pode ter ocorrido pelo fato desses micronutrientes terem maior facilidade de mobilização através do fluxo de massa, ou seja, se moveram com maior facilidade no sentido da água, que foi auxiliado com uso dos hidrogéis. A literatura reporta que o fósforo é um dos macronutrientes, menos exigidos pelas plantas e que para o ótimo crescimento das plantas, este nutriente varia, dependendo da espécie e do órgão analisado, de 0,1 a 0,5% na matéria seca (Faquin, 2005). Santos-Filho et al. (2007), cita que os níveis adequados para este nutriente ficam em torno de 1,0 a 2,3 g kg. Afirmar esta que corrobora com o presente trabalho, uma vez que os teores de fósforo, entre as espécies estudadas variaram de 0,3 a 2,6 g kg. Já Souza et al. (1999), estabelece valores de 0,11 a 0,30 g kg. Baixas concentrações de fósforos nas proteínas citoplasmáticas reduzem o crescimento da planta. Havendo uma diminuição no crescimento, as folhas mais velhas das plantas carentes em fósforo mostram, a princípio, uma coloração verde-escura azulada, causada pela maior concentração relativa da clorofila, podendo ocorrer tonalidades roxas nas folhas e no caule.

## **5 CONCLUSÕES**

O hidrogel de goma do cajueiro influencia positivamente nas características estruturais, composição química e mineral dos genótipos avaliados, em especial os do gênero *Urochloa*.

O hidrogel da goma do cajueiro demonstra potencial de liberação lenta igual ou superior ao hidrogel convencional com uso de até 25 kg ha<sup>-1</sup> para o genótipo Mombaça, propiciando aumento no acúmulo de nutrientes, bem como na matéria seca, além da manutenção de biomassa de forragem.

O capim-Mombaça avaliado à campo apresentou maior produção de MS com o hidrogel de goma do cajueiro. O uso de hidrogéis apresenta potencial de utilização no cultivo de gramíneas forrageiras.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa (CNPQ/NEXUS n°441321/2017-8), e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo. Também agradeço ao apoio do Núcleo de Estudos em Forragicultura (NUEFO) do CPCE/UFPI.

## 6. REFERÊNCIAS

Abraão, P. C.; Júnior, J. B. D.; Guimarães, V. F.; Júnior, A. C. G.; Da Costa, A. C. T., Tsutsumi, C. Y.; Queiroz, S. B. Influência de Hidrogel em Caracteres Fitotécnicos da Soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, 2020.

Ahmed, Mahmood et al. Curcumina: Otimização da síntese e interação in silico com quinase dependente de ciclina. **Acta Pharmaceutica**, v. 67, n. 3, pág. 385-395, 2017.

Alves, F. A. L.; de Andrade, A. P.; Bruno, R. D. L. A.; dos Santos, D. C. Study of the variability, correlation and importance of chemical and nutritional characteristics in cactus pear (*Opuntia and Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n. 31, p. 2882-2892, 2016.

Amorim, D.S.; Edvan, R.L.; Nascimento, R.R.; Bezerra, L.R.; Araujo, M.J.; Silva, A.L.; Diogenes, L.V.; Oliveira, R.L. Sesame production and composition compared to conventional forages. **Chilean Journal of Agricultural Research**, 79: 586–595, 2019.

Araujo, J. P. P. de (Ed.): Caju o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 250 p. (Coleção 500 perguntas 500 respostas), 2015.

Barros, A. B.; Moura, A. F.; Silva, D. A.; Oliveira, T. M.; Barreto, F. S.; Ribeiro, W. L. C.; Alves, A. P. N. N.; Araújo, A. J.; Moraes Filho, M. O.; Iles, B.; Medeiros, J. V. R.; Marinho Filho, J. D. B. Evaluation Of Antitumor Potential Of Cashew Gum Extracted From *Anacardium Occidentale* Linn. **International Journal Of Biological Macromolecules**, 154, 319-328, 2020.

Bezerra, J. D. V.; Emereciano Neto, J. V.; Alves, D. J. S.; Batista Neta, I. E.; Galdino Neto, L. C.; Santos, R. S.; Difante, G. S. Características produtivas, morfológicas e estruturais de cultivares de *Brachiaria brizanthacultivadas* em dois tipos de solo. **Research, Society and Development**, 9(7), e129972947, 2020.

Casaroli D., Lier Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 59–66, 2008.

Costa-Coutinho, J.M.; Jardim, M.A.; Castro, A.J.F.; Viana-Junior, A.B. Biogeographic connections of Brazilian savannas: partition of marginal and disjunct diversity and conservation of northern ecotonal tropics in a biodiversity hotspot. **Revista Brasileira de Geografia Física** 12, 2407-2427, 2019.

Cruz, N.T.; Pires, A.J.V.; Fries, D.D.; Jardim, R.R.; Sousa, B.M. de L.; Dias, D.L.S.; Bonomo, P.; Ramos, B.L.P.; Sacramento, M.R.S.V. do. Fatores que afetam as características morfológicas e estruturais de plantas forrageiras. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 7, pág. e5410716180, 2021.

Detmann E., Souza M.A., Valadares Filho S.C., Queiroz A.C., Berchielli T.T., Saliba E.O.S., Cabral L.S., Pina D.S., Ladeira M.M., Azevedo J.A.G. 2012. Métodos para Análise de Alimentos - INCT - **Ciência Animal**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema. 214p.

Erasmu, E. A. L.; Gonçalves, R. C.; Mata, J. F.; Oliveira, V. A.; Benício, L. P. F. Growth of *Brachiaria brizantha* planted at different densities and seasons in Santa Fé system with a culture of soybean. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.29, n.9, p.658-663, 2017.

Faria, E.F.S. Formação e Manejo de Pastagens (Plantas forrageiras). Disponível. Acesso em: 20 jul.2022.

Ferreira, D. F. Sisvar: Um sistema de análise estatística de computador. *Ciênc. agrotec.*; 35: 1039–1042, 2011.

Freitas, F.P.; Fonseca, D.M.; Braz, T.G.S.; Martuscello, J.A.; Santos, M.E.R. Forage yield and nutritive value of Tanzania grass under nitrogen supplies and plant densities. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41: 864–872, 2012.

Gommers, A.; Thiry, Y.; Delvaux, B. Rhizospheric mobilization and plant uptake of radiocesium from weathered soils: I. Influence of potassium depletion. **Journal of Environmental Quality**, Madison, 34, 6, pp. 2167-2173, 2005.

Gotado, Rafael et al. Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. *Geosul*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 33, n. 67, p. 253-276, 22 maio 2018.

Guilherme M. R., Aouada F. A., Fajardo A. R., Martins A. F., Paulino A. T., Davi M. F., Rubira A. F., Muniz E. C. 2015. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: a review. **European Polymer Journal**, 72: 365–385, 2015.

Jones, G. B.; Tracy, B. F. Persistence and productivity of orchardgrass and orchardgrass/alfalfa mixtures as affected by cutting height. **Grass and Forage Science**, 73(2), 544-552, 2017.

Kumar, R.; Katityar, R.; Kumar, S.; Kumar, T.; Singh, V. Lantana camara: an alien weed, its impact on animal health and strategies to control. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 4, n. 35, p. 321-337, 2016.

Laredo M.A., Simpson G.D., Minson D.J. The potential for using n-alkanes in tropical forages as a marker for the determination of dry matter by grazing ruminants. **Journal of Agricultural Science**, 117: 355–361, 1991.

Leal, F. B. Hidrogel de alginato funcionalizado para utilização como sistema de entrega em Odontologia. 2017. 57 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pelotas. Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Pelotas, RS, 2017.

Liu, Y.; Song, W. Modelling crop yield, water consumption, and water use efficiency for sustainable agroecosystem management. **Journal of Cleaner Production**, 253, 119940, 2020.

Mamann, Â. T. W.; Mantai, R. D.; Brezolin, A. P.; Scremin, O. B.; Reginatto, D. C.; DA Silva, J. A. G. A Tecnologia de Hidrogel a eficiência de uso de Nitrogênio para o trigo no Brasil com emprego de Lógica Fuzzy na simulação da produtividade. **Salão do Conhecimento**. 2016.

- Mantelli, M. E.; Battiston, J.; Klein, C. (2021). Níveis nutricionais e produção de matéria seca de brachiaria ruziziensis e brachiaria brizantha cv. marandu implantadas na região oeste de santa catarina. **Anuário Pesquisa E Extensão Unoesc São Miguel Do Oeste**, 6, e 29614, 2021.
- Martha, G.B. JR.; Vilela, D.; Sousa, D.M.G. Cerrado: Uso Eficiente de Corretivos e Fertilizantes em Pastagens. Embrapa Cerrados; Planaltina, DF, Brasil: 224p, 2007.
- Menezes Filho, A. C. P.; Castro, C. F. S. Análise morfológica foliar de Anacardium humile A. St. –Hil. (Anacardiaceae). *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 1, 480-485, 2020.
- Mendonça, T. G.; Urbano, V. R.; Peres, J. G.; Souza, C. F. Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 2, n . 2, p . 87-92, 2013.
- Morais, S.L.; Silveira, M.C.; Trentin, G.; Köpp, M.M.; Lemos, J.M. Avaliação das características morfológicas e estruturais de espécies forrageiras nativas do Sul do Brasil submetidas a diferentes condições hídricas. Embrapa Pecuária Sul: [s.l.: s.n.], 2012.
- Muller, M. D. S.; Fancelli, A. L.; Dourado-Neto, D.; García Y.G, A.; López Ovejero, R. F. Productivity of Panicum maximum cv. mombaça under rotational grazing and irrigation. **Scientia Agricola**, v, 59, n, 3, p. 427-433, 2002.
- Navroski, M.; Araujo, M. M.; Reiniger, L. R. S.; Muniz, M. F. B.; Pereira, M. O. Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de Eucalyptus dunnii. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 315-328, 2014.
- Oliveira, C.R.M.; Farias, P.M.; Oliveira, D.D.S.C. Irrigation with Controlled Water Stress and its Effects in 'Navelate'orange plants/Irrigação com estresse hídrico controlado e seus efeitos em laranjeiras' Navelate. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 4770-4780, 2020.
- Peixoto, M. J. A.; Carneiro, M. D. S.; Amorim, D. S.; Edvan, R. L.; Pereira, E. S.; Costa, M. R. G. F. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de zootecnia**, v. 67, n.257, p. 35-39, 2018.
- Pereira, V. V. A importância das características morfológicas sobre o fluxo de tecidos no manejo de pastagens tropicais. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 289–309, 2013.
- Pezzopane, J.; Santos, P.; Bosl, C.; Cruz, P.; Barioni J. W.; Guimarães, J. Efeito da irrigação na produção do capim-mombaça: relação com variáveis do balanço hídrico. In Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 48.O Desenvolvimento da produção animal e a responsabilidade frente a novos desafios-anais: SBZ: UFRA, n. 48, 2011.
- Pompeu, R.C.F.F.; Souza, H.A.; Guedes, F.L. Opções e estabelecimento de plantas forrageiras cultivadas para o semiárido brasileiro. (2015). Embrapa, Sobral.
- Raj B.V. 1991. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Ceres. p.343.

Rosolem, C.A.; Vicentini J.P.T.M.M.; Steiner, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo vermelho do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 36, 5, pp. 1507-1515, 2012.

Salton, C.J.; Tomazi, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Embrapa, Comunicado Técnico p. 198, 2014.

Santos, T. M.; Silva, J. F. B.; Dias, A. C.; Carvalho, I. F.; Martinez, R. A. S. Uso De Polímero Hidroretentor E Azospirillum Brasiliense Na Produção De Milho Safrinha Em Tangará Da Serra-Mt, 2020.

Scremin, O. B. et al. Eficiência do nitrogênio na produtividade da aveia pelo biopolímero hidrogel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 6, p. 379-385, 2017.

Silva, I.; Raliuson, J.; Maniçoba, A.; Barroso, J. N.; Leite, M. L.; Imbrois, T.V. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 11, n. 3, 2018.

Silveira-Junior, O.; Santos, A. C.; Rocha, J. M. L.; Ferreira, C. L.S.; Oliveira, L. B. T.; Rodrigues, M. O. D. Implantação de pastagens sob sistema monocultivo e integrado com lavoura utilizando biofertilizante de cama de aviário como adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v.16, n.3, p.499-512, jul./set. 2015.

Silva, S. C.; Sbrissia, A. F.; Pereira, L. E. T. Ecophysiology of C4 forage grasses- understanding plant growth for optimizing their use and management. *Agriculture*, 5(3), 598 – 625, 2015.

Silva, R. C. D. da.; Junior, G. S. da S.; Silva, C. dos S.; Santos, C.T. dos.; Pelá, A. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Scientia agraria**, 1983-2443, Vol. 18, Nº. 4, págs. 155-165, 2017.

Silva, F. C. DA S., ed. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Vol. 627. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

Silva, D. J.; Queiroz, A. C. *Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos.* 3th ed. (Viçosa: Universidade Federal de Viçosa), 2002.

Silva E.A., Silva W.J., Barreto A.C., Oliveira Junior A.B., Paes, J.M.V, Ruas J.R.M., Queiroz D.S. 2012. Chemical composition and photosynthetically active radiation of forage grasses under irrigation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41: 583–591, 2012.

Souza, J. M. T., Araújo, A. R., Carvalho, A. M. A., Amorim, A. G. N., Daboit, T. C., Leite, J. R. S. A., Silva, D. A. & Eaton, P. Sustainably Produced Cashew Gum-Capped Zinc Oxide Nanoparticles Show Antifungal Activity Against Candida Parapsilosis. **Journal Of Cleaner Production**, 247, 2020.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos de análises de solos**. 3a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 573, 2017.

Yonezawa, U. G.; Moura, M. R.; Aouada, F. A. Estado da arte: um estudo sobre polímeros biodegradáveis na germinação e desenvolvimento de plantas. **Caderno De Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p69-78. 2017.

Werner, J.C.; Paulino, V.T.; Cantarella, H.; Andrade, N. de O.; Quaggio, J.A. Forrageiras. In. Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. (ed.) **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 285p. (B. Técnico, 100),1996.

### CAPITULO III- USO DO HIDROGEL À BASE DA GOMA DO CAJUEIRO EM GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRAS

**RESUMO:** Os hidrogéis são materiais capazes de absorver grande quantidade de água e liberar-la de forma gradual para as plantas, assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o uso do hidrogel teste (HT) da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*) sob o crescimento, composição química e mineral em genótipo de palma forrageira em comparação ao hidrogel comercial (HC) a base de poliácridamida e sob doses. Foi realizado dois ensaios simultâneos em casa de vegetação. O primeiro ensaio, foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial ( $3 \times 3$ ) sendo três genótipos de palma forrageira: Doce (*Nopalea cochenillifera*), Gigante (*Opuntia ficus-indica*) e Orelha de Elefante (*Opuntia stricta*) e três formas de hidratação da planta: Sem Hidrogel-SH, Hidrogel Teste-HT e Hidrogel Comercial-HC, com quatro repetições. O segundo ensaio, foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, sendo avaliado quatro níveis de HT: 0 kg, 10 kg, 20 kg e 40 kg ha<sup>-1</sup> no genótipo Doce, com quatro repetições. À campo, realizou-se o terceiro ensaio, em delineamento em blocos casualizados no capim-Mombaça em cinco blocos e três tratamentos: SH, HT e HC. Realizou-se avaliações morfométrias para caracterização de crescimento das plantas, determinação da biomassa seca do cladódio e da raiz, composição química e composição mineral das plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias pelo teste de Snott-Knott, a um nível de 5% de probabilidade. Houve efeito dos hidrogéis e os genótipos avaliados para Área do Cladódio, Altura da Planta, Biomassa Seca de Cladódio e Biomassa Seca de Raiz, sendo a palma da variedade Orelha de Elefante com valores superiores aos demais genótipos. Já para BSR, o genótipo Gigante, mostrou em seus resultados valores na média de 19,7 g planta<sup>-1</sup>, seguida do genótipo Orelha de Elefante com 13,8 g planta<sup>-1</sup> e a palma Doce com 3,0 g planta<sup>-1</sup>. Na composição química, observou-se efeito no teor de Matéria Seca e Proteína Bruta nas variedades de palmas e as formas de hidratação. Para a o macronutriente Ca, o genótipo Orelha de Elefante apresentou interação com o uso do hidrogel teste com 45,9 g kg<sup>-1</sup>, assim como a palma Doce, chegando a valores de 183,2 g kg<sup>-1</sup> de Ca. Observou-se efeito do micronutriente Cu no genótipo Orelha de Elefante sem hidrogel, e para o genótipo Gigante com uso de hidrogel comercial. Para o teor de MS, houve efeitos entre as espécies avaliadas, no qual a palma Doce apresentou média de 96,5 g kg<sup>-1</sup> de MS. Em relação as doses, a palma Doce, apresentou efeito linear crescente nas variáveis AC, BSC e BSR. Na composição química, observou-se aumento no teor de PB na variedade Doce à medida que o se aumentava a dosagem de hidrogel. Houve efeito na composição mineral da palma Doce sob doses de hidrogel a base de fibra natural da resina do cajueiro para Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn. A palma Doce avaliada em campo, apresentou NF de 7,86 com uso do HC e BSC de 15,29 g planta<sup>-1</sup> com HT. Apresentou MS com uso do HT de 14,61 g kg<sup>-1</sup>. Houve influencia dos hidrogéis nas nutrientes apenas para o Zn com 43,94 mg kg<sup>-1</sup>. O teor de Ca, Mg, K e Cu reduziram com os hidrogéis. O uso de hidrogel comercial à base de poliácridamida e hidrogel da goma do cajueiro proporcionou maior crescimento e composição química nos genótipos Gigante, Orelha de Elefante e Doce. O hidrogel natural da goma do cajueiro apresenta melhor desempenho para as características de crescimento, produção, composição química e mineral na palma, que o hidrogel a base de polímeros compostos por poliácridamida.

**Palavras-chave:** cactáceas, irrigação, *Nopalea cochenillifera*, *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia stricta*, polímeros.

## 1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Nopalea* sp. e *Opuntia* sp.), faz parte dos poucos alimentos disponíveis para o fornecimento aos animais nas propriedades agrícolas do Nordeste, se destaca por sua versatilidade, variedades de espécies e adaptabilidade. No entanto, por ser comum apresentar extensos períodos de estiagens, a água se torna um fator limitante para o desenvolvimento e produtividade das plantas. Desta forma, se faz necessário ao manejo da cultura à inserção de técnicas que viabilizem o aproveitamento de água da chuva ou que contribua com a redução do uso da irrigação na região e o uso do hidrogel agrícola é uma alternativa (Nascimento et al., 2020).

Os hidrogéis sintéticos compostos por poliacrilamida, funcionam como retentores, capazes de absorver e liberar de forma controlada/lenta grandes quantidades de água com eficiência para as plantas (Singh et al., 2021). No setor agrícola e silvicultura, tem apresentado resultados satisfatórios, principalmente em locais onde predominam solos arenosos e clima seco (Adbala, 2019), por ser uma alternativa para minimizar problemas vinculados à deficiência hídrica.

Os hidrogéis biodegradáveis ou híbridos, surgem como alternativa sustentável para sanar o problema da não biodegradabilidade dos polímeros sintéticos (Palmese et al., 2019; Madduma-Bandarage e Madihally, 2020). Estão sendo utilizados uma variedade de hidrogéis de origem natural, como: quitosana, amido, amido modificado, goma xantana, proteínas, fibras, extratos, óleos essenciais, óleos fixos, óleos resinas, agarose e goma do cajueiro, etc., e sintéticos, por exemplo, poli(ácido acrílico), poliacrilamida e poli(2-hidroxietil metacrilato) (Sarmah e Karak, 2019; Peppas et al., 2019; Menezes et al., 2019; Menezes Filho et al., 2020; Menezes Filho et al., 2021).

O *Anacardium occidentale* Linn, popularmente conhecida como cajueiro, é uma planta nativa do nordeste brasileiro, que possui potencial econômico e medicinal (Silva et al., 2018; Barros et al., 2020). Naturalmente, como resposta a ataques externos ou por meio de incisões periódicas, essa planta libera o exsudado ou resina, de onde é isolado o polissacarídeo (Castro, 2020), e através da técnica de copolimerização e outros processos físicos e químicos, como a grafitização é produzido o hidrogel.

O cultivo da palma com uso do hidrogel poderá melhorar seu potencial produtivo e melhorar o sistema de produção pecuário das regiões áridas e semiáridas. Assim, hipotetizamos que o hidrogel produzido a partir da fibra natural oriunda da resina do Cajueiro

(*Anacardium occidentale*) pode apresentar potencial na redução do uso de polímeros sintéticos, devido a uma série de vantagens, como: fácil obtenção, custo relativamente barato, facilidade para utilização na agricultura, propriedades de gelatinizantes, além de apresentar características biodegradáveis, e diminuição de riscos de contaminação ambiental. A fibra natural do cajueiro é uma resina que apresenta alto potencial, podendo gerar um novo subproduto da cajucultura, com potencial econômico (Lima e Maia, 2013)

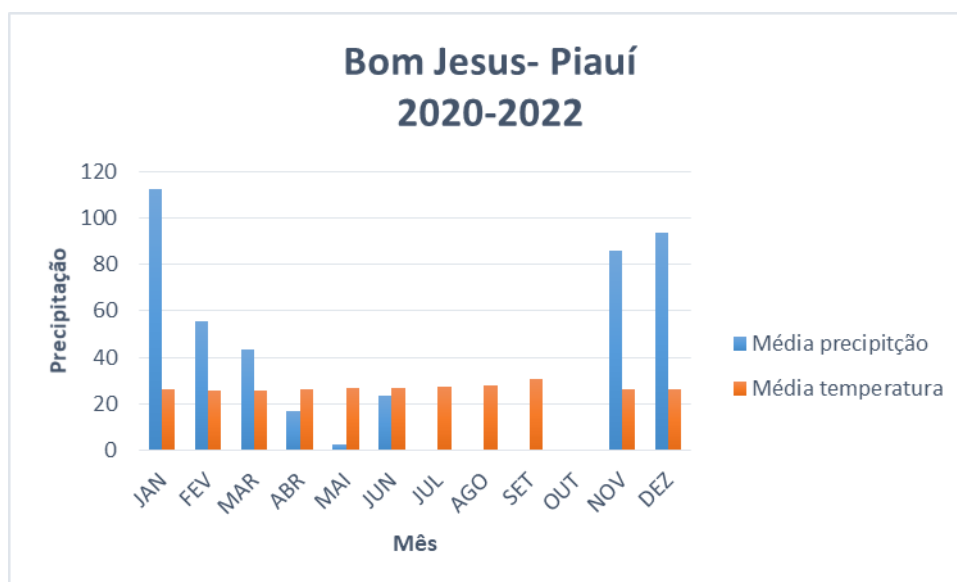
O objetivo desse estudo foi avaliar características de crescimento, produção, composição química e mineral de três genótipos de palma Doce (*Nopalea cochenillifera*), Gigante (*Opuntia ficus-indica*) e Orelha de Elefante (*Opuntia stricta*), hidratada com hidrogel produzido a base da Goma de Cajueiro *Anacardium occidentale*, como fonte hídrica de liberação lenta em comparação ao uso do hidrogel compostos por poliacrilamida, e sob diferentes doses.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização

O ensaio foi conduzido na Universidade Federal do Piauí, campos Professora Cinobelina Elvans- UFPI/CPCE, no município de Bom Jesus, Piauí, Brasil, com coordenadas geográficas 09°04'28'' de latitude Sul, 44°21'31'' de longitude Oeste e com altitude média de 277m.

O clima é do tipo Aw (com tropical quente e úmido, com estações secas de primavera a verão e chuvosa de outono a inverno) segundo o modelo da classificação de Köppen. A vegetação da região é o Cerrado, equivalente à savana brasileira (Costa-Coutinho et al., 2019).



**Figura 1.** Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura dos anos de 2020 a 2022 no município de Bom Jesus-Piauí.

### 2.2 Delineamento

Foram realizados dois ensaios simultâneos (primeiro e segundo ensaio) em vasos em casa de de vegetação no período de setembro de 2020 a março de 2021, e o terceiro ensaio no campo agroestológico de julho de 2021 a julho de 2022. O primeiro ensaio foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (3 x 3) sendo o primeiro fator constituído por três genótipos de palma forrageira: Doce (*Nopalea cochenillifera*), Gigante (*Opuntia ficus-indica*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) e o segundo fator constituído por três formas de hidratação das plantas: sem hidratação-Sem Hidrogel (SH), onde não houve adição de hidrogel no vaso e dois tipos de

hidratação do solo e dois tipos de hidratação do solo, com Hidrogel Teste (HT) a base da goma do Cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e o Hidrogel Comercial (HC) a base de poliacrilamida, ambos com as doses de 20kg ha<sup>-1</sup>, com quatro repetições. O segundo ensaio foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo avaliado quatro doses do HT (0kg, 10kg, 20kg e 40kg ha<sup>-1</sup>), com com quatro repetições, apenas da palma variedade Doce. E o terceiro ensaio foi realizado em palmar de palma Doce, utilizando um delinematado em blocos casualizados com cinco repetições e três tratamentos: SH, HT e HC.

### 2.3 Hidrogéis utilizados

O hidrogel teste (HT) a base de resina do Cajueiro (*Anacardium occidentale*), foi produzido através do processo de copolimerização e adicionado de nutrientes. Em cada grama do HT continha 0,5% de  $K_3 PO_4$ , sendo 67% de K e 33% de P. O HT possui capacidade de intumescimento de 1100 g de H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> de hidrogel, com estabilidade térmica na temperatura de 439 °C e não tóxico. O HT foi produzido na Universidade Federal do Piauí- UFPI, laboratório de ciência dos materiais.

**Tabela 1.** Características físico-químicas do hidrogel à base da goma do cajueiro

Hidrogel teste <sup>1</sup>	
Características físicas e químicas	
Iônica	Aniônico
Cor	Amarelada
Forma	Sólido granulado
Ingrediente	Goma do exudato do cajueiro reticulado com poliacrilamida

<sup>1</sup>Fibra natural da goma de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.).

O hidrogel comercial (HC) utilizado foi a base de copolímero de acrilamida e acrilato de potássio, da marca Hydroplan-EB (SAP)<sup>®</sup>, produto comercializado. Ambos os hidrogéis foram aplicados no solo para o plantio, já hidratados com equivalente a 400 litros para cada kg de hidrogel, com doses de 20 kg ha<sup>-1</sup> seguindo a recomendação do hidrogel comercial.

## 2.4 Unidades experimentais

Nos dois primeiros experimentos as unidades experimentais constituíram de 36 vasos, com 27x27x23 cm de tamanho, preenchidos com 9 dm<sup>3</sup>. Os vasos foram dispostos aleatoriamente em bancadas considerando a premissa da casualização, contidos de solo tipo Latossolos vermelho-amarelo distróficos associados a areias quartzosas (Raij et al., 1991), com caracterização física arenosa (argila: 220; silte: 50 e areia: 720 g kg<sup>-1</sup>). No início do experimento, foi realizada a coleta do solo utilizado no preenchimento dos vasos, a uma profundidade de 0 - 0,20 m em área de mata nativa de cerrado do Brasil nas proximidades no CPCE/UFPI. Após a coleta, o solo foi seco e peneirado em malha metálica de 2 mm de diâmetro para a retirada de impurezas e uma amostra deste solo foi retirada para análise físico-química seguindo a metodologia de (Teixeira et al., 2017).

A correção da acidez e adubação do solo foi feita de acordo com a análise química do solo que apresentou as seguintes características químicas: 5,2 pH em água; 8,37 mg/dm<sup>3</sup> de fósforo (P); 0,05 mg/dm<sup>3</sup> de potássio (K); 1,20 cmolc/dm<sup>3</sup> cálcio (Ca); 0,08 cmolc/dm<sup>3</sup> magnésio (Mg); <0,50 cmolc/dm<sup>3</sup> alumínio (Al); 2,30 cmolc/dm<sup>3</sup> hidrogênio + alumínio (H + Al); 1,33 cmolc/dm<sup>3</sup> soma de bases (SB); 3,63 cmolc/dm<sup>3</sup> CTC a pH 7,0 (T); 36,6% de saturação de base (V); e 27,3% de saturação por alumínio (M).

A correção da acidez do solo foi feita com a aplicação de uma dose equivalente a 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico Filler (PRNT 92%), sendo calculado para elevar a saturação por bases para 45%. Para correção dos níveis de potássio foi utilizado cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) como fonte de potássio, aplicando-se o equivalente a 40 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. E para correção dos níveis de fósforo foi utilizado como fonte o superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicando o equivalente a 90 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Além disso, foram aplicados o equivalente a 100 kg de N ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de ureia (45% de N). Todas as correções e adubações do solo seguiram recomendações de Martha Jr et al. (2007). Os adubos foram diluídos em água e aplicados separadamente no solo, também foi realizada a correção de K e P, para os tratamentos com hidrogel comercial e sem hidrogel, conforme descrito anteriormente.

Os cladódios de palma utilizados no plantio nos vasos foram colhidos no Campo Agroestológico da Universidade Federal do Piauí (UFPI) na cidade de Bom Jesus, Piauí, Brasil. Os cladódios tinham aparência saudável, de cor verde escuro, aspecto vigoroso e livre de pragas e doenças, e com idades e pesos semelhantes de acordo com cada genótipo, não sendo utilizado cladódios nem muito jovens e nem muito velhos. Após a seleção,

permaneceram em local sombreado para a cicatrização e passados 10 dias após a colheita foram plantados nas unidades experimentais (vasos).

No momento do plantio foi realizada aplicação dos hidrogéis de acordo com os tratamentos, no primeiro ensaio foi aplicado o equivalente a 20 kg dos hidrogéis teste e comercial por hectare. No segundo ensaio (doses), o HT recebeu hidratação na proporção ideal de acordo com a recomendação do hidrogel comercial para as doses 0kg, 10kg, 20kg e 40kg ha<sup>-1</sup>, ambos foram previamente hidratados com água e colocados no fundo de cada vaso.



**Figura 2.** Aplicação dos hidrogéis nos respectivos tratamentos

Realizou-se o terceiro ensaio no campo agrostológico da UFPI/CPCE, durante período de avaliação de um ano. Foi utilizado o palmeira da palma Doce, com idade de cinco anos de estabelecimento. A princípio efetuou-se o corte de uniformização, respeitando os cladódios matriz e primário e logo em seguida houve posterior aplicação dos hidrogéis (HC e HT) na base das palmas, ambos pré-hidratados seguindo a dose recomendada de 20 kg ha<sup>-1</sup>.

## **2.5 Avaliação de crescimento e produção dos genótipos de palma**

Após 180 dias do plantio das palmas nos vasos, as plantas e os cladódios foram avaliados quanto às características morfométricas do cladódio e da planta, e as características de produção, seguindo a metodologia descrita por Edvan e Carneiro (2019). Realizou-se as seguintes avaliações morfométricas para caracterização de crescimento das plantas: número de cladódios, (obtido pela contagem dos cladódios), altura da planta, (medida com fita métrica da

superfície do solo ao ápice do cladódio mais alto). O comprimento (parte horizontal) e largura (parte vertical) dos cladódios realizados na região central dos cladódios com auxílio de fita métrica (100 cm) e com os dados de comprimento e largura, calculou-se a área de cladódio (AC) da planta através da equação  $AC = \text{comprimento} \times \text{largura} \times 0,632$ , conforme descrita por Cortázar e Nobel (1991).



**Figura 3.** Avaliação de morfometria das palmas.

Para a determinação da Biomassa Verde do Cladódio por vaso, as plantas de palma foram colhidas através de corte rente a solo com auxílio de facão (Tramontina®, 10 polegadas em aço inox). Os materiais colhidos foram pesados no campo com auxílio de uma balança xxxxx, e em seguida, uma amostra com cerca de 500 g da biomassa verde foi retirada para realização das análises laboratoriais. Para a determinação da Biomassa pré-seca, as amostras verdes foram picadas, pesadas e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C até peso constante (Método INCT-CA G-003/1). Logo em seguida as amostras secas foram pesadas para determinação da Biomassa Seca de Cladódio-BSC (g vaso<sup>1</sup>).



**Figura 4.** Corte para avaliação de produção.

De cada vaso, também foram coletadas as raízes, que foram lavadas com água corrente para separação do solo contido em cada vaso, enxugadas com papel toalha, acondicionadas em sacos de papéis, pesadas obtendo assim a Biomassa Fresca e por fim levadas à estufa de ventilação forçada para a secagem do material, na temperatura entre 55 e 65°C até peso constante. Posteriormente, o material foi pesado em balança de precisão para obtenção dos descritores: Biomassa Seca de Raiz-BSR ( $\text{g vaso}^{-1}$ ).



**Figura 5.** Limpeza das raízes para avaliação de produção.

## 2.6 Análises da composição química e mineral dos genótipos de palma

Após a pré-secagem, as amostras da biomassa seca de cada tratamento, foram trituradas em moinho de facas estacionário “Thomas Wiley”, com peneira de malha de 1,0 mm, para realização das análises químicas laboratoriais. As análises de composição química foram feitas conforme prossegue: determinação da matéria seca (MS) à 105°C (Método INCT-CA G-003/1), proteína bruta (PB) (Método INCT-CA N-001/1), matéria mineral (MM) (Método INCT-CA M-001/1), fibra em detergente neutro (FDN) (Método INCT-CA F-002/1), fibra em detergente ácido (FDA) e matéria orgânica (MO) utilizou-se as metodologias descritas por Detmann et al. (2012), todas as análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da UFPI.

As análises de macro e micronutrientes foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo e Planta, da UFPI/Campus de Cinobelina Elvans. Foram determinados os seguintes teores de minerais: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), expresso em  $\text{g kg}^{-1}$ ; ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu), expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$ . Foi realizado a digestão nítrico-perclórica, após a digestão foi determinado o teor de fósforo (P) por espectrofotometria UV/VIS a 660nm, por meio de leitura de intensidade da cor azul do complexo fosfomolibdico produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico em

espectrofotômetro modelo IL-592 EVEN<sup>®</sup>. Já os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), modelo AA240FS VARIAN<sup>®</sup>. A metodologia utilizada para análise dos nutrientes nas plantas, seguiram os padrões sugeridos por Silva (2009).

## 2.7 Análises estatísticas

Os dados foram analisados para análise de variância e interação (Genótipo de palma × Hidrogel), quando significativo para interação foi realizado o desdobramento dos dados dos fatores utilizando o teste de Scott-Knott para a comparação das médias e para análise das doses de HT (0, 10, 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup>) foi realizado regressão. Todas as análises foram realizadas considerando significativas para p-valor de ≤0,05. As análises estatísticas foram realizadas com o emprego do programa SISVAR versão 5.0 (Ferreira, 2011).

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Primeiro ensaio

#### 3.1.1 Crescimento e produção

Houve interação ( $P < 0,05$ ) entre os genótipos das palmas e as três formas de hidratação da planta para área do cladódio (AC), altura da planta (AP) e biomassa seca de cladódios (BSC). Houve efeito isolado das hidratações e genótipos para biomassa seca de raiz (BSR). Não houve efeito para a variável número de cladódios (Tabela 2).

Foi observado maior AC no genótipo Orelha de Elefante (OE), quando cultivado com hidrogel comercial (HC) e hidrogel teste (HT), com 153,7 e 195,1 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo que em todas as palmas avaliadas, a AC foi maior nas plantas com o uso do HT. O genótipo Doce apresentou menor AC em todas as formas de hidratação, principalmente quando cultivado sem adição dos polímeros, com mínima de 24,4 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>.



**Figura 6.** Comparação das três formas de hidratação das palmas cultivadas em vasos.

**Tabela 2.** Características de crescimento e produção de genótipos de palma forrageira sob três formas de hidratação

Hidrogel	Genótipos de Palma (GP)			Média	EPM	P - Valor		
	OE	Gigante	Doce			H	GP	H×GP
Número de Cladódio								
Sem	1,00	1,00	1,50	1,16	0,13	0,35	0,10	0,13
Comercial	1,00	1,25	2,00	1,41				
Teste	1,25	1,25	1,00	1,16				
Média	1,08	1,16	1,50					
Área do Cladódio (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )								
Sem	46,0aB	65,3aB	24,4aC	45,2	6,58	<0,01	<0,01	<0,01
Comercial	153,7aA	122,7aA	37,7bB	104,7				
Teste	195,1aA	139,5bA	44,7cA	126,4				
Média	131,6	109,1	35,6					
Altura da Planta (cm)								
Sem	40,3aA	35,1aA	23,0bB	33,1	1,33	0,09	<0,01	0,01
Comercial	35,7aA	39,2aA	25,5bA	33,5				
Teste	39,3bA	48,7aA	23,0cB	37,0				
Média	38,4	41,0	24,1					
Biomassa Seca de Cladódio (g planta <sup>-1</sup> )								
Sem	92,2aB	60,6bA	39,0bA	64,2	5,46	0,30	<0,01	0,02
Comercial	84,0aB	84,6aA	60,1aA	72,0				
Teste	118,2aA	60,6bA	30,0cA	76,3				
Média	98,1	71,1	43,3					
Biomassa Seca de Raiz (g planta <sup>-1</sup> )								
Sem	9,0	14,3	1,87	8,4B	1,51	0,01	<0,01	0,43
Comercial	13,3	22,1	3,84	13,1A				
Teste	19,3	22,6	3,57	15,1A				
Média	13,8b	19,7a	3,0c					

OE: Orelha de Elefante (*Opuntia stricta*); Gigante (*Opuntia ficus-indica*); Doce (*Nopalea cochenillifera*); H: Hidrogel; GP: genótipo. EPM: Erro Padrão Médio. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de P<0,05 para o genótipo de palma (GP). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de P<0,05 para uso do hidrogel (H).

Observou-se maior AP no genótipo Gigante com 48,7 cm, quando hidratado com HT (Tabela 2). O uso do HC proporcionou maior AP quando comparado com o tratamento sem hidrogel nesse genótipo, com 39,2 cm para HC e 35,1 SH. Para BSC, a palma Orelha de Elefante apresentou 118,2 g planta<sup>-1</sup> no tratamento com HT, valor superior em relação aos demais genótipos. Foi observado resultados relevantes nas palmas OE e Gigante com uso do HC, com 84,0 e 84,6 g planta<sup>-1</sup> respectivamente. Em relação a BSR, o genótipo Gigante, mostrou resultados superiores que a OE e Doce, atingindo média de 19,7 g planta<sup>-1</sup>, seguida

do genótipo Orelha de Elefante com 13,8 g planta<sup>-1</sup> e a palma Doce com 3,0 g planta<sup>-1</sup>, com maiores valores quando utilizado o hidrogel (Tabela 2).

### 3.1.2 Composição química e de minerais

Não houve interação ( $P>0,05$ ) entre as formas de hidratação e os genótipos de palma na composição química (Tabela 3). Observou-se efeito isolado nas formas de hidratação no teor de proteína bruta (PB). Houve efeito isolado entre os genótipos avaliados para o teor de matéria seca (MS). Para o teor de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e cinzas não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) para os diferentes genótipos e hidratação da planta.

**Tabela 3.** Composição química de genótipos de palma forrageira, sob três formas de hidratação

Hidrogel	Genótipos de Palma (GP)				EPM	<i>P</i> - Valor		
	OE	Gigante	Doce	Média		H	GP	H×GP
Matéria Seca (g kg <sup>-1</sup> )								
Sem	93,1	85,7	94,8	91,2	0,25	0,34	0,04	0,31
Comercial	77,7	89,1	95,6	87,5				
Teste	93,1	92,7	99,2	92,9				
Média	85,9b	89,1b	96,5a					
Proteína Bruta (g kg <sup>-1</sup> MS)								
Sem	35,1	41,8	39,5	38,8B	0,16	0,01	0,09	0,17
Comercial	45,0	37,9	48,1	43,6B				
Teste	46,4	43,4	52,1	47,3A				
Média	42,1	41,0	46,5					
Fibra em Detergente Neutro (g kg <sup>-1</sup> MS)								
Sem	249,2	250,7	241,9	250,1	0,60	0,61	0,11	0,94
Comercial	246,1	264,1	241,3	250,5				
Teste	247,8	250,7	229,5	242,8				
Média	247,7	258,0	237,7					
Fibra em Detergente Ácido (g kg <sup>-1</sup> MS)								
Sem	166,1	177,9	181,4	175,1	0,42	0,29	0,31	0,37
Comercial	171,6	177,2	174,3	174,3				
Teste	167,7	154,0	176,5	166,1				
Média	168,5	169,7	177,4					
Cinzas (g kg <sup>-1</sup> MS)								
Sem	28,5	27,2	22,1	25,9	0,27	0,69	0,98	0,64
Comercial	25,7	30,0	29,8	28,5				
Teste	30,3	25,2	31,8	29,1				
Média	28,2	27,9	27,4					

OE: Orelha de Elefante. EPM: Erro Padrão da Média. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de  $P<0,05$  para os Genótipos de Palma Forrageira (GP) uso do hidrogel (H). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de  $P<0,05$  para uso do hidrogel (H).



Comercial	1,4bB	2,3aA	1,4bA	1,7				
Teste	0,9aC	1,0aB	0,7aB	0,9				
Média	1,5	1,4	1,0					
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )								
Sem	52,5aB	3,8cB	4,2bA	20,3	0,008	<0,01	<0,01	<0,01
Comercial	118,5aA	4,3bB	3,2cB	42,0				
Teste	23,4bC	35,0aA	3,2cB	20,5				
Média	64,8	14,4	3,6					
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )								
Sem	31,1aA	29,6bA	20,4cA	27,0	0,005	<0,01	<0,01	<0,01
Comercial	11,6bB	17,6aB	11,8bB	13,7				
Teste	0,9aC	1,0bC	0,7cC	0,8				
Média	25,4	22,9	14,4					
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )								
Sem	14,2cA	26,5aA	25,7bA	22,1	0,002	<0,01	<0,01	<0,01
Comercial	0,7cC	20,5aB	9,4bC	10,2				
Teste	3,7cB	4,7bC	22,4aB	10,3				
Média	6,2	17,2	19,2					

OE: Orelha de Elefante. EPM: Erro Padrão da Média. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de  $P < 0,05$  para os Genótipos de Palma Forrageira (GP). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de  $P < 0,05$  para uso do hidrogel (H).

Para o Mg, observou-se maior valor para genótipo Doce e o uso do HC com 54,2 mg kg<sup>-1</sup>, essa palma também obteve os maiores acúmulos sem o uso do hidrogel e com o HT. A palma Gigante apresentou maiores teores de Mg sem a adição de hidrogel, no entanto, quando hidratada com HT, essa variedade apresentou acúmulo de 3,4 mg kg<sup>-1</sup>, menor em relação as demais (Tabela 4).

Em relação ao P, observou-se maior teor na variedade OE quando hidratada com o HT com 179,8 mg kg<sup>-1</sup>, no entanto, o valor quando utilizado o HC nesse genótipo foi o menor dentre todas as demais. A palma gigante apresentou valores semelhantes quando utilizado o HC e HT, com 81,5 e 81,2 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente. O genótipo Doce apresentou 133,0 mg kg<sup>-1</sup> sem uso de hidratação e menor acúmulo de P quando hidratado pelo HT (Tabela 4). O K apresentou maior valor de 555,5 mg kg<sup>-1</sup> na variedade Doce sem uso de hidratação e menor valor com o uso do HT. Já a palma Gigante obteve 432,0 mg kg<sup>-1</sup> e a OE 352,4 mg kg<sup>-1</sup> quando hidratada com HT, esses valores foram acima dos encontrados sem uso de hidrogéis e com HC em ambos os genótipos (Tabela 4).

Houve interação ( $P < 0,05$ ) entre as formas de hidratação e genótipos de palmas para os micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn. Observou-se maior acúmulo de Cu no genótipo Gigante com uso de HC com 2,3 mg kg<sup>-1</sup>. A palma Orelha de Elefante apresentou maior teor, no

tratamento sem hidrogel com 2,2 mg kg<sup>-1</sup>, no entanto a palma Doce apresentou o valor semelhante a OE quando hidratada com o HC, ambas com 1,4 mg kg<sup>-1</sup>. Os valores os três genótipos avaliados foram menores com uso do HT em relação aos demais hidratações (Tabela 4).

Para os teores de Mn, a palma Orelha de Elefante com o uso do hidrogel sintético apresentou 118,5 mg kg<sup>-1</sup>, maior valor. A palma Gigante quando adicionado ao hidrogel de fibra natural apresentou acúmulo de 35,0 mg kg<sup>-1</sup>, superior em relação as demais formas de hidratação nesse genótipo, enquanto a palma Doce obteve os menores teores em todas as hidratações.

Em relação aos teores de Fe, foi observado maiores concentrações na palma Orelha de Elefante com 31,1 mg/kg sem a adição de nenhum dos hidrogéis testados. O genótipo Gigante e Doce também apresentou maior teor no tratamento sem hidrogéis, porém, quando hidratada com HC a palma Gigante atingiu 17,5 mg kg<sup>-1</sup> e com HT 1,0 mg kg<sup>-1</sup>. Foi observado maior teor de Zn no tratamento sem hidrogéis, com maior acúmulo na palma Gigante com 26,5 mg kg<sup>-1</sup>, seguida da Doce com 25,7 mg kg<sup>-1</sup>. Observou-se menor teor quando o genótipo OE recebeu hidratação do HC e HT com 0,7 e 3,7 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 4).

## 3.2. Segundo ensaio

### 3.2.1 Crescimento e produção

Houve efeito ( $P < 0,05$ ) linear crescente entre as doses de HT para o genótipo Doce nas características de crescimento AC, BSC e BSR. Não houve efeito para NC e AP entre as doses do hidrogel (Tabela 5).

**Tabela 5.** Efeito de doses de hidrogel à base da goma do cajueiro sob as características de crescimento e produção da palma Doce

Variáveis	Dose hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )				P-valor		Equação	R <sup>2</sup>
	0	10	20	40	x	x <sup>2</sup>		
NC	1,75	2,00	1,50	1,75	0,90	0,90	-	-
AC (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )	36,1	41,4	46,7	57,3	0,01	0,09	y=36,1640+0,5298x	70,66
AP (cm)	23,8	25,6	23,0	24,0	0,71	0,97	-	-
BSC (g planta <sup>-1</sup> )	24,4	32,9	35,0	46,4	<0,01	0,79	y=25,5265+0,5242x	97,23

BSR (g planta<sup>-1</sup>) 1,57 2,99 3,57 7,76 <0,01 0,54  $y=1,3040+0,1526x$  96,07

NC: Número de Cladódio. AC: Área do Cladódio. AP: Altura da Planta. BSC: Biomassa Seca de Cladódio. BSR: Biomassa Seca de Raiz.  $x$ :  $P<0,05$ , efeito linear.  $x^2$ :  $P<0,05$ , efeito quadrático.

A maior AC, foi obtida quando a palma Doce foi submetida ao HT com 40 kg ha<sup>-1</sup>, com 57,3 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>. A BSC e BSR apresentou efeito crescente de acordo com o aumento das doses, na maior dose de hidrogel a BSC quase chega a atingir duas vezes o valor que o tratamento sem hidrogel (Tabela 5).

### 3.2.2 Composição química e de minerais

Na avaliação da composição química houve efeito linear ( $P<0,05$ ) para o aumento das doses de HT na palma forrageira Doce, apenas para o teor de proteína bruta (PB). Os valores de PB aumentaram com a elevação das doses do hidrogel no cultivo da palma Doce, atingindo 48,0 g kg<sup>-1</sup> MS na dose 40 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 6).

Não houve efeito ( $P>0,05$ ) para matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e Cinzas. Foram observados valores médios para MS, FDN, FDA e cinzas foram de 95,8 g kg<sup>-1</sup>, 242,8 g kg<sup>-1</sup> MS, 174,0 g kg<sup>-1</sup> MS, 25,6 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente (Tabela 6).

**Tabela 6.** Composição química da palma Doce, sob doses do hidrogel à base da goma do cajueiro

Variáveis	Dose hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )				P-valor		Equação	R <sup>2</sup>
	0	10	20	40	$x$	$x^2$		
MS (g kg <sup>-1</sup> )	99,4	94,8	99,2	89,8	0,85	0,39	-	-
PB (g kg <sup>-1</sup> MS)	40,3	42,2	44,2	48,0	0,03	0,07	$y=4,038+0,019x$	50,9
FDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	228,0	236,0	244,0	261,0	0,12	0,75	-	-
FDA (g kg <sup>-1</sup> MS)	177,0	175,0	173,0	169,0	0,34	0,65	-	-
MM (g kg <sup>-1</sup> MS)	24,0	24,9	25,9	27,7	0,44	0,44	-	-
Variáveis	Composição mineral				P-valor		Equação	R <sup>2</sup>
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	44,4	44,0	43,5	42,6	<0,01			
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	8,2	7,3	6,3	4,4	<0,01		$y=0,827-0,009x$	50,3
P (mg kg <sup>-1</sup> )	93,3	94,4	95,5	97,6	0,68		-	-
K (mg kg <sup>-1</sup> )	212,5	212,1	211,7	211,0	0,89		-	-
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	4,5	3,7	3,0	1,5	<0,01		$y=0,454-0,007x$	8,9
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	49,2	39,8	30,5	11,8	<0,01		$y=4,921-0,093x$	82,3

Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	28,6	26,0	23,5	18,3	<0,01	y=2,865-0,025x	6,6
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	6,9	7,0	7,0	7,1	<0,01	y=0,6995+0,002x	0,0

MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido. x: P<0,05, efeito linear. x<sup>2</sup>: P<0,05, efeito quadrático.

Houve efeito linear ( $P<0,05$ ) entre as doses de HT para o genótipo Doce na sua composição mineral, para Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn (Tabela 7). Não houve efeito ( $P>0,05$ ) para os macronutrientes P e K.

**Tabela 7.** Teores de macro e micronutrientes da palma Doce, sob doses de hidrogel à base da goma do cajueiro

	Dose hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )				P-valor x	Equação	R <sup>2</sup>
	0	10	20	40			
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	44,4	44,0	43,5	42,6	<0,01	y=4,449-0,004x	31,82
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	8,2	7,3	6,3	4,4	<0,01	y=0,827-0,009x	50,33
P (mg kg <sup>-1</sup> )	93,3	94,4	95,5	97,6	0,68	-	-
K (mg kg <sup>-1</sup> )	212,5	212,1	211,7	211,0	0,89	-	-
Cu(mg kg <sup>-1</sup> )	4,5	3,7	3,0	1,5	<0,01	y=0,454-0,007x	8,93
Mn(mg kg <sup>-1</sup> )	49,2	39,8	30,5	11,8	<0,01	y=4,921-0,093x	82,36
Fe(mg kg <sup>-1</sup> )	28,6	26,0	23,5	18,3	<0,01	y=2,865-0,025x	6,62
Zn(mg kg <sup>-1</sup> )	6,9	7,0	7,0	7,1	<0,01	y=0,6995+0,002x	0,01

Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; P: Fósforo; K: Potássio; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Fe: Ferro; Zn: zinco. x: P<0,05, efeito linear. x<sup>2</sup>: P<0,05, efeito quadrático.

Observou-se efeito linear decrescente para Ca, com menor valor na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> com 42,6 mg kg<sup>-1</sup>. Para Mg, o tratamento sem a adição do hidrogel apresentou maior concentração com 8,2 mg kg<sup>-1</sup>. O Cu, Mn e Fe foram reduzidos com o aumento das doses, apenas o Zn que apresentou efeito contrário, aumentando de 6,9 mg kg<sup>-1</sup> na dose 0 para 7,1 mg kg<sup>-1</sup> na dose 40 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 7).

### 3.2 Terceiro ensaio

#### 3.3.1 Morfometria e produção

Houve efeito ( $P<0,05$ ) para NC e BSC. Não houve diferença entre as hidratações para Área de Cladódio e Altura de Planta. Foi observado maior quantidade de cladódios com uso

dos hidrogéis (Tabela 8). Estatisticamente o NC com uso do HC e HT foram semelhantes com 7,86 quando as palmas foram hidratadas com HC e 7,79 quando hidratadas com HT.

**Tabela 8.** Características de crescimento e produção da palma Doce avaliada à campo sob três formas de hidratação

Variáveis	Hidrogel			Média	EPM	P- valor
	Sem	Comercial	Teste			
Número de cladódio	5,6b	7,86a	7,79a	7,08	0,50	0,02
Área do cladódio (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )	69,26 a	72,73a	75,36a	72,45	1,84	0,12
Altura da planta (cm)	67,60a	59,86a	63,00a	63,48	3,02	0,25
Biomassa Seca de Cladódio (g planta <sup>-1</sup> )	12,97b	14,97b	15,29a	14,41	0,55	0,03

EPM: Erro Padrão Médio. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de P<0,05 para o genótipo de palma (GP). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de P<0,05 para uso do hidrogel (H).

Para BSC, o HT apresetou maior produção que as demais formas de hidratação. A BSC foi de 15,29 g planta<sup>-1</sup> com o uso do HT, com uso do HC foi de 14,97 g planta<sup>-1</sup> e SH foi de 12,97 g planta<sup>-1</sup>, havendo um incremento de 2,32 g com uso do HT (Tabela 8).

### 3.3.2 Composição química e mineral

Observou-se efeito apenas para os teores de MS sob as formas de hidratações na palma Doce (Tabela 9). Para PB, FDN, FDA e MM, não foi observado influência das formas de hidratação. Foi observado 14,61 g kg<sup>-1</sup> com uso do HT, 13,88 g kg<sup>-1</sup> quando as palmas foram hidratadas com HC e 12,31 g kg<sup>-1</sup> sem uso de hidratações do solo.

**Tabela 9.** Composição química e mineral da palma Doce avaliada à campo sob três formas de hidratação

Variáveis	Hidrogel			Média	EPM	P- valor
	Sem	Comercial	Teste			
MS (g kg <sup>-1</sup> )	12,31b	13,88b	14,61a	13,60	0,53	0,04
PB (g kg <sup>-1</sup> MS)	3,81a	3,82a	3,81a	3,81	0,07	0,97

FDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	28,37a	26,57a	26,44a	27,13	0,60	0,09
FDA (g kg <sup>-1</sup> MS)	16,04a	16,07a	17,22a	16,44	0,39	0,11
MM (g kg <sup>-1</sup> MS)	5,80a	5,32a	5,80a	5,64	0,16	0,11
Composição mineral						
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	178,92a	144,37a	173,59a	165,62	12,30	0,16
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	67,82a	53,80a	66,71a	62,78	5,53	0,20
P (mg kg <sup>-1</sup> )	3,34a	3,42a	5,08a	3,95	0,73	0,22
K (mg kg <sup>-1</sup> )	29,93a	26,98a	24,99a	27,30	13,45	0,59
Cu (g kg <sup>-1</sup> )	40,30a	99,52a	36,50a	58,77	20,07	0,10
Mn (g kg <sup>-1</sup> )	382,39a	394,77a	405,50a	394,22	51,33	0,95
Zn (g kg <sup>-1</sup> )	19,42b	25,49b	43,93a	29,614	5,44	0,03

MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; MM: Matéria Mineral. Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; P: Fósforo Absorvido; P: Fósforo; K: Potássio; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Zn: Zinco. EPM: Erro Padrão Médio. Letras minúsculas diferentes na linha representam significância de  $P < 0,05$  para o genótipo de palma (GP). Letras maiúsculas diferentes na coluna representam significância de  $P < 0,05$  para uso do hidrogel (H).

Foi observado influência das formas de hidratação na palma Doce, apenas no teor do mineral Zn (Tabela 9). Os demais macros e micronutrientes avaliados, não apresentaram influência em seus teores com o uso dos hidrogéis. O teor de Ca, Mg, K e Cu apresentaram diminuição com uso dos hidrogéis, em destaque para os macronutrientes Ca e Mg com uso do HC (Tabela 9).

Já o teor de P e Mn, foi superior aos demais tratamentos com uso do HT, com 5,08 mg kg<sup>-1</sup> e 405,50 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, porém estatisticamente semelhante ao uso do HC e sem uso de hidrogéis (Tabela 9). Foi observado teor de Zn com 19,42 mg kg<sup>-1</sup> sem uso de hidratação, 25,49 mg kg<sup>-1</sup> quando as plantas receberam HC e 43,93 mg kg<sup>-1</sup> quando receberam o HT em seu cultivo.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Primeiro ensaio

#### 4.1.1 Crescimento e Produção

O efeito para AC demonstra que houve influência das diferentes formas de hidratação, bem como o tipo de hidrogel e as características fisiológicas dos genótipos de palma avaliadas. Nessa variável, o HT apresentou valores superiores ao HC e o tratamento sem

hidrogel. O uso dos hidrogéis proporcionaram maior área de cladódio nas plantas de palmas nos três genótipos avaliados. Vale ressaltar que o HT proporcionou áreas maiores que as encontradas nas plantas hidratada com HC, principalmente no genótipo Orelha de Elefante. O uso do hidrogel proporciona a lenta liberação de água associado a liberação lenta de nutrientes (K e P) para a planta (Azeem et al., 2014), esse fato proporcionou melhor desempenho para esse genótipo com o uso do HT.

Para NC o genótipo Doce apresentou maior quantidade de cladódios que os demais genótipos. De acordo com Silva et al. (2014), o genótipo Doce tem como principal característica morfológica apresentar maior número de cladódios quando comparado com os outros genótipos. A maior quantidade de cladódio foi observada com o uso dos hidrogéis (HC e HT), demonstrando o efeito desses na influência do crescimento das palmas. O hidrogel proporciona uma liberação lenta de água e de nutrientes para a planta (Konzen et al., 2017), proporcionando maior estímulo ao aumento do número de cladódio, quando comparado ao tratamento sem hidrogel.

Em relação AP, a palma Gigante apresentou maior altura no tratamento com uso de hidrogel produzido a partir da resina do Cajueiro, devido suas características morfológicas, de maior tamanho de cladódio (Lima et al., 2016). Esse fato deve ter ocorrido devido ao suporte hídrico ofertado pelo uso do hidrogel para as plantas, uma vez que elas estavam submetidas ao estresse hídrico durante o experimento. De acordo com Cannazza et al. (2014), o cultivo com hidrogel apresentam maior hidratação das plantas e com isso maior crescimento. No entanto, a palma Doce, apresentou menor altura de planta em todas as formas de hidratação, fato pode ser influenciado devido a menor área de cladódios obtidos por esse genótipo. Esse resultado pode ser explicado, devido a palma com maior número de cladódios, tendem a apresentar menor altura de planta (Souza et al., 2017).

Para a produção de biomassa seca de cladódios (BSC) das plantas de palma, o genótipo Orelha de Elefante obteve a maior produção de biomassa, no tratamento com uso de HT, enquanto os genótipos Gigante e Doce apresentaram maior BSC nos tratamentos com uso de hidrogel convencional, o que significa que a utilização dos hidrogéis na palma forrageira, melhora o desempenho das características de crescimento, por fornecer água e fertilizantes durante o desenvolvimento da planta de forma lenta para a planta, proporcionando meios ideais para sua produção. Esse fato demonstra o potencial do hidrogel produzido com fibras naturais de *Anacardium occidentale* no cultivo do referido genótipo. O uso de fertilizantes de

liberação lenta tem como vantagem evitar os processos de lixiviação e volatilização dos nutrientes no solo (Alves et al., 2018).

Foi observado maior produção de BSR nos três genótipos avaliados quando hidratado com HC e HT, não havendo diferenças estatísticas nos resultados de ambos os hidrogéis. Conseqüentemente essa resposta estar relacionada com a disponibilidade de água, oferecida pelo hidrogel. Foi observado melhor desempenho da palma Gigante quanto ao aproveitamento do hidrogéis no solo, o que está atrelado ao fato de que a palma apresenta um sistema de raízes superficiais e carnosas, com distribuição horizontal, que pode depender do tipo de solo e do manejo da plantação. Segundo Edvan et al. (2013), a maior concentração do sistema radicular da palma encontra-se na camada superficial do solo. Esse resultado se atribui ao uso do hidrogel, onde as plantas que têm o desenvolvimento radicular bem desenvolvidas, são menos susceptíveis a estresse hídrico (Salton e Tomazi, 2014). Sob condições favoráveis de solo essa planta desenvolve uma raiz estendida que penetra quase 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).

Nas principais características de crescimentos das palmas avaliadas, o hidrogel de fibra natural de *Anacardium occidentale* apresentou desempenho igual ou superior das demais formas de hidratação. O hidrogel produzido com fibra natural da resina do Cajueiro, demonstrou potencial pois apresentou valores acima dos encontrados com uso de HC, para área do cladódio, altura de planta, BSC e BSR. Esse acontecimento indica que as fibras naturais de *Anacardium occidentale* na produção de hidrogel apresentam capacidade de serem utilizados na produção de palma forrageira, visto que as fibras naturais são abundantes na natureza e seu uso é ecologicamente correto, além de serem produtos de baixo custo de aquisição (Rodrigues et al., 2013).

#### **4.1.2 Composição química e de minerais**

O maior teor de matéria seca foi observado na palma Doce com uso do HT. Essas respostas ao uso do HT são importantes para produção animal, pois proporciona maior disponibilidade de alimento, aumentando a segurança alimentar para os rebanhos de regiões secas (Amorim et al., 2019). De acordo com Carvalho et al. (2018), a palma apresenta baixos teores de matéria seca, proteína bruta, fibras em detergente neutro e fibras em detergente ácido.

O tratamento com o uso do HT obteve maior teor de PB no cultivo de palma em todas as variedades, inclusive na palma Doce com maiores resultados nesse tratamento. Segundo Silva (2019), a palma apresenta em sua composição química média de 57,51 a 71,24 g kg<sup>-1</sup> MS de PB. O hidrogel amenizou a probabilidade de as plantas sofrerem com a diminuição da disponibilidade de água durante o experimento estresse hídrico, uma vez que o estresse hídrico em plantas forrageiras pode proporcionar o aumento do seu conteúdo celular, em especial o de PB (Silva et al., 2012).

Os maiores teores de fibras foram observados nos tratamentos sem o uso do hidrogel e como uso do HC. A palma Gigante apresentou valores elevados de FDN em comparação aos demais genótipos, no entanto, os teores de FDN foram menores com nas plantas que receberam a hidratação teste. Segundo Carvalho et al. (2018) a palma apresenta baixo teor de fibra, sendo rica em carboidratos não fibrosos, fato que confere maior potencial energético a essa planta para alimentação animal. Os resultados encontrados nos tratamentos com o uso de hidrogel de fibra natural de *Anacardium occidentale*, são considerados positivos, pois grandes quantidades de fibras no cultivo da palma podem indicar pior qualidade nutricional dessas plantas para a nutrição animal (Lee, 2018).

Para a FDA, a palma Doce apresentou maior teor em relação as demais variedades de palma no tratamento sem uso de hidrogel, esse fato é importante pois a utilização de hidrogéis diminui o teor de fibra nesse genótipo. Aumento no teor de fibras na planta indica aumento da parede celular e redução do seu conteúdo, fato que reduz a digestibilidade do alimento para o animal (Freitas et al., 2012).

Os teores de MM foram semelhantes entre os genótipos de palma do experimento e superiores nas plantas que receberam HT. Os valores elevados de MM corresponde ao acúmulo de nutrientes nas plantas. A utilização desse tipo de fibra natural para produção de hidrogel tem potencial tanto devido a disponibilidade da matéria prima (Guilherme et al., 2015) como apresenta vantagem do ponto de vista econômico e ambiental (Rozo et al., 2019).

A MS e a FDA da palma Doce sob doses de HT, diminui gradativamente a medida que as doses foram elevadas, efeito contrário aconteceu nas demais variáveis da composição química da palma Gigante. A quantidade de água necessária para a produção de MS na palma que gira em torno de 25-75 kg de água para 1 kg de MS (Santos et al., 2010). Assim, a variação entre a água utilizada para produção e a ofertada via alimento, é um fator importante da palma forrageira. Silva et al., (2013) obtiveram valores de médios de 8,23% de MS para a palma forrageira adubada e cultivada em diferentes espaçamentos, os mesmos autores relatam

que este teor está abaixo dos encontrados para a cultura. Frota et al. (2015) descreveram valores com variação de 6,1 a 17,1% de MS na palma forrageira. Resultados estes que englobam os valores obtidos neste experimento.

A interação entre as formas de hidratação e os genótipos avaliados, revela que as diferenças morfológicas entre os genótipos e os tipos de hidratação influenciam nos teores de macro e micronutrientes das palmas. Os teores de Ca foram maiores na variedade de palma Doce, em relação ao acúmulo de Ca nas diferentes hidratações, foram obtidos com a utilização do HT, seguido do tratamento com HC, o que demonstra que a adição de hidrogel como condicionador de solo, além de fornecer água as plantas, melhora o desempenho das plantas em absorver nutrientes do solo.

Em relação ao Mg, os maiores teores foram encontrados na variedade Doce, seguida da palma Gigante e OEM. Entre as formas de hidratação o HC apresentou maior acúmulo desse macronutriente na palma Doce e OEM. O maior teor de P foi obtido na variedade OEM e Gigante, no qual a palma OEM teve maior acúmulo no tratamento com HT, no entanto, os genótipos Gigante e Doce apresentaram maior teor de P sem uso de hidrogel, as variações nesta composição são observadas de acordo com a espécie, idade, época do ano, manejo da cultura, localização da cultura e estágio fisiológico do cladódio (Silva 2019).

Para o teor de Cu, o genótipo OEM, apresentou maior acúmulo desse micronutriente sem a adição de hidrogel. Já o genótipo Gigante obteve maior teor de Cu quando adicionado HC, resposta semelhante foi observada na variedade Doce, com maior valor de Cu com o uso de HC. O maior teor de Mn foi relatado na variedade OEM com uso de HC. Enquanto na palma Gigante, foram encontrados maior acúmulo de Mn nas plantas que receberam hidratação com hidrogel Teste. Em relação ao micronutriente Fe, também foram encontrados maior acúmulo na variedade OEM, seguido da palma Gigante e Doce com menores teores. Observou-se maior valor de Fe no tratamento sem uso de hidrogel em todos os genótipos. No Zn, a variedade Doce apresentou maior quantidade desse micronutriente. Porém os valores mais elevados de Zn foram encontrados no tratamento sem hidratação. Desta forma, de acordo com Ferraz et al. (2020) a composição mineral das variedades de palma forrageiras 'pode ser otimizada a partir da gestão da água do solo, com nutrição adequada e equilíbrio para maior rendimento.

## **4.2 Segundo ensaio**

### **4.2.1 Crescimento e produção**

A palma Doce, respondeu progressivamente ao aumento das doses de hidrogel nas variáveis Área de Cladódio, Biomassa Seca de Cladódio e de Raiz, demonstrando que o hidrogel teste uma importante alternativa de melhoras nas características morfológicas da palma e seu uso apresenta respostas promissoras no cultivo da palma. Vale ressaltar que uma vez que quanto maior a área de cladódio dessa espécie melhora sua taxa fotossintética e com isso acúmulo de nutrientes e probabilidade de crescimento, refletidos em uma maior BSC e crescimentos de raízes que fazem as plantas expandirem sua busca por água e garantem vitalidade ao palmal.

As palmas sob condições favoráveis de solo essa planta desenvolve uma raiz estendida que penetra quase 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).

Em relação ao Número de Cladódio e Altura de Plantas da palma Doce submetida a diferentes doses, os maiores resultados foram obtidos com o uso de 10 kg ha<sup>-1</sup> do HT, sendo doses superiores consideradas irrelevantes na produção de novos cladódio e crescimento da planta nesse genótipo. Lopes et al. (2018) apontaram que a palma forrageira apresenta bom desempenho em regiões secas do mundo por apresentar características bioquímicas, anatômicas, morfológicas e fisiológicas adaptadas aos rigores climáticos dessas regiões.

### **4.2.2 Composição química e de mineral**

Para a variável PB, houve efeito linear crescente, onde a variedade Doce respondeu gradativamente aos níveis de hidrogel, respectivamente, indicam respostas da atuação do hidrogel e dos nutrientes presentes no mesmo de forma exclusiva e em conjunta, tornando possível a obtenção de resultados superiores nos tratamentos que fazem uso desta tecnologia.

Para as variáveis FDN não se observou efeito nos níveis de HT na palma Doce, sendo superior que as demais doses quando as palmas foram submetidas a dose de 40kg ha<sup>-1</sup>, com 261,0 g kg MS, de acordo com os resultados encontrados por Silva (2020), que variaram de 232,57 a 357,62 g kg<sup>-1</sup> MS em trabalho realizado com genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea*. No entanto, observou-se efeito contrário para FDA, que apresentou menor valor na dose de 40kg ha<sup>-1</sup>. O teor de FDN observado foi superior ao

encontrado por Edvan et al. (2020) quando avaliaram a palma forrageira em uma região de savana brasileira de latossolo amarelo com teor médio de argila. Os autores observaram um valor de FDN de 196,3 g kg<sup>-1</sup> de MS e um valor de CNF de 571,4 g kg<sup>-1</sup> de MS.

Peixoto et al. (2018) analisando a resposta da palma em diferentes sistemas de plantios, observaram a composição química da palma forrageira e encontraram valores entre 18,11 a 19,28% de FDA, valores superiores aos encontrados nesta pesquisa. Desta forma, palmas com baixos teores de fibras em sua composição, recomenda-se a correção destes, com fontes de fibras para atender as exigências dos animais no fornecimento da palma no momento de fornecimento aos animais (Lima et al., 2015).

Para a variável MM, as plantas de palma Doce obtiveram resposta positiva a elevação das doses do HT. Esse comportamento pode ser explicado pela atuação conjunta do hidrogel com os nutrientes presentes nele, pois segundo Klein e Klein (2015) os hidrogéis predisõem no auxílio da nutrição da planta, sendo assim favorecem a absorção de nutrientes minerais, o que resulta no maior acúmulo destes na MS da planta.

Sobre a composição mineral da palma Doce sob doses de hidrogel à base da goma do cajueiro, foi encontrado efeito para Ca e Mg dos macronutrientes, no entanto, o teor de Ca aumentou à medida que doses eram elevadas, enquanto efeito contrário foi observado para Mg nesse genótipo. O valor de P, foi maior na dose de 40kg ha<sup>-1</sup> de HT. O incremento em água produzido pelo hidrogel e biomassa podem ter favorecido maior remobilização de P nos tecidos do cladódio, devido à alta mobilidade de P na planta (Luengo et al, 2018), o que reflete maior efeito de diluição de nutrientes nos tecidos parenquimatosos da palma forrageira (Dubeux Júnior et al., 2006).

Já para a variável K, foi encontrado maior teor no tratamento sem adição de hidrogel de Goma de Cajueiro. Os baixos teores de K registrados na variedade Doce, são possivelmente devido à lixiviação do nutriente para zonas mais profundas não exploradas pelo sistema radicular. Esta informação é confirmada por (Albuquerque et al., 2011), que citam que o K não absorvido é lixiviado, sendo este processo responsável por até 10% das perdas de K na rizosfera.

Foi observado efeito linear em todo micronutrientes avaliados, onde observou-se comportamento entre os dados semelhantes para o Cu, Mn e Fe, onde obtiveram maiores valores desses micronutrientes quando não utilizado a hidratação teste. Os teores de Cu e Mn diminuíram com o aumento dos níveis de hidrogel teste, essa resposta pode ser devido a

elevação do pH do solo em uma unidade, diminui cerca de 100 vezes a concentração de manganês na solução do solo (Mortvedt, 1991).

Os teores de Fe da palma Doce sob doses de hidrogel, são inferiores aos obtidos por Ferraz et al (2020), que obteve média de 126,22 mg kg<sup>-1</sup> ao trabalhar com níveis de reposição de água em palma (*Napolea*). Enquanto para o Zn o nível mais alto de HT, proporcionou aumento da quantidade desse micronutriente. Dubeux Júnior et al. (2010) não encontraram diferenças entre as médias dos teores de Zn, porém a média geral dos teores, 108,58 e 344g kg<sup>-1</sup>, foi bem maior que as constatadas no presente trabalho. Em estudo desenvolvido por Alves et al., (2016) ao avaliarem a variabilidade, correlação e importância das características químicas e nutricionais da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*), observaram que existe uma correlação positiva entre o zinco e a proteína bruta uma vez que o zinco faz parte de muitas proteínas; em muitas enzimas, esse íon metálico é necessário no sítio ativo (anidrase carbônica, superóxido dismutase, álcool desidrogenase, glutamato desidrogenase).

Em sistemas de cultivo irrigado de palma forrageira com alta produtividade, é essencial o monitoramento da composição mineral dos cladódios, pois o aumento da biomassa pode gerar um efeito de diluição de nutrientes e comprometer a qualidade nutricional desse alimento para os rebanhos, visto que *Nopalea ssp.* e *Opuntia ssp.* fornecer comida e água para os animais e reduções nos teores nutricionais podem influenciar na produção e qualidade da carne (Moura et al., 2020).

### **4.3 Terceiro ensaio**

#### **4.3.1 Características de crescimento e de produção**

No terceiro ensaio, a palma Doce avaliada à campo, apresentou efeito para Número de Cladódios e Biomassa Seca de Cladódio. Em ambas variáveis, o uso do HT favoreceu a produção demais cladódios e conseqüente maior quantidade de massa nos cladódios, pois a quantidade de cladódios está correlacionado ao acúmulo de biomassa que posteriormente será consumida pelo animal. Não houve efeito para Área do Cladódio, no entanto, pode-se observar maior área com uso do HT com 75,36 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, enquanto que sem hidrogéis foi de 69,26 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, ou seja, a liberação controlada de água no solo, aumentou o crescimento dos cladódios em campo.

Já em relação a Altura das plantas, não houve efeito das formas de hidratação com a palma avaliada, mas foi observada menor altura com uso dos hidrogéis, em especial o HC com 59,86 cm. A altura da planta com o HT foi de 63,0 cm e sem uso de hidrogéis foi de

67,60 cm, esses resultados podem estar relacionados a disponibilidade de água ter sido direcionada ao enchimento dos cladódios e aumento dos mesmos, dado que pode ser observado no NC e BSC. Assim, a ausência de água nas palmas, faz com que elas estiolem em buscas de meios de sobrevivência e adaptação devido ao déficit hídrico.

#### **4.3.2 Composição química e mineral**

A composição química da palma Doce avaliada à campo, apresentou efeito apenas para Matéria Seca. Foi observado 14,61 g kg<sup>-1</sup> de MS com uso do HT, tendo um incremento de mais de 2,0 g de MS em relação a o tratamento sem hidrogéis. Esse dado está atrelado ao teor de BSC,

A PB e MM foi estatisticamente igual para todos os tratamentos, ou seja, os hidrogéis não acrescentaram PB e MM na palma Doce no campo. Mesmo sem feitos das hidratações na palma, o valor de FDN foi menos com uso do HT quando comparado com os demais tratamentos. Esses resultados mostram que o hidrogel pode com o decorrer do seu uso contínuo no solo, favorecer ainda mais a sua composição, uma vez que diminui a quantidade de fibras que são indesejáveis ao consumo animal e incrementa na MS. Para os teores de nutrientes, foi observado efeito apenas para o Zn, os demais nutrientes se mantiveram estatisticamente iguais em todos os tratamentos.

## **5 CONCLUSÕES**

O uso dos hidrogéis proporcionou maior desenvolvimento em especial nos genótipos Doce, Gigante e Orelha de Elefante. Os hidrogéis favoreceram a composição química e mineral dos genótipos.

O hidrogel da goma do cajueiro apresenta potencial de hidratação por proporcionar maior crescimento e melhorar a composição química e mineral das palmas, com uso ideal na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> na palma Doce.

O uso do hidrogel teste à campo apresentou potencial de aplicabilidade e desenvolvimento dos cladódios e composição química na palma Doce.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa (CNPQ/NEXUS n°441321/2017-8), e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo. Também agradeço ao apoio do Núcleo de Estudos em Forragicultura (NUEFO) do CPCE/UFPI.

## 6 REFERÊNCIAS

- Abdala. Manejos de irrigação associados a doses de hidrogel na produção do tomateiro de mesa. 2019.
- Albuquerque, C. J. B.; et al. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo granífero no semiárido. **Bragantia**, v. 70, p. 278-285, 2011.
- Alves F.G.S., Carneiro M.S.S., Edvan R.L., Candido M.J.D., Furtado R.N., Pereira E.S., Neto L.B.M., Mota R.R.M., Nascimento K.S. 2018. Agronomic and nutritional responses of Carajas elephant grass fertilized with protected and non-protected urea. *Semina. Ciências Agrárias*, 39: 2181–2189, 2018.
- Alves, F. A. L.; de Andrade, A. P.; Bruno, R. D. L. A.; dos Santos, D. C. Study of the variability, correlation and importance of chemical and nutritional characteristics in cactus pear (*Opuntia and Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n. 31, p. 2882-2892, 2016.
- Amorim D.S., Edvan R.L., Nascimento R.R., Bezerra L.R., Araujo M.J., Silva A.L., Diogenes L.V., Oliveira R.L. 2019. Sesame production and composition compared to conventional forages. **Chilean Journal of Agricultural Research**, 79: 586–595. 2019.
- Azeem B., KuShaari K., Man Z. B., Basit A., Thanh T. H. Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, 181: 11–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>, 2014.
- Bezerra, M.G.S. Água residuária de mandioca como fertilizante orgânico em pasto de *Brachiaria Brizantha* cv Marandu. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.
- Cannazza G., Cataldo A., De Benedetto E., Demitri C., Madaghiele M., Sannino A. Experimental Assessment of the Use of a Novel Superabsorbent polymer (SAP) for the optimization of water consumption in agricultural irrigation process. **Water**, 6: 2056–2069, 2014.
- Carvalho C.B.M., Edvan R.L., Carvalho M.L.A.M., Reis A.L.A., Nascimento R.R. 2018. Uso de cactáceas na alimentação animal e seu armazenamento após colheita. **Archivos de Zootecnia**, 67:440–446, 2018.
- Castro, I. N.; dos Santos, S. R.; Kondo, M. K.; Maia, V. M.; dos Santos, C. C. R. Desempenho agrônômico e eficiência de uso da água em cultivares de palma forrageira irrigada. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 529-540, 2020.
- Costa-Coutinho, J.M.; Jardim, M. A.; Castro, A. J. F.; Viana-Junior, A. B. Biogeographic connections of Brazilian savannas: partition of marginal and disjunct diversity and conservation of northern ecotonal tropics in a biodiversity hotspot. **Revista Brasileira de Geografia Física** 12, 2407-2427, 2019.

- Coutinho, M. J. F.; Carneiro, M. S. de S.; Edvan, R. L.; Bezerra, L. R.; Ferreira, R. R.; Araújo, M. J. de.; Biagiotti, D.; Neto, A. F. L. Crescimento e produção do capim massai sob déficit hídrico. **Braz. J. of Develop., Curitiba**, v. 6, n. 6, p.35690-35700, jun. 2020.
- Cortázar, V.; Nobel, P.S. 1991. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, 56: 261–272. 1991.
- Detmann E., Souza M.A., Valadares Filho S.C., Queiroz A.C., Berchielli T.T., Saliba E.O.S., Cabral L.S., Pina D.S., Ladeira M.M., Azevedo J.A.G. 2012. Métodos para Análise de Alimentos - INCT - **Ciência Animal**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema. 214p, 2012.
- Edvan R.L., Fernandes P.D., Carneiro M.S.S., Nender D.G., Araujo J.S., Andrade A.P., Souto Filho L.T. Acúmulo de biomassa e crescimento radicular da palma forrageira em diferentes épocas de colheita. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, 11: 373–381, 2013.
- Dubeux Junior, J. C. B.; Araújo Filho, J. T.; Santos, M. V. F dos.; Lira, M de A.; Santos, D. C. dos; Pessoa, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.129-135. 2010.
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F. dos; Lira, M. de A.; Santos, D. C. dos; Farias, I.; Lima, L. E.; Ferreira, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L) Miller under different N and P fertilization and plant population in northeast Brasil. **Journal of Arid Environments**, v.67, n.3, p.357-372, 2006.
- Edvan R.L.; Carneiro M.S.S. Palma forrageira: cultivo e uso na alimentação animal. Curitiba: Ed. Appris, P. 13, 2019.
- Edvan, R.; SÁ, M., Magalhães, R.; Ratke, R.; Sousa, H. R.; Neri, L. M. L.; Bezerra, L. Copolymerized Natural Fibre from the Mesocarp of *Orbignya phalerata* (Babassu Fruit) as an Irrigating-Fertilizer for Growing Cactus Pears. **Polymers**, v. 12, n. 8, p.1699. 2020.
- Ferreira, D.F. 2011. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, 35: 1039–1042, 2011.
- Ferraz, R. L. D. S.; Dantas Neto, J.; Costa, P. D. S.; Lima, A. S. D.; Silva, P. F. D.; Matos, R. M. D.; Melo, A. S. D. Variations in soil water replacement levels promote changes in cactus pear mineral composition and biomass productivity. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, n. 5, p. 1-17, 2020.
- Freitas F.P., Fonseca D.M., Braz T.G.S., Martuscello J.A., Santos M.E.R. 2012. Forage yield and nutritive value of Tanzania grass under nitrogen supplies and plant densities. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41: 864–872, 2012.
- Frota, M. N. L.; Carneiro, M. S. S.; Carvalho, G. M. C.; Neto, R. B. A.. Palma Forrageira na Alimentação Animal. Embrapa Meio-Norte-Documents (INFOTECA-E), 2015.
- Guilherme M. R., Aouada F. A., Fajardo A. R., Martins A. F., Paulino A. T., Davi M. F., Rubira A. F., Muniz E. C. 2015. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: a review. **European Polymer Journal**, 72: 365–385, 2015.

Klein, C.; Klein, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 21–29, 2015.

Konzen E.R., Navroski M.C., Friederichs G., Ferrari L.H., Pereira M.O., Felipe D. 2017. The use of hydrogel combined with appropriate substrate and fertilizer improve quality and growth performance of *Mimosa scabrella* Benth. **Seedlings**. *Cerne*, 23: 473–482, 2017.

Laredo M.A., Simpson G.D., Minson D.J. The potential for using n-alkanes in tropical forages as a marker for the determination of dry matter by grazing ruminants. **Journal of Agricultural Science**, 117: 355–361, 1991.

Lee M.A. 2018. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. **Journal of Plant Research**, 131:641–654, 2018.

Lima G.F.C., Rego M.M.T., Dantas F.D.G., Lôbo R.N.B., Silva J.G.M., Aguiar E.M. 2016. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, 29: 481–488, 2016.

Lima, G. F. C. et al. Palma forrageira irrigada e adensada: Uma reserva forrageira estratégica para o semiárido potiguar. Parnamirim: EMPARN, ISSN 01-4197, 2015.

Lima, R. E.; Maia, L. K.; Lima, J. Produção de goma a partir do cajueiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, 2014.

Lopes M. N.; Cândido M. J. D.; Gomes E. C. G.; Pompeu, R.C.F. F.; Silva R. G. Biomass flow and water efficiency of cactus pear under different managements in the Brazilian Semiarid. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 49, n. 2, p. 324-333, 2018.

Luengo, Rita de Fátima Alves et al. Determinação de minerais no solo e análise de folhas de couve produzida em Brasília. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

Madduma-Bandarage, U. S., & Madihally, S. V. Synthetic hydrogels: Synthesis, novel trends, and applications. **Journal of Applied Polymer Science**, 138(19), 50376, 2020.

Martha Jr G.B., Vilela D., Sousa D.M.G. 2007. **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 224p.

Menezes Filho, A. C. P., Ventura, M. V. A., Batista-Ventura, H. R. F., Castro, C. F. S., Triches, C. M. F., Porfiro, C. A., Guimaraes, J. S., Teixeira, M. B., Soares, F. A. L., Taques, A. S. Phytochemical study and in vitro biological activities of *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa* and *Chlorella minutissima* extracts. **Avances en Química**, 16, 71-79, 2021.

Menezes Filho, A. C. P., Santos, D. B., Nascimento, R. C., Oliveira, M. S., Castro, C. F. S. Physicochemical evaluation and antifungal activity of essential oil from *Bauhinia forficata* flower Link (Fabaceae). **Revista de Agricultura Neotropical**, 7, 57-61, 2020.

Menezes, A. C. P. F., Souza, J. C. P., Castro, C. F. S. Avaliação das características poliméricas do biofilme do resíduo de melancia. **Scientia Plena**, 15, 1-11, 2019.

Mortvedt, J. J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes: presença de elementos tóxicos. In: Ferreira, M. E.; Cruz, M. C. P.; Raij, B. van; Abreu, C. A. (eds.).

Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p. 237-251, 2001.

Moura, M. D. S. C.; Guim, A., Batista, Â. M. V., do Vale Maciel, M., Cardoso, D. B., de Lima Júnior, D. M.; de Carvalho, F. F. R. Moura. The inclusion of spineless cactus in the diet of lambs increases fattening of the carcass. **Meat science**, v. 160, p.01-08, 2020.

Nascimento S.M., Aquiar E.M., Lima G.F.C., Novaes L.P., Costa P.R. Aspectos gerais da palma forrageira e alternativas de manejo: uma associação do hidrogel agrícola e da adubação foliar. **Nutri time**, vol 17, N°02 ISSN: 1983- 9006, 2020.

Palmese, L. L., Thapa, R. K., Sullivan, M. O., & Kiick, K. L. Hybrid Hydrogels for Biomedical Applications. **Current Opinion in Chemical Engineering**, 24, 143–157, 2019.

Peppas, N. A., Slaughter, B. V.; Kanelberger, M. A. **Hydrogels. Polymer Science: A Comprehensive Reference**, 385–395, 2012.

Raij B.V. 1991. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Ceres. p.343.

Rodrigues, F. H. A., Spagnol, C., Pereira, A. G. B., Fajardo, R., Rubira, A. F., Muniz, E. C. & Martins, A. F. 2013. Superabsorbent hydrogel composites with a focus on hydrogels containing nanofibers or nanowhiskers of cellulose and chitin. **J Appl Polym Sci**, 131:1–13. <http://doi.org/10.1002/app.39725>, 2013.

Rozo G., Bohorques L., Santamaría J. 2019. Controlled release fertilizer encapsulated by a  $\kappa$ -carrageenan hydrogel. **Polímeros**, 29: 1–7. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.02719>, 2019.

Salton, C.J.; Tomazi, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Embrapa, Comunicado Técnico p. 198, 2014.

Santos, E.A.V.; Holanda, H.T.S.; Pereira F.C.; Batista, D.C. Biometria da palma forrageira orelha de elefante (*Opuntia stricta*) cultivada com rejeito de mica e outros compostos orgânicos. II congresso internacional de ciências agrárias. 2017.

Santos, M. H. V.; Araújo, A. C.; Santos, D. M. R.; Lima, N. S.; Lima, A. C.A.; Lima, C. L. C.; Santiago, A. D. Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alfaca (*L. sativa*, L.) cultivada em casa-de-vegetação. **Acta Scientiarum Agronomy**, 2010.

Saraiva, F. Z.; Sampaio, S. C.; Silvestre, M. G.; Queiro, M. M. F. de; Nobrega, L. H. P.; GOMES, B. M. Uso de manipueira no desenvolvimento vegetativo do milho em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas - SP, 2017.

Sarmah, D.; Karak, N. Biodegradable superabsorbent hydrogel for water holding in soil and controlled-release fertilizer. **Journal of Applied Polymer Science**, 137(13), 48495. 2019.

Silva, D. D. D. Composição mineral e bromatológica de genótipos de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Napolea* em diferentes estádios fenológicos. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, p.46. 2019.

Silva E.A., Silva W.J., Barreto A.C., Oliveira Junior A.B., Paes, J.M.V, Ruas J.R.M., Queiroz D.S. 2012. Chemical composition and photosynthetically active radiation of forage grasses under irrigation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41: 583–591, 2012.

Silva T.G.F., Miranda K.R., Santos D.C., Queiroz M.G., Silva M.C., Cruz Neto J.F., Araújo J.E.M. 2014. Área do cladódio de clones de palma forrageira: Modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 9: 633–641.  
<https://doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4553>, 2014.

Silva, J. A.; Bonomo, P.; Donato, S. L. R.; Pires, A. J. V.; Silva, F. F.; Donato, P. E. R. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações químicas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.8, p. 342-350, 2013.

Silva, F. C. DA S., ed. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Vol. 627. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

Singh, N., Agarwal, S., Jain, A., Khan, S. 3-dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom. **Agricultural Water Management**, 253, 106939, 2021.

Souza, M. P.; Coutinho, J. M. D. C. P.; da Silva, L. S.; Amorim, F. S.; Alves, A. R. Composição e estrutura da vegetação de caatinga no sul do Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 210-217, 2017

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos de análises de solos**. 3a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 573, 2017.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso de hidrogel de goma do cajueiro é considerado de fácil e possível aplicação, e proporcionam crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras, pode ser substituído pelos hidrogéis sintético existentes no mercado e suprir a irrigação nas gramíneas. Os hidrogéis favoreceram a produção dos genótipos de capins e de palmas em vasos e em avaliações em campo.

É necessário avaliar a influência dos hidrogéis na produção demais genótipos de capins e de palmas, bem como doses ideais para cada uma. Além de em avaliações à campo e em períodos maiores de experimentos, dada a característica com que os hidrogéis disponibiliza seus nutrientes ao e água ao solo.

O hidrogel da goma do cajueiro tem potencial de utilização, devido as vantagens econômicas e sustentáveis, quando comparado ao hidrogel à base de polímeros compostos por poli(acrilamida) no cultivo da palma forrageira.



## ORGANIZAÇÃO

**Ricardo Loiola Edvan**  
Professor CPCE/UFPI

**Dhiéssica Morgana Alves Barros**  
Doutoranda PPGZT/UFPI

**Edson Cavalcanti da Silva Filho**  
Professor CCN/UFPI

## USO DO HIDROGEL NO CULTIVO INICIAL DA PALMA FORRAGEIRA

“O SERTANEJO É, ANTES DE  
TUDO, UM FORTE.”

Euclides da Cunha



Alternativa para reduzir  
os riscos no plantio.

## Palma forrageira

O cultivo da palma forrageira na região semiárida brasileira tem como objetivo fornecer alimento de qualidade para os animais, em especial para bovinos, caprinos e ovinos.



Figura 1. Palma forrageira.

Nesta região é comum fornecer a palma cortada, representando até 50% da dieta dos animais.

A palma forrageira pode ser utilizada durante todo ano, principalmente na ocorrência de estiagens prolongadas, sendo uma excelente opção de forragem para os animais.

## Hidrogel

O uso de hidrogel é preferencialmente indicado para regiões com reduzida disponibilidade de água ou que tenham longos períodos de estiagem.

O uso do hidrogel no cultivo agrícola otimiza a disponibilidade de água no solo, além de reduzir a perda de nutrientes por lixiviação.



Figura 2. Hidrogel como fonte de água.

Existem hidrogéis denominados biodegradáveis e sintéticos. Os hidrogéis biodegradáveis utilizam resíduos de produtos vegetais que diminuem o custo de produção, minimiza os impactos ambientais e risco de contaminação no solo.

## Hidrogel no cultivo da palma forrageira

O uso do hidrogel no cultivo da palma forrageira proporciona maior crescimento e produtividade da planta, aumentando assim a produção de alimentos nas regiões semiáridas do Brasil, garantindo maior segurança alimentar para os rebanhos da região.



Figura 3. Hidrogel de fibra da goma do caju.

O hidrogel de fibra natural do mesocarpo do coco babaçu e do pseudofruto do caju (Figura 3), demonstraram em análises, potencial similar ao hidrogel sintético no cultivo de variedades de palma forrageira.

O uso do hidrogel no cultivo inicial da palma forrageira apresenta resultados superiores para o seu crescimento, quando comparado com o cultivo sem o uso do hidrogel.



Figura 4. Cultivo da palma forrageira com hidrogel.

O cultivo da palma forrageira é geralmente realizado no final do período seco. O uso do hidrogel no seu cultivo inicial proporciona uma maior segurança para a pega das plantas, além de garantir um maior desenvolvimento.



## ORGANIZAÇÃO

**Ricardo Loiola Edvan**  
Professor CPCE/UFPI

**Dhiéssica Morgana Alves Barros**  
Doutoranda PPGZT/UFPI

**Edson Cavalcanti da Silva Filho**  
Professor CCN/UFPI

## USO DO HIDROGEL NO CULTIVO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRA

“O SERTANEJO É, ANTES DE  
TUDO, UM FORTE.”

Euclides da Cunha



Alternativa para  
reduzir os riscos pós-  
pastejo.

## Gramíneas tropicais

As espécies forrageiras são consideradas a principal fonte de alimentação dos ruminantes, devido a praticidade e baixo custo de produção de proteína para consumo humano.



Figura 1. Gramíneas forrageiras.

As gramíneas forrageiras têm participação expressiva na produção de leite e de carne, pois atuam como a fonte de alimento para os rebanhos, sendo consideradas um dos principais fatores para o desenvolvimento da pecuária em todo o mundo.

## Hidrogel

O uso de hidrogéis tornou-se uma alternativa atraente para contornar problemas hídricos, porque eles fornecem água necessária e reduzem o uso e a irrigação contínua.

A função do hidrogel é promover a absorção de água em grande volume, podendo variar de 10% até centenas de vezes o seu volume de peso quando seco, liberando gradativamente água de acordo com a necessidade da planta.



Figura 2. Hidrogel como fonte de água.

O uso de hidrogéis naturais permite a substituição de compostos sintéticos como os polímeros de poliácridamida, obtendo produtos com menor custo de produção e mais ecológicos.

## Hidrogel no cultivo de gramíneas

O uso do hidrogel no cultivo dos capins melhorou seu crescimento e produtividade, assim o aumento da produção de forragem nas regiões semiáridas do Brasil, reduz as perdas na produção animal.



Figura 3. Hidrogel de fibra da goma do caju.

O hidrogel de fibra natural da goma do caju (Figura 3), demonstra em análises, potencial similar ao hidrogel sintético no cultivo de variedades de capins tropicais.

O uso do hidrogel pós-pastejo das gramíneas forrageiras apresenta resultados superiores para o seu crescimento, quando comparado com o cultivo sem o uso do hidrogel.



Figura 4. Cultivo de gramíneas forrageiras com hidrogel.

O cultivo de gramíneas tropicais é realizado durante todo o ano. O uso do hidrogel no seu cultivo inicial proporciona o crescimento das raízes e garante a perenidade das gramíneas.