



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

ROBERTO ALBUQUERQUE PONTES FILHO

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO SEMIÁRIDO COM TAMBORIL
USANDO DIFERENTES TÉCNICAS DE MANEJO

FORTALEZA

2016

ROBERTO ALBUQUERQUE PONTES FILHO

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO SEMIÁRIDO COM TAMBORIL
USANDO DIFERENTES TÉCNICAS DE MANEJO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Ciências do Solo. Área de Concentração Manejo do Solo e da Água.

Orientadora: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo (a) autor(a)

Plr PONTES FILHO, ROBERTO ALBUQUERQUE.
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO SEMIÁRIDO COM TAMBORIL USANDO
DIFERENTES TÉCNICAS DE MANEJO / ROBERTO ALBUQUERQUE PONTES FILHO. – 2016.
91 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2016.
Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

1. Polímeros. 2. Qualidade do solo. 3. Plantas nativas. 4. reflorestamento. I. Título. CDD 631.4

CDD 631.4

ROBERTO ALBUQUERQUE PONTES FILHO

**RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS USANDO DIFERENTES TESTES NO
ESTABELECIMENTO DE PLANTAS DE TAMBORIL NO SEMIÁRIDO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Ciências do Solo. Área de Concentração Manejo do Solo e da Água.

Aprovada em: 27/09/2016.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Antonio Marcos Esmeraldo Bezerra
Universidade Federal do Ceará

Pesquisador Dr. Henrique Antunes de Souza
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio-Norte)

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda
Universidade Federal do Ceará

Pesquisador Dr. Lúcio Alberto Pereira
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido)

A Deus.

*Aos meus pais Roberto e Judite (in memoriam)
e à toda minha família.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades. Agradeço a Ele também por manter a minha família em paz e em harmonia.

À minha família que é a razão de viver, principalmente a minha esposa amada Karina Albuquerque, companheira de todas as horas e aos meus filhos queridos (Lucas, Monalisa, Tiago e Diogo).

Aos meus irmãos (Marta, Zezé, Marcinha e Roberto Jr.).

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Departamento de Ciências do Solo pela oportunidade.

Ao IFCE Campus Maracanaú e a todos os funcionários que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento do trabalho de tese.

À Professora Dra Mirian Costa, pela orientação e que soube me conduzir no trilho desse trabalho, direcionando para o melhor entendimento, e nos momentos difíceis conseguir reerguer minha confiança para finalizar a tese.

Ao Prof. Dr. Marcos Esmeraldo, grande amigo, pelo incentivo e apoio permanente de todo o trabalho, inclusive no início por ter cedido o espaço no NEPAU para produção das mudas.

Ao Pesquisador Dr. Henrique Antunes, que acompanhou todo o desenvolvimento do trabalho, com sugestões, críticas e atuando como um balizador para o crescimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Claudivan Lacerda, pela contribuição e esclarecimentos durante o desenvolvimento do artigo.

Ao projeto Biomas Caatinga pelo apoio financeiro.

Ao Coordenador Regional do Projeto Biomas Caatinga, o pesquisador da Embrapa Dr. Lúcio Alberto Pereira, pelo incentivo durante a realização dos trabalhos.

À família do Sr. Wellington Gomes, proprietário da Fazenda Triunfo, que nos recebeu com muito carinho e dedicação.

Aos grandes amigos, Dra. Edineide Barbosa (DR2) da empresa FungiAgro e ao Mestre Magnum Pereira, parceiros de todas as horas.

Ao Prof. Dr. Franklin Gondim Aragão, professor do IFCE – Campus Maracanaú por ter disponibilizado seu laboratório, pela parceria e conselhos nos momentos de aprendizado e conhecimento na área de bioquímica.

Aos amigos e sócios da empresa Argus Engenharia Ambiental Stênya Daniele e Gustavo Ávila.

Aos meus alunos Bianca, Railane, Thales, Orlando, Roselane e Mariana que conseguiram desenvolver suas atividades de forma espontânea e voluntária.

Aos amigos Carlos Levi, Dimitri Matos e Isabel Cristina que fizeram a diferença na amizade e nos momentos necessários.

Ao Técnico do Programa Biomas, José Antônio Sampaio de Matos, por seu profissionalismo, apoio e dedicação ao trabalho.

Ao Dr. Carlos Henrique pela contribuição e ensinamento em campo, e ao Pesquisador Dr. Marlon Bezerra/Embrapa pelo apoio e presteza.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Ciências do Solo/UFC pela amizade e valorosa contribuição durante as disciplinas do curso.

Aos colegas da turma de mestrado e doutorado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

“O homem agride a terra, rasgando-a e queimando-a e esta, por vingança dá-lhe flores e frutos.”

RESUMO

Os hidrogéis (compostos de poliacrilamida - PAM) e a bagana de carnaúba têm sido indicados para uso na agricultura como condicionadores de solo, pois, hidrogéis podem absorver grandes quantidades de água, elevando a retenção desta pelo solo, e a bagana de carnaúba em cobertura reduz a perda da água armazenada. Em função disso, ambos têm seu uso proposto para a revegetação de áreas degradadas. Portanto, hipotetiza-se que a utilização de hidrogel associado à bagana de carnaúba beneficia o estabelecimento do tamboril [*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong] e pode melhorar a qualidade de solos degradados no semiárido. Ante isso, objetivou-se determinar a dose de hidrogel mais adequada para o estabelecimento do tamboril em dois ambientes distintos; a eficiência da associação de doses de hidrogel com e sem adição da bagana de carnaúba e os efeitos da combinação hidrogel-bagana na estrutura do solo e frações do carbono orgânico. Para tanto, foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro composto pelo plantio de mudas de tamboril em vasos de 24 kg. Neste utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em parcela subdividida, sendo as parcelas formadas por dois ambientes de luminosidade distintos: sol pleno e com redução de 50% da luminosidade e as subparcelas por dez doses de hidrogel: 0,0; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 e 6,0 g L⁻¹. O segundo foi conduzido em campo, num Planossolo Háplico degradado do município de Ibareta, estado do Ceará. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2 X 4 com cinco repetições. Os tratamentos foram com e sem adição de bagana de carnaúba em cobertura e quatro doses de hidrogel (0,0; 4,0; 5,0 e 6,0 g L⁻¹). Determinou-se, ao final do experimento 1, a altura, o diâmetro, o comprimento e diâmetro da raiz e determinou-se a matéria seca da parte aérea, da raiz e os teores de solutos orgânicos. Ao longo do experimento 2, avaliou-se também a biometria por meio da altura e diâmetro do coleto das plantas; a sobrevivência das mudas; o potencial hídrico foliar e o potencial mátrico do solo, e atributos físico-químicos do solo: densidade, porosidade, estabilidade dos agregados e o fracionamento físico da matéria orgânica. Constatou-se que a aplicação de hidrogel a partir da dose de 3,0 g L⁻¹ incrementa o crescimento e a matéria seca do tamboril, sobretudo na condição de sombreamento. Em campo concluiu-se que o melhor desenvolvimento do tamboril foi conseguido com a associação da bagana de carnaúba e hidrogel, sobretudo nas doses 4,0 e 5,0 g L⁻¹ por planta, uma vez que essas melhoram a retenção da água no solo, o suprimento hídrico, conseqüentemente, o crescimento em altura e diâmetro do tamboril cultivado em área degradada do semiárido.

PALAVRAS CHAVE: polímeros, reflorestamento, qualidade do solo.

ABSTRACT

The hydrogels (compounds of polyacrylamide - PA) and carnauba straw have been indicated for use in agriculture as soil conditioners, for hydrogels can absorb large amounts of water, increasing the retention of this the ground, and carnauba straw coverage reduces the loss of stored water. As a result, both have their use proposed for the revegetation of degraded areas. So if hypothesized that the use of hydrogel associated with carnauba straw benefits the establishment of tamboril [*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong] and improves the quality of degraded soils in the semiarid region. At that aimed to determine the most appropriate dose of hydrogel for the establishment of tamboril in two different environments; the efficiency of hydrogel-dose association with and without the addition of carnauba straw and effects of the combination hydrogel-bagana on soil structure and soil organic carbon fraction. Therefore, two experiments were performed, the first consisting of the planting of seedlings tamboril in 24 kg pots. This was used a completely randomized design (CRD) in a split plot, and the plot formed by two different lighting environments: full sun and 50% reduction in brightness and subplots for ten hydrogel doses: 0.0; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5; 4.0; 4.5; 5.0; 5,5 and 6,0 g L⁻¹. The second was conducted in the field, a Planosol Haplic shanty town of Ibaretama (CE). The design was a randomized blocks (RBD) in factorial arrangement 2 x 4 with five repetitions. The treatments were four hydrogel doses (0.0, 4.0, 5.0 and 6.0 g L⁻¹) and treatments with and without the addition of carnauba straw cover. It was determined at the end of the experiment 1 height, diameter, length and diameter of the root and shoot dry matter (SDM), root dry matter (RDM) and organic solutes levels. Throughout the field experiment was also evaluated by means of biometrics height and stem diameter of plants; the survival of seedlings; the total water potential and matric, and physico-chemical soil properties: density, porosity, aggregate stability and physical fractionation of organic matter. It was found that the application of hydrogel from 3.0 g L⁻¹ increases the growth and tamboril dry matter, especially in shadowing condition. In the field it was concluded that the best development tamboril was achieved with the combination of carnauba straw and hydrogel, especially in the doses 4.0 and 5.0 g L⁻¹ plant by, since they improve water retention in soil, the water supply and consequently the growth in height and diameter of tamboril grown in semi-arid degraded area.

KEYWORDS: polymers, reforestation, soil quality.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Raiz tuberosa da muda de tamboril [*Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong], raiz sem e com hidrogel após 72 dias46
- Figura 2.** Dados de altura (A) e diâmetro do coleto (B) de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong em função de doses de hidrogel e ambientes de luminosidade distintos (sol pleno e telado)48
- Figura 3.** Matéria seca da parte aérea - MSPA (A), Matéria seca da raiz - MSR (B), Relação MSPA/MSR (C), Comprimento da raiz - CR (D) e Diâmetro da raiz - DR (E) do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel e ambientes de luminosidade distintos (sol pleno e telado).....51
- Figura 4.** Solutos orgânicos: proteínas solúveis foliares ($\mu\text{g g}^{-1}$) (A) e radiculares (B), carboidratos solúveis foliares ($\mu\text{mol g}^{-1}$) (C) e radiculares (D), prolina foliar (mmol kg^{-1}) (E) e radicular (F) do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel e ambientes de luminosidade distintos (sol pleno e telado)54

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Localização da área experimental, município de Ibareta, CE.....63
- Figura 2.** Croqui da área experimental, Ibareta, CE65
- Figura 3.** Atividades de implantação do Experimento de campo, Fazenda Triunfo, Ibareta, CE. A) Mudanças de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong. B) Abertura das covas. C) Cova preparada. D) Hidratação do hidrogel. E) Aplicação do Hidrogel. F) Piquete com identificação do tratamento. G) Plantio das mudas. H) Área implantada.....67
- Figura 4.** Uso da malha plástica para proteção da cobertura morta (bagana de carnaúba), Fazenda Triunfo, Ibareta, CE.....68
- Figura 5.** Instalação do tensiômetro a profundidade de 20cm A) e tensímetro de punção B). Detalhe da leitura em kPa C), Fazenda Triunfo, Ibareta, CE 70
- Figura 6.** Amostras de solo deformadas e de torrões para a determinação de atributos

físicos do solo por meio da abertura de uma vala A); da Coleta de amostra deformada B); da Coleta de torrões C), com Destaque da amostra em torrões D) Acondicionamento da amostra E). Fazenda Triunfo, Ibareta, CE.....71

Figura 7. Linha do tempo das atividades desenvolvidas no experimento de campo.....74

Figura 8. Altura de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel, na presença e ausência de cobertura morta de bagana de carnaúba75

Figura 9. Diâmetro do coleto de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel, com e sem cobertura morta (bagana de carnaúba)76

Figura 10. Potenciais hídricos (Ψ_w), em Bar, obtidos pela Bomba de Scholander em plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel.....79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1.** Atributos químicos e granulométricos do solo utilizado no experimento em vasos - área do telado, Maracanaú, CE44
- Tabela 2.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos de crescimento do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel e desenvolvido em dois ambientes.....47
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores de solutos orgânicos do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel e ambientes de luminosidade distintas (sol pleno e telado)53

CAPÍTULO II

- Tabela 1.** Propriedades químicas e granulométricas do solo da área do experimento de campo, Ibareta, CE65
- Tabela 2.** Caracterização química da bagana de carnaúba utilizada no experimento de campo, Ibareta, CE66
- Tabela 3.** Dados mensais da precipitação e da lâmina da irrigação de sobrevivência aplicada às plantas do experimento de campo, Ibareta, CE68
- Tabela 4.** Percentagem de sobrevivência de mudas *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel, com e sem cobertura morta (bagana de carnaúba), 308 dias após o plantio.....73
- Tabela 5.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura e diâmetro do coleto de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a dois tipos de cobertura do solo e quatro doses de hidrogel, avaliadas a cada 28 dias ao longo de 308 dias após o plantio.....74
- Tabela 6.** Resumo da análise de variância (ANOVA) do potencial hídrico foliar (Ψ_w) obtido pela Bomba de Scholander em plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong avaliadas com e sem bagana em diferentes doses de hidrogel78

| | |
|---|----|
| Tabela 7. Efeito da cobertura morta no potencial hídrico (Ψ_w), em Bar, do <i>Enterolobium contortisilliquum</i> (Vell.) Morong submetido a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel | 78 |
| Tabela 8. Resumo da análise de variância (ANOVA) do potencial mátrico do solo medido por tensiômetro de punção em tratamentos com e sem bagana em diferentes doses de hidrogel | 80 |
| Tabela 9. Dados da interação cobertura do solo \times doses de hidrogel para o potencial mátrico do solo - Ψ_m (mca) | 80 |
| Tabela 10. Resumo da análise de variância (ANOVA) para análises físicas do solo cultivado com plantas de <i>Enterolobium contortisilliquum</i> (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem cobertura morta (bagana de carnaúba) e doses de hidrogel | 81 |
| Tabela 11. Valores médios da densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total do solo cultivado com plantas de <i>Enterolobium contortisilliquum</i> (Vell.) Morong e adicionado de doses de hidrogel, com e sem cobertura morta (bagana de carnaúba) | 82 |
| Tabela 12. Estabilidade dos agregados do solo 365 dias após o cultivado com plantas de <i>Enterolobium contortisilliquum</i> (Vell.) Morong submetidas a dois tipos de cobertura do solo e cinco doses de hidrogel..... | 83 |
| Tabela 13. Percentagem de estabilidade dos agregados do solo submetido a dois tipos de cobertura e quatro doses de hidrogel, 365 dias após o plantio | 84 |
| Tabela 14. Resumo da análise de variância (ANOVA) para o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de solo cultivado com plantas de <i>Enterolobium contortisilliquum</i> (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel..... | 85 |
| Tabela 15. Valores médios do diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de solo cultivado com plantas de <i>Enterolobium contortisilliquum</i> (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel..... | 85 |
| Tabela 16. Resumo da análise de variância (ANOVA) para o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado a minerais (COM) de solo cultivado com plantas de <i>Enterolobium contortisilliquum</i> (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel..... | 86 |

| | |
|--|----|
| Tabela 17. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado a minerais (COM) do solo em g kg ⁻¹ , cultivado com plantas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel..... | 86 |
|--|----|

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 18 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 20 |
| 2.1 Áreas degradadas | 20 |
| <i>2.1.2 Espécies para revegetação de áreas degradadas</i> | <i>23</i> |
| <i>2.1.3 Respostas bioquímicas das plantas ao déficit hídrico</i> | <i>24</i> |
| 2.2 Alternativas para favorecer a revegetação de áreas degradadas | 25 |
| <i>2.2.1 Aplicação de polímeros hidrorretentores (hidrogéis)</i> | <i>25</i> |
| <i>2.2.2 Cobertura morta (mulching).....</i> | <i>27</i> |
| 2.3 Efeitos dos condicionadores na qualidade do solo..... | 29 |
| 2.4 Revegetação de áreas degradadas e o sequestro de carbono no solo | 31 |
| REFERÊNCIAS | 34 |
| CAPÍTULO I | 41 |
| 1. INTRODUÇÃO | 42 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 43 |
| <i>2.1 Avaliações.....</i> | <i>45</i> |
| <i>2.1.1 Atributos indicativos de crescimento das plantas</i> | <i>45</i> |
| <i>2.1.2 Teores de Solutos orgânicos</i> | <i>46</i> |
| <i>2.1.3 Análises estatísticas.....</i> | <i>46</i> |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 47 |
| <i>3.1 Atributos de crescimento das plantas.....</i> | <i>47</i> |
| <i>3.2 Teores de solutos orgânicos.....</i> | <i>53</i> |
| 4. CONCLUSÕES..... | 56 |
| REFERÊNCIAS | 57 |
| CAPÍTULO II..... | 61 |
| 1. INTRODUÇÃO | 62 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 63 |
| <i>2.1 Localização, clima e solo da área experimental.....</i> | <i>63</i> |
| <i>2.2. Delineamento experimental.....</i> | <i>64</i> |
| <i>2.3 Caracterização do solo, da bagana de carnaúba e do Hidrogel</i> | <i>65</i> |
| <i>2.4. Instalação e condução do experimento.....</i> | <i>66</i> |
| <i>2.5 Avaliações.....</i> | <i>69</i> |
| <i>2.5.1 Crescimento das plantas.....</i> | <i>69</i> |

| | |
|---|-----------|
| 2.5.2 <i>Potencial hídrico foliar (Ψ_w)</i> | 69 |
| 2.5.3 <i>Potencial Mátrico do solo (Ψ_m)</i> | 69 |
| 5.2.5.4 <i>Atributos físicos do solo</i> | 71 |
| 2.5.5 <i>Aporte de carbono do solo</i> | 72 |
| 2.5.6 <i>Sobrevivência das plantas</i> | 72 |
| 2.5.7 <i>Análises estatísticas</i> | 73 |
| 2.5.8. <i>Cronograma das atividades</i> | 74 |
| 3. RESULTADO E DISCUSSÃO | 74 |
| 3.1. <i>Crescimento e estabelecimento das plantas em campo</i> | 74 |
| 3.2 <i>Potencial hídrico foliar e potencial mátrico do solo</i> | 77 |
| 3.3. <i>Atributos físicos e químicos do solo</i> | 81 |
| 4. CONCLUSÕES | 87 |
| REFERÊNCIAS | 88 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

As regiões semiáridas cobrem grandes áreas do globo terrestre e caracterizam-se pelo curto período chuvoso; também apresentam elevado potencial de salinização, erosão do solo e grande variabilidade temporal das precipitações que ocasionam problemas de disponibilidade hídrica e dificultam demasiadamente a recuperação de áreas degradadas.

O surgimento de hidrogéis (polímeros hidrorretentores ou superabsorventes) ocorreu na década de 50, mas sua utilização no Brasil data do final da década de 90. Os hidrogéis compostos de poliacrilamida (PAM) têm sido indicados para uso na agricultura como condicionadores de solo. Essa indicação se deve ao fato dos hidrogéis garantirem elevada retenção de umidade devido a sua relação massa/volume proporcionar a retenção de até 400 vezes sua massa em água.

A elevada capacidade de retenção de água pelo hidrogel representa bom potencial para sua utilização em projetos de recuperação de áreas degradadas, sobretudo em regiões semiáridas. Nessas regiões a água, devido à irregularidade pluviométrica, é o maior fator limitante ao estabelecimento de plantas, e o solo é muito susceptível à degradação por processos erosivos. Essa degradação causa perda de solo, com destaque para a camada superficial, resultando em perda de matéria orgânica e de nutrientes, levando ao empobrecimento do solo, além de perda da estrutura e da capacidade de armazenamento de água, dificultando ainda mais a recuperação desses solos.

Nesse contexto, o hidrogel pode ser uma alternativa promissora na revegetação de áreas degradadas, pois pode atuar como condicionador de solo aumentando o armazenamento de água na capacidade de campo (CC). O aumento da CC ocorre devido à elevada absorção da água (proveniente de precipitações e/ou irrigações) pelo hidrogel. Portanto, o polímero melhora a disponibilidade hídrica para as plantas e favorece o estabelecimento inicial de plantas em áreas com problemas hídricos.

Vale destacar que a utilização do hidrogel é, sobretudo, importante em regiões onde as precipitações excedem a capacidade de campo do solo e acarretam perdas de água em função de sua percolação para além do sistema radicular das plantas. Tal condição é comum em regiões semiáridas nordestinas, onde as precipitações ocorrem, por vezes, em grandes volumes e baixa frequência, contribuindo para a baixa disponibilidade hídrica e a dificuldade da revegetação de áreas degradadas.

Outro condicionador de solo que tem sido muito utilizado em regiões semiáridas do nordeste brasileiro é a bagana de carnaúba, subproduto da extração da cera das folhas da

carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore), espécie nativa e abundante na região semiárida nordestina. Quando a bagana é utilizada como cobertura morta, geralmente, reduz as perdas de água por evaporação e mantém por mais tempo a umidade do solo; protege o solo contra o impacto das gotas da chuva, reduzindo os riscos de erosão; reduz o aparecimento de ervas daninhas e disponibiliza nutrientes.

Apesar dos benefícios mencionados em relação à utilização de hidrogéis e da cobertura morta com bagana de carnaúba, muito ainda deve ser investigado, principalmente quando se trata da combinação hidrogel-bagana de carnaúba como condicionadores de solo para estabelecimento de mudas arbóreas em áreas degradadas no semiárido. Em função disso, foram lançadas as hipóteses de que diferentes condições de sombreamento alteram a recomendação das doses de hidrogel para espécies nativas do semiárido. Além disso, que o uso de hidrogel, isolado ou associado à cobertura morta (bagana de carnaúba), beneficia o estabelecimento de espécies nativas em áreas degradadas do semiárido e melhora atributos de qualidade do solo.

Portanto, objetivou-se determinar as melhores condições de estabelecimento de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong na relação entre cobertura morta (bagana de carnaúba) com diferentes doses de hidrogel em área degradada do semiárido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Áreas degradadas

Tomando por base alguns conceitos, afirma-se que uma área degradada é um ambiente que teve suas características originais modificadas além do limite de recuperação natural dos solos, o que envolve a redução dos potenciais recursos renováveis por uma combinação de processos (NOFFS *et al.*, 2011; ARAÚJO *et al.*, 2007).

As áreas degradadas em diferentes graus de severidade, desde leve a muito severa, correspondem a aproximadamente 65% em todo o mundo, segundo dados da FAO (2009). No Brasil essas áreas compreendem 81%, distribuídos por todo o país, sobretudo nos estados do Nordeste, que apresentam perda da qualidade do solo, sendo as práticas agrícolas consideradas uma das principais atividades degradantes.

Além das atividades agrícolas (DU PREEZ *et al.*, 2011), existem incontáveis ações que proporcionam degradação das terras, dentre as quais estão: atividades de mineração, tal como mineração de areia a céu aberto (FAJARDO *et al.*, 2013), mineração de ferro (ARAÚJO; COSTA, 2013), mineração de vermiculita e caulim (TRAJANO, 2010) e mineração de diamantes (ALMEIDA-FILHO; CARVALHO 2010); conversão da floresta em pastagens degradadas (SAMPAIO *et al.*, 2010) e até drenagem em áreas de turfeira para conversão agrícola (CABEZAS *et al.*, 2013).

Em solos de áreas degradadas ocorrem muitas limitações que dificultam sua recuperação. Uma dessas limitações é o baixo pH e os elevados teores de Al^{3+} e de $H + Al$ (LEITE *et al.*, 2010) devido ao intensivo uso agrícola que, em consequência, ocasiona efeitos negativos na disponibilidade dos nutrientes afetando o crescimento de plantas a serem utilizadas no reflorestamento (SOUZA *et al.*, 2007).

Outras limitações importantes são a deficiência hídrica e o declínio da matéria orgânica (MO) que desempenha papel central na qualidade dos solos (TORRES *et al.* 2006; DU PREEZ *et al.*, 2011). Com o decaimento nos teores de MO do solo reduz-se a capacidade de troca catiônica e também surgem limitações nutricionais, relacionadas ao nitrogênio (N) que é fornecido pela matéria orgânica e essencial ao crescimento vegetal, sobretudo nas regiões semiáridas (TORRES *et al.*, 2006; FRAGA; SALCEDO, 2004).

Limitações de natureza física também estão presentes em solos degradados, sendo verificados altos valores de resistência à penetração de raízes (CAMPOS; ALVES, 2006), maior quantidade de agregados com menores diâmetros ($< 0,5$ mm), menor diâmetro de

agregados e até mesmo a não formação de agregados, além da baixa porosidade. Torna-se necessário recuperar tais propriedades (SAMPAIO *et al.*, 2012), haja vista que essas influenciam diretamente na capacidade de armazenamento de água do solo, no desenvolvimento vegetal e equilíbrio ambiental.

Ante tantas limitações, revegetar áreas degradadas ainda é um grande desafio que justifica a busca por estratégias que visem à melhoria, pelo menos parcial, dos fatores mais limitantes ao desenvolvimento das plantas para garantir o estabelecimento de espécies nativas pioneiras importantes na recuperação dessas áreas.

2.1.1 Recuperação de áreas degradadas no semiárido

Em todo o mundo, regiões semiáridas cobrem aproximadamente 15% da superfície (SAFRIEL; ADEEL 2005) e apresentam a maior taxa de expansão dentre os subtipos de terras secas globais (HUANG *et al.*, 2016). Tais regiões apresentam ecossistemas distintos e frágeis á ações antrópicas e á mudanças climáticas (HUANG *et al.*, 2016; ROTENBERG; YEL-HADYAKIR, 2010), sendo ambos fatores considerados os principais responsáveis para a degradação dos solos semiáridos.

No Brasil, a área semiárida cobre aproximadamente 10% (982,6 mil km²) do território nacional (MMA, 2009), sendo distribuída em grande parte nos estados do Nordeste e também no Norte de Minas Gerais (MAPA, 2012). Essa região é caracterizada pelo déficit hídrico, devido à elevada evaporação (média de 3.000 mm ano⁻¹) se sobrepõe às precipitações (variando de 200 mm a 800 mm anuais) (ASA, 2014) que se concentram num período de aproximadamente quatro meses por ano.

Áreas degradadas em regiões áridas e semiáridas, além dos problemas comuns observados sob outras condições climáticas, apresentam maior potencial de salinização, devido à alta evaporação e às baixas características nutricionais dos solos (ACOSTA *et al.*, 2011); aumento do *turnover* da matéria orgânica, devido às elevadas temperaturas (BRACHO *et al.*, 2016); erosão do solo, devido à vegetação predominante associada à intensidade das chuvas, bem como problemas de disponibilidade hídrica em virtude da variabilidade temporal das precipitações e reduzida quadra chuvosa. Com esse panorama climático, a recomposição vegetal no semiárido enfrenta grandes desafios, sobretudo pelas limitações hídricas (OCHOA *et al.*, 2016).

Estudos buscando recuperar áreas degradadas no semiárido têm utilizado diversas estratégias, algumas bem sucedidas, como é o caso do plantio da *Acacia salicina* em áreas

degradadas de pastagens do Norte Africano. Nesse caso, 13 anos após o plantio das árvores, a área apresentou razoável diversidade, além de melhorias na fertilidade do solo que facilitou o estabelecimento e crescimento da vegetação rasteira. Assim, essa estratégia foi considerada uma ferramenta útil de restauração (JEDDI; CHAIEB, 2012).

Em solos degradados de uma jazida de mineração de ferro, localizada na região semiárida do Ceará, Araújo; Costa (2013) verificaram o potencial de resíduos orgânicos de fazendas de camarão em alterar os rejeitos da mina de modo a proporcionar o crescimento de espécies arbóreas. As autoras citadas constataram que há uma dose ideal do resíduo capaz de proporcionar o maior crescimento das plantas; que *M. caesalpiniaefolia* Benth e *M. hostilis* Benth conseguiram remover sódio (Na) proveniente do resíduo orgânico usado para melhorar as condições dos rejeitos, além de que a *L. leucocephala* (Lam.) de Wit foi espécie mais bem adaptada a ambientes de seca em virtude de sua maior relação raiz / parte aérea.

Segundo Nascimento *et al.* (2015), outro resíduo promissor para viabilizar o crescimento de leguminosas (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e *Leucaena leucocephala*) em solo degradado pela erosão é o da indústria de beneficiamento de aves (resíduo da estação de tratamento de origem do abate de aves e composto por sangue, gorduras, excrementos, etc.). Segundo os autores, doses entre 1.000 e 4.000 kg ha⁻¹ do resíduo, além de favorecer o crescimento das espécies, promoveu maior absorção de nutrientes e produção de matéria seca, podendo favorecer a recuperação dessas áreas em longo prazo.

Em área semiárida do município de Patos-PB, com solos erodidos e incipiente regeneração dos estratos herbáceo e lenhoso, resultantes da exploração madeireira e do superpastejo dos animais por período aproximado de 30 anos, Araújo (2010) avaliou o crescimento inicial das espécies arbóreas nativas: catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e faveleira (*Cnidocolus quercifolius*). O autor constatou que a sobrevivência das mudas foi maior que 90% e que *Mimosa tenuiflora* superou as duas outras espécies em comprimento, diâmetro basal e cobertura do solo.

No Piauí, região também situada no Nordeste semiárido do Brasil, Araújo *et al.* (2014) mostraram que a restauração de áreas degradadas por meio da construção de terraços e do plantio de plantas herbáceas como *Crotalaria juncea* e *Panicum maximum* é capaz de aumentar a atividade e diversidade bacteriana, provavelmente melhorando o funcionamento da área anteriormente degradada. Apesar disso, os autores destacaram que a composição bacteriana das áreas restauradas diferiu da encontrada em áreas nativas, o que pode acarretar em mudanças substanciais no funcionamento dos ecossistemas restaurados e representa um alerta sobre a importância na escolha das estratégias e das espécies a serem utilizadas em

projetos de recuperação de áreas degradadas.

2.1.2 Espécies para revegetação de áreas degradadas

Para a revegetação de áreas degradadas a escolha das espécies a ser utilizadas é um dos principais fatores a se considerar, juntamente com a sucessão ecológica que inclui a utilização de espécies pioneiras de crescimento rápido, resistentes à seca e à alta luminosidade, sendo capazes de crescer em solos com baixos teores de nutrientes. Dentre as espécies com as características supracitadas podem-se destacar as plantas nativas ou endêmicas, por serem adaptadas às condições climáticas da área (LI *et al.*, 2003 e CHANEY *et al.*, 2007).

Cumprindo os requisitos supracitados, as leguminosas estão dentre as espécies mais utilizadas na recuperação de áreas degradadas. Tal fato se deve à capacidade que essas plantas têm de fixar nitrogênio atmosférico, um importante nutriente para o estabelecimento inicial das plantas (BHASKAR *et al.*, 2016; HOULTON *et al.*, 2008). Esse nutriente geralmente é limitante em solos degradados devido ao fato que sua principal fonte é a matéria orgânica, componente do solo geralmente perdido no processo de degradação (DU PREEZ *et al.*, 2011).

Dentre as leguminosas, várias têm se mostrado promissoras para a revegetação de áreas degradadas, como é o caso da *Albizia lebeck* (mata-fome), *Anadenanthera macrocarpa*, *Mimosa caesalpinenafolia* e *Mimosa artemisiana*, além de espécies de outras famílias, como a *Ochroma pyramidale*, uma Malvaceae indicada por Pereira; Rodrigues (2012) por se adaptar às condições do cerrado brasileiro. No semiárido cearense, com exceção da *Albizia lebeck*, as leguminosas *Gliricidia sepium*, *Caesalpinia ferrea*, *Mimosa hostilis*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa caesalpinifolia* e *Parkinsonia aculeata* são indicadas por Araújo Filho *et al.* (2007) como adequadas para programas de recuperação florestal de áreas degradadas.

Outra leguminosa que apresenta potencial para utilização nos estágios iniciais da revegetação em áreas degradadas é o tamboril [*Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong] (HOLANDA *et al.*, 2010). Trata-se de uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae (leguminosa), também conhecida como: orelha de negro, timbaúba, timbó e tamborim. É árvore pioneira (MELO *et al.*, 2008), fato relevante no processo de recuperação pelos princípios da sucessão ecológica. Ocorre na floresta estacional semidecidual, floresta ombrófila densa, floresta estacional decidual, com distribuição geográfica nos Estados de BA, CE, ES, GO, MG, MS, MT, PE, PI, PR, RJ, RS, SC, SE e SP (IPEF, 2014).

O *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong é uma espécie caducifólia, muito indicada para reflorestamento em plantios mistos de áreas degradadas, principalmente por seu crescimento inicial rápido (LORENZI, 1992), podendo se desenvolver em vários níveis de luminosidade (LIMA *et al.*, 2010; MELO *et al.*, 2008). Além disso, pode ser utilizada como fonte de madeira de construção, madeira para carvão, celulose, dentre outras aplicações (IPEF, 2014).

Ainda como características dessa espécie tem-se a presença de nódulos e de raiz tuberosa desde a fase de muda (BARRETO; FERREIRA, 2011), sendo a presença desse tipo de raiz um indício adaptativo dessa espécie para superar condições de estresses, sobretudo o hídrico (MANTOVANI; MARTINS, 1988).

2.1.3 Respostas bioquímicas das plantas ao déficit hídrico

Na avaliação do potencial de uma espécie para uso na revegetação de áreas degradadas em regiões semiáridas deve-se considerar, dentre outros aspectos, as respostas bioquímicas ao déficit hídrico. Isso ocorre porque dentre os vários fatores abióticos que podem induzir estresses em plantas e afetar seu crescimento e produtividade, a deficiência hídrica é considerada a mais restritiva. Quando há déficit hídrico mesmo leve, as plantas têm seus processos metabólicos alterados (MULLER *et al.*, 2011; DEEBA *et al.*, 2012).

Algumas das alterações metabólicas das plantas sob estresse hídrico são: redução ou até o fechamento completo dos estômatos, redução da área foliar até cessar o crescimento; alteração na razão raiz/parte aérea e modificações na produção de ácido abscísico (WANG *et al.*, 2016; DANTAS, 2014; SOUZA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2010).

As plantas desenvolveram evolutivamente alguns mecanismos para reduzir os efeitos do déficit hídrico em seu desenvolvimento. O primeiro deles é a redução da condutância estomática que visa reduzir as perdas de água por transpiração, mas sem afetar a assimilação de moléculas de CO₂, portanto, mantendo a taxa fotossintética (ALVES; SETTER, 2004). Outra estratégia comum é a alocação de fotoassimilados da parte aérea para a parte subterrânea, favorecendo o crescimento de raízes na busca de locais mais úmidos do solo (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em algumas espécies ocorrem modificações bioquímicas capazes de proporcionar o acúmulo de solutos dentro da planta, favorecendo assim a absorção de água do solo e, conseqüentemente, reduzindo o potencial hídrico interno. Essas alterações são denominadas ajustamento osmótico (SILVA *et al.*, 2010).

Sob o ponto de vista fisiológico, o incremento na concentração de compostos orgânicos solúveis no citoplasma dessas plantas serve para balancear os potenciais osmóticos entre o citoplasma e vacúolo, evitando possíveis danos aos sistemas enzimáticos e mantendo a turgescência das células (MUNNS, 2002).

Dentre esses compostos orgânicos presentes em plantas submetidas ao estresse hídrico, estão os de baixo peso molecular como a prolina (PÉREZ-PÉREZ *et al.*, 2009) e glicina betaína (compostos de amônio quaternários) (BAJJI *et al.*, 2001). Carboidratos solúveis também são presentes em plantas sob estresse hídrico e contribuem com o ajustamento osmótico (BAJJI *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2010). Além desses, alterações nos teores de potássio têm sido documentadas como grandes contribuintes para a osmorregulação das plantas (WANG *et al.*, 2016; HUMMEL *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010).

Segundo Silva *et al.* (2010), a concentração de açúcares solúveis totais em folhas e raízes de pinhão manso (*Jatropha curcas*) aumentou com o déficit hídrico severo, sendo estes compostos os que apresentaram maior contribuição relativa para o ajuste osmótico em comparação a aminoácidos livres e glicina betaína. Nesse estudo os autores também concluíram que o papel da prolina foi quantitativamente insignificante em termos de ajustamento osmótico.

Vale destacar que as respostas das plantas à seca, por meio do mecanismo de ajustamento osmótico, dependem de uma série de fatores, tais como a intensidade, duração e estágio de desenvolvimento em que o estresse hídrico ocorre; as espécies de plantas e as interações com outros fatores ambientais (WANG *et al.*, 2016; TOZZI *et al.*, 2013).

Segundo Munns (2002), um dos requisitos mais importantes para que as plantas realizem o ajustamento osmótico é a disponibilidade de adenosina trifosfato (ATP), haja vista que são necessários de 30 a 60 números de moles de ATP (34 para manitol, 41 para prolina, 50 para glicina betaína e aproximadamente 52 para sacarose) para sintetizar ou acumular um mol de um composto orgânico, o que torna ainda difícil avaliar as respostas bioquímicas das plantas em condições de estresse hídrico, uma vez que o composto citado não foi estudado.

2.2 Alternativas para favorecer a revegetação de áreas degradadas

2.2.1 Aplicação de polímeros hidrorretentores (hidrogéis)

Os hidrogéis são polímeros hidrofílicos de matriz tridimensional (3D) e constituídos por cadeias lineares ou ramificadas. São capazes de absorver água ou outros fluídos

biológicos de 10% até centenas de vezes sua massa seca (HENNINK; VAN NOSTRUM, 2012; SILVA, 2007), sendo essa água retida irreversivelmente, fracamente por curtos períodos de tempo ou fracamente por longos períodos de tempo (TERRACOTTEM; VILJOEN, 1977).

Dentre os hidrogéis capazes de reter água fracamente por um longo período de tempo estão os compostos de poliacrilamida (PAM) que têm recebido grande destaque no cenário mundial (ALMEIDA, 2008), sobretudo por sua utilização agrícola. Vale destacar que além dos hidrogéis PAM, cuja absorção de água ocorre por meio da formação de pontes de hidrogênio, existem também os poliacrilatos de sódio (PAS) e de potássio que diferem do anterior pelo mecanismo de absorção ocorrer por osmose (MARCONATO, 2002).

São diversos os trabalhos que mostram os efeitos positivos da aplicação do polímero hidrogel no solo, bem como na produção vegetal. Num cultivo de tomate em solo arenoso, El-Hady *et al.* (2016) constataram melhorias nas propriedades hídricas em parcelas que continham hidrogel. Marques *et al.* (2013) também verificaram que mudas de cafeeiro irrigadas apresentavam a mesma altura de plantas não irrigadas que receberam de 1,0 a 3,0 g de hidrogel por saco e sugeriram que o hidrogel pode atuar como substituto da irrigação, na dose de 2,0g por saco aplicado diretamente na muda em saco de polietileno.

Para a recuperação de áreas degradadas, sabendo-se que a disponibilidade de água é uma limitação fundamental para o crescimento vegetal, o hidrogel se destaca pelo potencial de fornecer água para as plantas a um custo menor do que os métodos de irrigação convencionais (FAJARDO *et al.*, 2013). Koupai, Eslamian e Kazemi (2008) constataram que a aplicação de hidrogéis resulta em diminuição significativa na frequência de irrigação, principalmente para solos de textura arenosa, destacando a importância do uso do hidrogel em regiões áridas e semiáridas do mundo.

Koupai, Sohrab e Swarbrick (2008) verificaram que a incorporação de hidrogéis, além de alterar características de retenção de água do solo, aumenta o teor de água saturada e residual na faixa de potencial mátrico de 0 a 15 bar. Segundo os autores, a incorporação de hidrogéis garante liberação da água em baixo potencial matricial, particularmente para solo argiloso, e que a aplicação de 8 g kg⁻¹ de hidrogel em solo arenoso aumenta a retenção de água aproximadamente três vezes em comparação a situação sem aplicação de hidrogel, sendo importante em regiões áridas e semiáridas do mundo.

Em solos de floresta degradados pela mineração de areia a céu aberto, Fajardo *et al.* (2013) verificaram que dentre oito tratamentos combinando hidrogel, fertilizantes e água, o tratamento com hidrogel isoladamente esteve dentre os que proporcionaram maior crescimento e sobrevivência de cinco espécies de árvores nativas (*Tecoma stans*, *Bulnesia*

arborea, *Piscidia carthagenensis*, *Prosopis juliflora* e *Cercidium praecox*), além disso, foi o tratamento com maior relação benefício/custo e o que proporcionou a melhor logística.

Em solos degradados quimicamente pelo excesso de sais (Neossolo Flúvico Salino-sódico), Miranda *et al.* (2011) verificaram que a aplicação de hidrogel promoveu o aumento em 16% na macroporosidade, efeito atribuído pelos autores ao aumento no tamanho dos agregados como resultado da ação aglutinadora desse polímero.

Vale destacar o trabalho de Ruthrof *et al.* (2010), no qual foi demonstrado que a utilização de hidrogel em combinação com fertilizantes, foi menos efetiva para o crescimento e sobrevivência de mudas de *Eucalyptus gomphocephala* que o uso de fertilizantes isoladamente ou combinados com agentes quelantes. Tal resultado pode indicar a existência de efeitos negativos na associação fertilizantes-hidrogel, como relatado por Azevedo *et al.* (2006) ao avaliarem a capacidade de absorção do hidrogel em meio a soluções com diferentes fertilizantes.

Os autores supracitados constataram que tanto a condutividade elétrica da solução nutritiva quanto os fertilizantes interferiram na capacidade de retenção de água pelo hidrogel, sendo o sulfato de cobre e o sulfato de zinco os fertilizantes que mais reduziram a capacidade de retenção de água pelo hidrogel. Também verificaram a completa degradação do hidrogel na presença de sulfato ferroso num período de apenas 24 horas.

2.2.2 Cobertura morta (mulching)

Além da aplicação de hidrogel, o uso de cobertura morta (mulching) é outra alternativa que pode favorecer a o estabelecimento das plantas em áreas degradadas. Segundo Oliveira *et al.* (2008) a aplicação de cobertura morta é uma técnica que consiste em distribuir sobre a superfície do solo uma camada de palhas ou outros resíduos vegetais entre as linhas das culturas ou apenas até a projeção da copa das plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2008). Dentre as vantagens de se utilizar esta técnica está a conservação da água do solo (FIDALSKI *et al.*, 2010), que indiretamente proporciona menor oscilação da temperatura do solo; redução da erosão (SMOLIKOWSKI *et al.*, 2001), melhoria dos atributos físicos (CORRÊA, 2002) e redução de ervas daninhas (VALE; MEDEIROS, 2012).

A carnaúba, *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore é uma palmeira típica do Nordeste brasileiro, considerada um dos suportes da economia dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Maranhão, sendo encontrada também na Bahia, Alagoas e em Sergipe (LORENZI *et al.* 2004). Além do potencial paisagístico, a carnaúba pode ser utilizada na

construção civil, no artesanato e na fabricação de papel de alta qualidade. A cera obtida do pó cerífero que reveste as células epidérmicas das folhas, tem sido utilizada no revestimento de frutos “in natura” (MOTA *et al.*, 2006), sendo também utilizada na informática (ships, tonners, etc); como polidores (pisos, carros, couro, etc); na produção de tintas e em outras atividades industriais (CONAB, 2006).

A bagana de carnaúba é subproduto da retirada do pó cerífero. Após a secagem das plantas, realizada com a luz solar, ocorre a extração do pó e o rejeito das palhas se transforma em bagana, considerada um adubo orgânico. Nas indústrias, os rejeitos da filtração são também reciclados produzindo cera e novamente a bagana (CONAB, 2006).

Essa bagana tem sido utilizada com frequência e tem mostrado resultados promissores. Ziegler *et al.* (2011) verificaram o efeito do uso de bagana de carnaúba e do esterco de ovelha sobre a produtividade do milho (*Zea mays* L.) nas condições edafoclimáticas do litoral norte do Ceará, em ano de baixa pluviosidade. Os autores concluíram que a cobertura com bagana de carnaúba eleva a produção de grãos em condições de baixa pluviosidade, aproximando-a da média regional para anos normais. Os autores também constataram que a adubação à base de esterco de ovinos, isoladamente ou associada à bagana de carnaúba, reduz o impacto negativo do estresse hídrico sobre a cultura, embora com produtividade abaixo da média.

Em outro estudo, Vale e Medeiros (2012) constataram que para a produção da alface, o uso da bagana de carnaúba como cobertura de solo é suficiente para controlar as plantas daninhas e manter o potencial produtivo dos cultivares.

Efeitos da utilização da bagana em propriedades físicas do solo também têm sido estudados, apesar de que diferenças em resposta aos tratamentos são geralmente difíceis de identificar em curto prazo e dependem de outros fatores. Exemplo disso foi mostrado no estudo de cinco anos realizado por Ribeiro *et al.* (2007), no qual os autores verificaram que a condutividade hidráulica, porosidade total, da macro e micro porosidade não diferiram em resposta aos tratamentos que envolviam a adição de bagana de carnaúba. Os autores atribuíram essa resposta à condição textural do Argissolo utilizado no estudo e à baixa mobilidade em profundidade de alguns tratamentos.

Em se tratando dos efeitos do *mulching* em propriedades químicas dos solos cita-se o estudo de Rai *et al.* (2016) no qual foi mostrada a importância do *mulching* formado pela serapilheira de árvores tropicais de folhas caducas, plantadas sozinhas ou consorciadas com culturas agrícolas, na recuperação de áreas degradadas. Os autores citam que as espécies *Butea monosperma* e *Hardwickia binata* apresentam elevada produção de serapilheira e um padrão de perda de massa e liberação de nutrientes adequados para o sucesso de uma

recuperação.

No Canadá em áreas pantanosas salinas e degradadas, plantas de *Puccinellia phryganodes* crescidas em solo nu hipersalino apresentaram crescimento significativamente maior quando foi utilizado o *mulching* de turfa associado à adubação nitrogenada e fosfatada e mesmo quando adubação e *mulching* foram aplicadas isoladamente, o crescimento das plantas foi similar (HANDA; JEFFERIES, 2000), o que reforça a importância da utilização da cobertura morta.

Em seu estudo Yagioka *et al.* (2015) destacaram que a utilização do *mulching* composto de ervas daninhas no sistema plantio direto contribuiu para conservar o meio ambiente regional e global mediante a redução da lixiviação de nitrato e, de uma forma geral, atua na redução líquida do aquecimento global em relação as emissões de metano e o aumento do sequestro de carbono do solo.

2.3 Efeitos dos condicionadores na qualidade do solo

Segundo a Instrução Normativa Nº 35 do (MAPA, 2006), condicionador do solo é todo produto que promove melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrado nutricionalmente.

Nesse contexto, tanto os hidrogéis quanto a bagana de carnaúba têm potencial de atuarem como condicionadores de solo. No caso dos hidrogéis, sua capacidade de absorção de água contribui para a retenção desta no solo, contribuindo para algumas das suas propriedades físico-químicas como a umidade local (RAMEZANI *et al.*, 2013), a permeabilidade e a oxigenação do solo que, indiretamente, levam ao aumento na absorção de nitrogênio pelas plantas (CAMPOS *et al.*, 2015).

Além das contribuições já citadas nas propriedades dos solos, Demitri *et al.* (2013) verificaram que a utilização de hidrogel a base de celulose em áreas áridas e desérticas, além de controlar a liberação da água armazenada no solo seco, incrementou a porosidade do solo e, conseqüentemente, proporcionou melhor aeração para desenvolvimento radicular.

Gales *et al.* (2016), ao estudarem a interação entre um solo Chernozêmico Câmbico (textura argilosa) e o polímero hidrofílico derivado de poliacrilamida e acrilato de potássio, verificaram que o hidrogel aumentou a porcentagem de poros capilares em comparação aos não-capilares. Os autores também constataram que o hidrogel aumentou a densidade do solo e reduziu a porosidade total devido à expansão proporcionada pela absorção da água que causou o preenchimento de espaços dos poros. Apesar desses efeitos negativos mencionados, os

autores também observaram que o hidrogel aumentou o rendimento médio das culturas testadas em 15 kg ha⁻¹.

Nos estudos de El-Saied *et al.* (2016) trabalhando em solo arenoso utilizando aplicações sucessivas de hidrogel à base de palha de arroz, foi observada redução na relação C/N, incremento no teor de N e a atividade biológica do solo. Em outro estudo, Guilherme *et al.* (2010) observaram que a absorção de água por hidrogéis a base de pectina e com função fertilizante (possuem adubos fosfatados, potássicos e ureia aprisionados em sua estrutura) ocorre num intervalo de pressão adequado à absorção de água por grande variedade de plantas hortícolas.

Uma observação pertinente se refere ao efeito da força iônica das soluções (dependente da composição iônica do solo) na eficiência dos hidrogéis. Uma vez em contato com soluções de força iônica elevada, pode ocorrer redução significativa no grau de absorção de água pelos hidrogéis, além do colapso de sua estrutura, causando diminuição da eficácia da absorção e retenção da água e da libertação de nutrientes (BRITO *et al.*, 2013; NI *et al.*, 2011).

Uma situação similar foi mostrada por Ni *et al.* (2009) quando observaram que a massa de hidrogéis de poliacrilamida aumentou 134 vezes em relação ao peso seco depois de ser umedecida com água destilada, enquanto que com água da torneira, o aumento foi de apenas 70 vezes. No entanto, novas abordagens referentes ao uso de hidrogéis na agricultura vislumbram resolver essa questão, tratando da liberação controlada de nutrientes a partir do hidrogel carregado com adubos para as plantas.

Em relação à bagana adicionada em superfície (cobertura morta), esta cria uma barreira à evaporação da água e também contribui para a conservação desta no solo (FIDALSKI *et al.*, 2010). Adicionalmente, a bagana protege o solo contra os impactos diretos das gotas de chuva e, ao se decompor, contribui como aporte de matéria orgânica e de nutrientes ao solo.

Beggy; Fehmi (2016) enfatizaram que a aplicação superficial de palha em pastagens degradadas de áreas semidesérticas no sul do Arizona reduziu as ervas daninhas, mudou sua composição e favoreceu o desenvolvimento de gramíneas com elevada produção de biomassa. Portanto, concluíram que a utilização do *mulching* foi importante para o cumprimento das metas de recuperação, seja por reduzir diretamente os riscos de erosão ou por favorecer o desenvolvimento das espécies de gramíneas implantadas.

Num experimento sobre os efeitos da utilização de *mulching* nas propriedades biológicas e químicas de solos mediterrâneos (Itália central) sujeitos a diferentes condições

climáticas, Marinari *et al.* (2015) verificaram que, apesar das condições climáticas (altas temperaturas e baixas precipitações) terem grande efeito sobre os tratamentos, a cobertura morta composta por *Vicia villosa* Roth, *Phacelia tanacetifolia* Benth e *Sinapis Alba* L. afetou significativamente a biomassa e a atividade microbiana do solo, bem como, a diversidade funcional microbiana.

Em um solo infértil e com baixas precipitações, Du; Bai; Yu (2014) observaram que quando a leguminosa ervilhaca foi usada como *mulching* num cultivo de damasco, proporcionou aumentos na umidade do solo até 60 cm de profundidade; aumentou a matéria orgânica, o N total e outros nutrientes do solo na camada de 0-20 cm; e elevou a produtividade do damasco, melhorando a qualidade do solo em questão.

2.4 Revegetação de áreas degradadas e o sequestro de carbono no solo

Dentro do conceito de qualidade do solo, pode-se citar a gestão sustentável da terra de modo a preservar a qualidade do recurso solo (DORAN; ZEISS, 2000). Ante isso, se destaca a importância da recuperação de áreas degradadas para o equilíbrio dos ecossistemas e para permitir que os solos exerçam novamente suas funções, sendo o sequestro de carbono (C) uma dessas funções.

O reservatório de carbono orgânico do solo tem uma troca dinâmica com o carbono da atmosfera e desempenha papel importante no ciclo global do elemento. Nos solos, o estoque de carbono é mantido pelo aporte contínuo de material vegetal, sendo a respiração do solo a principal variável envolvida na devolução desse carbono para a atmosfera (DAVIDSON; JANSSENS, 2006).

Portanto, o comprometimento do aporte e as variações na composição ou atividade da comunidade microbiana do solo podem afetar o estoque de carbono, pois os microrganismos, em primeira instância, e as raízes das plantas são os responsáveis pela respiração do solo (GOMEZ-CASANOVAS *et al.*, 2012; ALLISON *et al.*, 2010) e também pelo sequestro de parte do carbono do solo.

Nesse contexto, algumas estratégias de revegetação de áreas degradadas tem se mostrado úteis para incrementar o C do solo. Uma dessas estratégias foi apresentada por Lai *et al.* (2016) em uma área desértica no noroeste da China. Segundo os autores, a revegetação com os arbustos xerófilos *Salix psammophila*, *Hedysarum mongolicum* e *Artemisia ordosica* foi eficaz para combater a desertificação pelo fato de melhorar significativamente o estoque de carbono orgânico do solo (COS), principalmente na fração leve, em comparação ao solo

nu. Os autores constataram que, em dez anos, o conteúdo COS aumentou em até 1,82 vezes nas parcelas com *Artemisia ordosica*.

Um estudo de restauração em áreas de mina de cascalho no Distrito Federal, Brasil, mostrou que a incorporação de biossólido (proveniente do tratamento terciário de esgoto doméstico) proporcionou a colonização dos solos por plantas espontâneas e ocasionou um aumento sem precedentes nos teores de carbono do solo, sobretudo, na forma de compostos quimicamente estáveis em frações físicas oclusas, portanto, sendo considerado benéfico para a restauração de áreas gravemente perturbadas (SILVA *et al.*, 2013).

Avaliando o sequestro de carbono e nitrogênio em cinco solos abandonados com diferentes manejos (campos naturais, florestas, Cerrados, pomares e pastagens plantadas) Deng *et al.* (2016) verificaram que o sequestro de C e N na camada de 0-10 cm aumentou desde o abandono. Dentre os diferentes manejos, solos com pomares e pastagens plantadas apresentaram maiores estoques de C e N, além disso, apresentaram incremento em C em todas as camadas avaliadas, diferentemente dos demais solos.

No caso da utilização de *mulching*, Rai *et al.* (2016) mostraram a importância da serapilheira de árvores tropicais caducifólias para o acúmulo de carbono em áreas degradadas. Frasier *et al.* (2016) também mostraram em um estudo de campo de 3 anos que a rotação do sorgo em plantio direto alternando com ervilhaca é capaz de sequestrar elevadas quantidades de C e N nas frações estáveis da matéria orgânica do solo, mostrando o potencial do *mulching* para o sequestro de carbono.

No que se refere aos hidrogéis como os de poliacrilamida e os poliacrilato, sabe-se que são compostos de cadeias carbônicas e, portanto, podem contribuir para os teores de carbono do solo. Segundo Hennink; Van Nostrum (2012) as cadeias carbônicas de hidrogéis se cruzam formando reticulados, cuja estabilidade é resultante da estrutura reticulada, que pode ser quebrada, a depender das vias de reticulação.

As principais vias de reticulação conhecidas são a química, que se dá predominantemente por ligações covalentes irreversíveis, formadas entre as cadeias poliméricas e a via física, que ocorre por meio de interações eletrostáticas, forças de Van der Waals e ligações de hidrogênio (FAJARDO, *et al.*, 2013; HENNINK; VAN NOSTRUM, 2012), havendo nesse último caso maior facilidade da matriz de reticulação que forma o hidrogel ser destruída, ou seja, que a reticulação seja reversível (GUILHERME *et al.*, 2015).

Portanto, a aplicação de polímeros (hidrogéis) no solo pode representar uma fonte de carbono para o solo. Nesse sentido, El-Saied *et al.* (2016), encontraram incremento superior a 2 vezes no teor de carbono do solo após adição de hidrogel a base de palha de arroz, em

comparação aos solos sem aplicação do hidrogel após três estações de crescimento de hortaliças e trigo. Os mesmos autores também encontraram incremento na atividade microbiana do solo adicionado do polímero hidrorretentor.

Vale destacar que o conhecimento sobre os impactos da degradação de hidrogéis no estoque de carbono dos solos é ainda incipiente, principalmente no que se refere aos hidrogéis de poliacrilamida. Porém, existem grandes perspectivas sobre esse assunto, principalmente com o desenvolvimento cada vez maior de polímeros de maior degradabilidade como os a base dos polissacarídeos naturais: pectina, goma do cajueiro, amido, goma arábica, etc. (GUILHERME *et al.*, 2015).

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J.A. *et al.* Assessment of salinity status in intensively cultivated soils under semiarid climate, Murcia, SE Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 1056-1066, 2011.
- ALLISON, S. D.; WALLENSTEIN, M. D.; BRADFORD, M. A. Soil-carbon response to warming dependent on microbial physiology. **Nature Geoscience**, v. 3, p. 336–340, 2010.
- ALMEIDA-FILHO, R.; CARVALHO, C. M. Mapping land degradation in the Gilbués region, northeastern Brazil, using Landsat TM images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, p.1087–1094, 2010.
- ALVES, A. A. C.; SETTER, T. L. Abscisic acid accumulation and osmotic adjustment in cassava under water deficit. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, p. 259–271, 2004.
- ARAÚJO, A. S. F. *et al.* Soil bacterial diversity in degraded and restored lands of Northeast Brazil. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 106, p. 891–899, 2014.
- ARAÚJO, I. C. S., COSTA, M. C. G. Biomass and nutrient accumulation pattern of leguminous tree seedlings grown on mine tailings amended with organic waste. **Ecological Engineering**, v. 60, p. 254–260, 2013.
- ARAÚJO, J. M. **Crescimento inicial de três espécies arbóreas nativas em áreas degradadas da caatinga**. 2010. 28 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)– Universidade Federal de Campina Grande, Patos-PB, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de. *et al.* Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1592-1595, 2007.
- ASA BRASIL. **Semiárido**. 2014. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=105>. Acesso em: 13 mar. 2014.
- BAJJI, M.; LUTTS, S.; KINET, J-M. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science**, v. 160, p. 669–681, 2001.
- BARRETO, S. S. B.; FERREIRA, R. A. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, plântulas e mudas de Leguminosae Mimosoideae: *Anadenanthera colubrina* (Vellozo) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vellozo) Morong. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 223 - 232, 2011.
- BHASKAR, R. *et al.* Ecological and evolutionary variation in community nitrogen use traits during tropical dry forest secondary succession. **Ecology**, v. 97, p. 1194–1206, 2016.
- BEGGY, H. M.; FEHMI, J. S. Effect of surface roughness and mulch on semi-arid revegetation success, soil chemistry and soil movement. **Catena**, v. 143, p. 215–220, 2016.

BRACHO, R. *et al.* Temperature sensitivity of organic matter decomposition of permafrost-region soils during laboratory incubations. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 97, p. 1-14, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informativo sobre a estiagem no Nordeste**. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Brazilian forests at a glance: reference period: 2005 – 2009**. Brasília, 2009.

BRITO, C. W. D. Q. *et al.* Síntese e caracterização de hidrogéis compósitos a partir de copolímeros acrilamida-acrilato e caulim: efeito da constituição de diferentes caulins do nordeste brasileiro, **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 40–45, 2013.

CABEZAS, A. *et al.* Carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in novel ecosystems: Shallow lakes in degraded fen areas. **Ecological Engineering**, v. 66, p. 63–71, 2013.

CAMPOS, E. V. R. *et al.* Polysaccharides as safer release systems for agrochemicals, **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 47–66, 2015.

CAMPOS, F. DA S. DE e ALVES, M. C. Resistência à penetração de um solo em recuperação sob sistemas agrosilvopastoris. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 759–764, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Carnaúba**. 2006. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_10_25_08_12_23_conjunturacarnauba.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2014.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 203-209, 2002.

DANTAS, S. G. **Crescimento inicial e morfologia foliar em plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. E *Erythrina velutina* Mart. ex Benth, sob estresse hídrico**. 2014. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, v. 440, p. 165–173, 2006.

DEEBA, F. *et al.* Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 53, p. 6-18, 2012.

DEMITRI, C. *et al.* Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. **International Journal of Polymer Science**, v. 2013, p. 1–6, 2013.

DENG, L. *et al.* Effects of age and land-use changes on soil carbon and nitrogen sequestrations following cropland abandonment on the Loess Plateau, China. **Ecological Engineering**, v. 90, p. 105–112, 2016.

- DORAN, J. W.; ZEISS, M. L. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 3–11, 2000.
- DU, S.; BAI, G.; YU, J. Soil properties and apricot growth under intercropping and mulching with erect milk vetch in the loess hilly-gully region. **Plant and Soil**, v. 390, p. 431–442, 2014.
- DU PREEZ, C. C.; VAN HUYSSSTEEN, C. W.; MNKENI, P. N. S. Land use and soil organic matter in South Africa 1: A review on spatial variability and the influence of rangeland stock production. **The South African Journal of Science**, v. 107, n. 5-6, p. 1-8, 2011.
- DU PREEZ, C. C.; VAN HUYSSSTEEN, C. W.; MNKENI, P. N. S. Land use and soil organic matter in South Africa 2: A review on the influence of arable crop production. **The South African Journal of Science**, v. 107, p. 35-42, 2011.
- EL-SAIED, H. *et al.* Bio-chemical properties of sandy calcareous soil treated with rice straw-based hydrogels, **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, p. 188-194, 2016.
- EL-HADY, O. A.; WANAS, SH. A. Water and Fertilizer Use Efficiency by *Cucumber* Grown under Stress on Sandy Soil Treated with Acrylamide Hydrogels. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 2, n. 12, p. 1293-1297, 2006.
- FAJARDO, L. *et al.* Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. **Journal of Arid Environments**, v. 88, p. 236-243, 2013.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Rome, 2009.
- FIDALSKI, J. *et al.* Availability of Soil Water Under Tillage Systems, Mulch Management And Citrus Rootstocks. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.917-924, 2010.
- FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 215-224, 2004.
- FRASIER, I. *et al.* High quality residues from cover crops favor changes in microbial community and enhance C and N sequestration. **Global Ecology and Conservation**, v. 6, p. 242–256, 2016.
- GALES, D. C. *et al.* Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. **Geoderma**, v. 267, p. 102–111, 2016.
- GUILHERME, M.R. *et al.* Pectin-based polymer hydrogel as a carrier for release of agricultural nutrients and removal of heavy metals from wastewater, **Journal of Applied Polymer Science**, v. 117, n. 6, p. 3146–3154, 2010.
- GOMEZ-CASANOVAS, N. *et al.* Net ecosystem exchange modifies the relationship between

the autotrophic and heterotrophic components of soil respiration with abiotic factors in prairie grasslands. **Global Change Biology**, v. 18, p. 2532–2545, 2012.

HANDA, I. T.; JEFFERIES, R. L. Assisted revegetation trials in degraded salt-marshes. **Journal of Applied Ecology**, v. 37, p. 944–958, 2000.

HENNINK, W. E.; VAN NOSTRUM, C. F. Novel crosslinking methods to design hydrogels. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 64, p. 223–236, 2012.

HOLANDA, F. S. R. *et al.* Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 157–166, 2010.

HOULTON, B. Z. *et al.* A unifying framework for dinitrogen fixation in the terrestrial biosphere. **Nature**, v. 454, p. 327–330, 2008.

HUANG, J. *et al.* Global semi-arid climate change over last 60 years. **Climate Dynamics**, v. 46, p. 1131–1150, 2016.

HUMMEL, I. *et al.* Arabidopsis plants acclimate to water deficit at low cost through changes of carbon usage: an integrated perspective using growth, metabolite, enzyme, and gene expression analysis. **Plant Physiology**, v. 154, p. 357–372, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Identificação de espécies florestais**. 2014. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=47>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

JEDDI, K; CHAIEB, M. Restoring degraded arid Mediterranean areas with exotic tree species: Influence of an age sequence of *Acacia salicina* on soil and vegetation dynamics. **Flora**, v. 207, p. 693–700, 2012.

KOUPAI, J. A.; SOHRAB, F.; SWARBRICK, G. Evaluation of Hydrogel Application on Soil Water Retention Characteristics. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, p. 317–331, 2008.

KOUPAI, J. A.; ESLAMIAN, S. S.; KAZEMI, J. A. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. **Journal of Plant Nutrition**, v. 8, n. 1, p. 67–75, 2008.

LAI, Z. *et al.* Fine-root distribution, production, decomposition, and effect on soil organic carbon of three revegetation shrub species in northwest China. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 381–388, 2016.

LEITE, F. P. *et al.* Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the rio doce valley. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 821–831, 2010.

LIMA, A. L. DA S.; ZANELLA, F.; CASTRO, L. D. M. DE. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 43–48, 2010.

LORENZI, H. *et al.* **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Plantarum, Nova Odessa, 1992.

MANTOVANI, W.; MARTINS, F. R. Variações fenológicas das espécies do cerrado da Reserva Biológica de Moji Guaçu, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira Botânica**, v. 11, p. 101-112. 1988.

MARCONATO, J. C.; FRANCHETTI, S. M. M. **Polímeros superabsorventes e as fraldas descartáveis**: um material alternativo para o ensino de polímeros. 2002. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc15/v15a09.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2014.

MARQUES, P. A. A.; CRIPAI, M. A. DE M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 1-7, 2013.

MARINARI, S. *et al.* Soil quality, microbial functions and tomato yield under cover crop mulching in the Mediterranean environment. **Soil & Tillage Research**, v. 145, p. 20–28, 2015.

MELO, R. R. *et al.* Crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. sob diferentes níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 138-144, 2008.

MIRANDA, M. A. *et al.* Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 484–490, 2011.

MOTA, W. F. *et al.* Uso de cera de carnaúba e saco plástico poliolefínico na conservação pós-colheita do maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 02, p. 190-193, 2006.

MULLER, B. *et al.* Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 1715-1729, 2011.

MUNNS, R. *et al.* Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. **Plant and Soil**, v.247, p. 93-105, 2002.

NASCIMENTO, C. D. V. *et al.* Application of poultry processing industry waste: A strategy for vegetation growth in degraded soil. **Waste Management**, v. 36, p. 316–322, 2015.

NI, B. *et al.* Environmentally friendly slow-release nitrogen fertilizer, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 18, p. 10169–10175, 2011.

NI, B.; LIU, M.; LUE, S. Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations, **Chemical Engineering Journal**, v. 155, n. 3, p. 892–898, 2009.

NOFFS, P. S.; GALLI, L. F.; GONÇALVES, J. C. **Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica**: Uma experiência da CESP - Companhia Energética de São Paulo. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2000. Disponível: em: <http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/rec_20areas_20mata_20atlantica.pdf>. Acesso em: 27 maio 2011.

OCHOA; P. A. *et al.* Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. **Catena**, v. 140, p. 31–42, 2016.

OLIVEIRA, F. F. *et al.* Avaliação de coberturas mortas em cultura de alface sob manejo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p 216-220, 2008.

PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradada. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 41, p. 102–110, 2012.

PÉREZ-PÉREZ, J.G. *et al.* Response to drought and salt stress of lemon “Fino 49” under field conditions: water relations, osmotic adjustment and gas exchange. **Scientia Horticulturae**, v. 122, p. 83–90, 2009.

RAI, A. *et al.* Understanding the effectiveness of litter from tropical dry forests for the restoration of degraded lands. **Ecological Engineering**, v. 93, p. 76–81, 2016.

RAMEZANI, M. *et al.* The effect of calcium and sodium chloride levels on the dehydration power of hydrophilic polymer, **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 2, p. 896–898, 2013.

RIBEIRO, K. A. *et al.* Qualidade do solo na cultura do cajueiro anão precoce cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 341-351, 2007.

ROTENBERG, E.; YEL-HADYAKIR, D. Contribution of semi-arid forests to the climate system. **Science**, v. 327, p. 451–454, 2010.

RUTHROF, K. X. *et al.* Restoration treatments improve seedling establishment in a degraded Mediterranean type Eucalyptus ecosystem. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 58, p. 646 - 655, 2010.

SAFRIEL, U.; ADEEL, Z. Dryland systems. *In*: HASSAN, R.; SCHOLE, R.; ASH, N. (Ed.) **Ecosystems and human well-being, current state and trends**. Washington: Island Press, p. 625–658, 2005.

SAMPAIO, T. F. *et al.* Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 637-1645, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e potencialidades. *In*: GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-48.

- SILVA, L. C. R. *et al.* Unprecedented carbon accumulation in mined soils: the synergistic effect of resource input and plant species invasion. **Ecological Applications**, v. 23, p. 1345–1356, 2013.
- SILVA, E. N. *et al.* The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, p. 279–285, 2010.
- SMOLIKOWSKI B; PUIG H; ROOSE E. Influence of soil protection techniques on runoff, erosion and plant production on semi- arid hillsides of Cabo Verde. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 87, p. 67-80, 2001.
- SOUZA, L.A.G. *et al.* Desenvolvimento e nodulação natural de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 207-217, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TERRACOTTEM Guia Técnico 1.0. Pinhais-PR: Intercoop. 1998.
- TORRES, D. *et al.* Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcon, Venezuela. **Bioagro**, v.18, n.2 , 2006.
- TOZZI, E. S.; EASLON, H. M.; RICHARDS, J. H. Interactive effects of water, light and heat stress on photosynthesis in Fremont cottonwood. **Plant, Cell & Environment**, v. 36, p. 1423-1434, 2013.
- VALE, J. C. DO; MEDEIROS, D. C. DE. Performance of lettuce cultivars to protect environmental and soil cover effects. **IDESIA**, Chile, v. 30, n. 3, p. 103-110, 2012.
- WANG, R. *et al.* Carbon allocation, osmotic adjustment, antioxidant capacity and growth in cotton under long-term soil drought during flowering and boll-forming period. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 107, p. 137-146, 2016.
- YAGIOKA, A. *et al.*, H. Effect of no-tillage with weed cover mulching versus conventional tillage on global warming potential and nitrate leaching. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 42–53, 2015.
- ZIEGLER, H. R. S. *et al.* Utilização de insumos locais para o aumento da produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.) sob condições de baixa pluviosidade no litoral norte do CE. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 7., 2011, Fortaleza. Anais... Fortaleza: [s.n.], 2011. p. 1-5.

CAPÍTULO I

PRODUÇÃO DE MUDAS DE TAMBORIL COM DIFERENTES DOSES DE HIDROGEL EM DUAS CONDIÇÕES DE LUMINOSIDADE

RESUMO: Os hidrogéis (compostos de poliacrilamida - PAM) têm sido indicados para uso na agricultura como condicionadores de solo, pois, podem absorver grandes quantidades de água e aumentar seu armazenamento no solo. Ante isso, objetivou-se determinar a dose de hidrogel mais adequada para o estabelecimento do tamboril em dois ambientes com luminosidades diferentes e avaliar se a adição do hidrogel no solo reduz os efeitos do estresse hídrico nessa espécie. Para tanto, realizou-se o plantio de mudas de tamboril em vasos de 24 kg utilizando o delineamento inteiramente casualizado em parcela subdividida, sendo as parcelas formadas por dois ambientes de luminosidade distintos: sol pleno e com redução de 50% da luminosidade e as subparcelas por dez doses de hidrogel: 0,0; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 e 6,0 g L⁻¹. Determinou-se, ao final do experimento a altura, o diâmetro, o comprimento e diâmetro da raiz e determinou-se a matéria seca da parte aérea, da raiz, relação parte aérea/raiz e os teores de solutos orgânicos. Constatou-se que a aplicação de hidrogel entre as doses de 3,0 e 6,0 g L⁻¹ incrementa o crescimento e a matéria seca do tamboril, sobretudo, na condição de sombreamento, além disso, aumenta o diâmetro radicular das plantas favorecendo sua sobrevivência em condições de estresse hídrico.

PALAVRAS CHAVE: polímeros, telado, experimento em vasos.

SEEDLING PRODUCTION IN THE TAMBORIL UNDER DIFFERENT DOSES OF HYDROGEL AND TWO LIGHT CONDITIONS

ABSTRACT: Hydrogels (polyacrylamide compounds - PAM) have been suggested for use in agriculture as soil conditioners as they can absorb large amounts of water and increase soil water storage. The aim of this study therefore, was to determine the most suitable dose of hydrogel for the establishment of the tamboril in two environments under different luminosities, and to evaluate whether the addition of hydrogel to the soil reduces the effects of water stress in the species. The tamboril was planted in pots of 24 kg, using a completely randomised design in subdivided lots, comprising two different light environments - full sunlight and a 50% reduction in luminosity, and sub-lots comprising ten doses of hydrogel: 0.0, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 and 6.0 g L⁻¹. At the end of the experiment, plant height and diameter were determined, together with root length and diameter, shoot and root dry

matter, the shoot to root ratio, and the levels of organic solutes. It was found that the application of hydrogel at doses of between 3.0 and 6.0 g L⁻¹ increases growth and dry matter in the tamboril, especially under conditions of shade; furthermore, there is an increase in the root diameter of the plants, favouring their survival under conditions of water stress.

KEYWORDS: polymers, screened area, experiment in pots.

1. INTRODUÇÃO

Áreas degradadas distinguem-se como ambientes que tiveram suas características originais modificadas além do limite de recuperação natural (NOFFS *et al.*, 2011; ARAÚJO *et al.*, 2010). Tais áreas cobrem grandes extensões do globo terrestre e segundo a FAO (2009) aumentam a cada ano, o que é motivo de preocupação, uma vez que sua recuperação é difícil e geralmente onerosa.

Essas áreas apresentam inúmeras limitações que comumente inviabilizam atividades agrícolas. Dentre estas se citam os elevados teores de Al³⁺ e a acidez do solo (LEITE *et al.*, 2010), a grande resistência à penetração de raízes e a baixa porosidade (CAMPOS; ALVES, 2006). Outras limitações importantes são o declínio da matéria orgânica (MO) (DU PREEZ *et al.*, 2011; TORRES *et al.* 2006) e a deficiência hídrica, que é principalmente limitante em zonas áridas e semiáridas.

Os solos nessas zonas devido à variabilidade temporal das precipitações e reduzida quadra chuvosa apresentam problemas de disponibilidade hídrica, prejudicando a revegetação (OCHOA *et al.*, 2016). Ante esse panorama têm surgido algumas estratégias para melhorar a disponibilidade hídrica nesses solos degradados, como o uso de condicionadores químicos, dentre eles os polímeros.

Polímeros são macromoléculas formadas a partir de unidades estruturais menores (os monômeros) que sofrem reações de polimerização. Atualmente polímeros compostos de poliácridamida, mas conhecidos como hidrogéis, tem sido utilizados como condicionadores de solo na agricultura (ALMEIDA, 2008) devido ser capazes de absorver água até centenas de vezes de sua massa seca em água (HENNINK; VAN NOSTRUM, 2012; SILVA, 2010), favorecendo o armazenamento desta no solo (KROUPAI; SOHRAB; SWARBRICK, 2008).

Exatamente por essa característica a utilização de hidrogéis em projetos de recuperação de áreas degradadas tem sido bem avaliada, uma vez que este poderia reter mais eficientemente a água da precipitação e disponibilizá-la por maiores períodos (FAJARDO *et*

al., 2013) aumentando assim as chances de sobrevivência das mudas, principalmente em projetos de recuperação de áreas degradadas onde a irrigação é impraticável.

Apesar disso, pouco se sabe sobre a dose de hidrogel mais adequada para espécies nativas do semiárido. Também não se tem relatos se a condução das plantas em ambiente protegido ou em sol pleno altera a recomendação da dose de hidrogel. Outro questionamento é se o hidrogel pode reduzir ou potencializar os efeitos do estresse hídrico em plantas que apresentam raiz tuberosa como mecanismo de adaptação ao estresse hídrico, como no caso do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong (BARRETO; FERREIRA, 2011), tendo em vista, que elevadas doses de hidrogel podem ocasionar o estrangulamento radicular (MENDONÇA *et al.*, 2013).

Ante isso, objetivou-se determinar a dose de hidrogel mais adequada para o estabelecimento do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong conduzido em sol pleno e em telado com 50% de sombreamento e avaliar se a adição do hidrogel no solo reduz os efeitos do estresse hídrico nessa espécie.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em agosto/2013 no telado agrícola da área experimental do Laboratório de Técnicas e Estudos de Recomposição e Recuperação Ambiental (Laboratório TERRA) do Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Maracanaú, localizado no município de Maracanaú, CE (3°72'S e 38°61' W), distante 13 km da capital Fortaleza. O clima local é categorizado como Aw, segundo a classificação de Köppen-Geiger (1918), clima tropical, com inverno seco, apresentando estação chuvosa de fevereiro a maio, e nítida estação seca de julho a outubro. Funceme, 2014.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em parcela subdividida, sendo as parcelas formadas por dois ambientes de luminosidade distintos (sol pleno e com redução de 50% da luminosidade) e as subparcelas formadas por dez doses de hidrogel (0; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 e 6,0 g L⁻¹). Na definição das doses avaliadas, buscou-se englobar o menor e o maior limite das doses recomendadas pelo fabricante do hidrogel para plantas nativas (2,5 a 4,0 g L⁻¹). Foram adotadas três repetições, resultando em 60 unidades experimentais.

Mudas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong foram cultivadas em sacos de polipropileno. Quando as plantas atingiram altura entre 30 e 40 cm foram repicadas em vasos com capacidade de 24 kg que constituíram as unidades experimentais. Os vasos foram

preenchidos com solo de classe textural areia franca, coletado em subsuperfície (a partir de 30 cm de profundidade) para evitar a presença de ervas daninhas, nas dependências do IFCE Campus Maracanaú. Os atributos químicos e granulométricos do solo utilizado no experimento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo utilizado no experimento em vasos - área do telado, Maracanaú, CE

| pH (água) | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | H ⁺ +Al ³⁺ | Al ³⁺ | SB | CTC | V | P |
|--------------|------------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|------------------|------|------|-------|---------------------|
| | cmol _c kg ⁻¹ | | | | | | | | % | mg kg ⁻¹ |
| 4,87 | 0,50 | 0,30 | 0,14 | 0,07 | 1,98 | 0,85 | 1,01 | 3,00 | 33,80 | 2,0 |

| MO | Composição Granulométrica (g kg ⁻¹) | | | Classe Textural |
|--------------------|---|-------|--------|-----------------|
| g kg ⁻¹ | Areia | Silte | Argila | Areia franca |
| 6,02 | 835,0 | 66,8 | 98,2 | |

Ca²⁺ = cálcio trocável, Mg²⁺ = magnésio trocável K⁺ = potássio trocável, H⁺ = hidrogênio, Al³⁺ = alumínio, P = fósforo, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca de cátions e V = saturação por base.

Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = Extrator KCl 1 mol L⁻¹ (cloreto de potássio). K⁺, P = Extrator Mehlich 1. H⁺ = Extração por acetado de cálcio. SB, CTC e V = obtido por meios de cálculos.

A matéria orgânica (MO) foi obtida por meio do carbono orgânico multiplicado pelo fator de “van Bemmelen” que é 1,72. O Carbono orgânico total e obtido pelo método de Walkley-black em via úmida utilizando dicromato em meio ácido com aquecimento externo.

Antes da repicagem das mudas foi realizada a diluição em cada uma das três repetições correspondentes às doses de hidrogel (0,0; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 e 6,0 g L⁻¹) em um litro de água destilada. O polímero utilizado foi a poliacrilamida de potássio da empresa FORTH Gel® cuja recomendação é de doses de 2,5 a 4,0 g L⁻¹. Devido à sua rede polimérica reticulada e às unidades de repetição hidrofílicas, tem o potencial de adsorver grande quantidade de água e solução aquosa. Moléculas de água solvatam as unidades de repetição devido a sua polaridade, ficando então estas presas à rede polimérica. A partícula de polímero superabsorvente, anteriormente em forma de cristais, quando hidratada passa a ter uma estrutura gelatinosa, comumente chamada de hidrogel (SANTOS, 2015).

Anteriormente a sua aplicação no solo o cada dose do polímero foi diluída em água destilada. Vale destacar que a dose 0 g L⁻¹ apenas continha água destilada.

No momento da repicagem foi removido do centro dos vasos um volume de solo suficiente para dar espaço às mudas. A aplicação do hidrogel nos vasos ocorreu no espaço onde o solo foi removido. Em seguida, metade dos vasos (30 unidades) foi conduzida ao ambiente de sol pleno e a outra metade no ambiente com redução de 50% da luminosidade (Telado).

O ambiente sol pleno caracterizou a exposição direta das plantas às intempéries

ambientais. Nesse ambiente a média da temperatura e umidade relativa do ar durante o período do experimento foi de 33,4°C e 50,1%, respectivamente, segundo dados da Funceme (2014).

Plantas do ambiente com redução de 50% da luminosidade foram distribuídas em uma estrutura telada (Telado agrícola) cuja cobertura foi feita com sombrite que permite apenas 50% da passagem de luminosidade. Durante o período do experimento no telado, valores médios da temperatura e umidade relativa do ar foram 32,1°C e 52%, respectivamente, sendo esses dados monitorados por um Termo-higrômetro Data Logger com sensor externo e conexão com PC TFA Modelo 3030.15.0.00.

Após a repicagem, todas as plantas foram irrigadas, com água bruta disponibilizada pelo sistema da COGERH para abastecimento do IFCE Campus Maracanaú, com turno de rega de cinco dias, durante o período de 40 dias, com volume de água correspondente a 60% da capacidade de campo do solo, ou seja, 0,750 L de água por vaso. Após esse período, foi cessada a irrigação e as plantas permaneceram sob a imposição do déficit hídrico até a perda das primeiras folhas que ocorreu aos 72 dias da repicagem.

2.1 Avaliações

2.1.1 Atributos indicativos de crescimento das plantas

Com 72 dias da repicagem do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong (32 dias após a suspensão da irrigação), foi avaliada a altura das plantas, medida da superfície do solo até o ápice das plantas com uma régua graduada em centímetros (cm). Imediatamente após a determinação da altura foi mensurado o diâmetro do coleto com o auxílio de um paquímetro digital.

Ao final do experimento, outubro/2013, cada uma das plantas foi colhida, separada em parte aérea e raiz (Figura 1), sendo o comprimento e diâmetro da raiz determinados com régua e paquímetro, respectivamente. Após as avaliações descritas, as plantas foram levadas à estufa de circulação forçada de ar a 65° C até atingirem a massa constante que foi usado para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca da raiz (MSR).

Figura 1. Raiz tuberosa da muda de tamboril [*Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong], raiz sem e com hidrogel após 72 dias



2.1.2 Teores de Solutos orgânicos

Para as avaliações dos solutos orgânicos foram coletadas, aos 72 dias após a repicagem, amostras de folhas e raízes das plantas que, imediatamente após a coleta, foram congeladas. O extrato-base foi obtido por meio de maceração de cerca de 1,0g de tecido vegetal fresco de folhas e raízes em 4,0 mL de tampão fosfato de potássio a 100 mM, pH 7,0; contendo EDTA a 0,1 mM. Posteriormente, o extrato foi filtrado em tecido de náilon de malha fina e centrifugado a $12.000 \times g$ durante 15 min. Todos os procedimentos foram conduzidos a uma temperatura de 24°C e o sobrenadante (extrato) foi armazenado a 25°C até o momento das análises, seguindo procedimentos descritos em Gondim *et al.* (2012).

Os teores de proteínas solúveis foram determinados de acordo com o método descrito por Bradford (1976), no qual é utilizada a alíquota de 0,1 mL do extrato diluído e adicionado 1,0 mL do reagente de coomassie. Os teores de carboidratos solúveis foram determinados de acordo com Dubois *et al.* (1956) e os teores de prolina foram determinados de acordo com o método de Bates *et al.* (1973), que tem como base a reação com a solução de ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina, em 30 mL de ácido acético glacial e 20 mL de ácido fosfórico a 6,0 M).

2.1.3 Análises estatísticas

Para todas as variáveis avaliadas realizou-se inicialmente a análise de variância (ANOVA) averiguando-se a normalidade dos grupos de dados por meio do teste de

normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Dados normais e significativos pelo teste F foram submetidos ao teste de Tukey para comparação de médias para os tratamentos qualitativos e análise de regressão para os de natureza quantitativa, utilizando o programa estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2012). Na análise de regressão, as equações que melhor se ajustaram aos dados foram selecionadas com base na significância do teste F, sendo os coeficientes de regressão testados a 1% ou 5% de probabilidade pelo teste t e com maior coeficiente de determinação (R^2).

Dados não normais foram encontrados nas variáveis: proteína solúvel foliar (PSF) e radicular (PSR), prolina foliar (PRF) e para a % de agregados estáveis. Visando ajustar a normalidade dos resíduos, os dados da PSF, PSR foram transformados para $\log x$; para PRF os dados foram transformados para Box-Cox ($\lambda = -2,00$) e, para a % de agregados estáveis utilizou-se a transformação pela raiz quadrada de $\sqrt{x + 1}$, sendo posteriormente submetidos à análise de variância como descrito acima.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atributos de crescimento das plantas

Conforme a ANOVA (Tabela 2), com exceção do diâmetro da raiz, todos os atributos de crescimento sofreram influência da interação ambiente \times doses de hidrogel. Considerando os fatores isoladamente, observou-se que todas as variáveis sofreram efeito das doses de hidrogel; no entanto, para o fator ambiente, não foi evidenciado efeito no diâmetro do coleto e no comprimento da raiz.

Tabela 2. Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos de crescimento do *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel e desenvolvido em dois ambientes

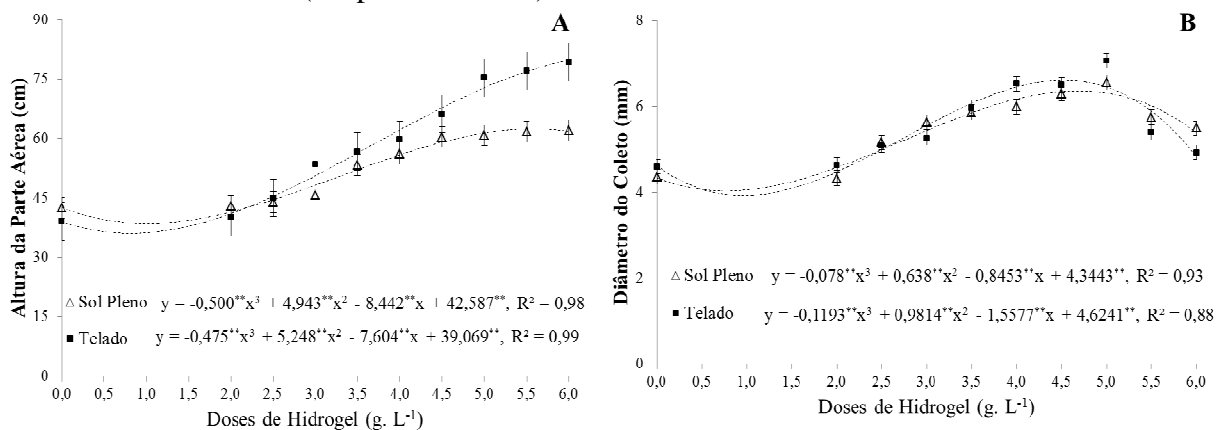
| Fontes de Variação | G.L. | Quadrado Médio | | | | | | |
|--------------------|------|----------------|--------------------|----------|-------------------|----------|--------------------|--------------------|
| | | ALT | DC | MSR | MSPA ¹ | MSPA/MSR | CR | DR |
| Ambiente (A) | 01 | 583,44** | 0,04 ^{ns} | 105,14** | 58,31** | 0,13** | 0,58 ^{ns} | 4,49** |
| Resíduo a | 04 | 9,51 | 0,12 | 5,01 | 0,03 | 0,002 | 0,40 | 0,07 |
| Dose (B) | 09 | 807,51** | 3,69** | 1234,38* | 52,91** | 0,06** | 22,75** | 2,86** |
| A \times B | 09 | 80,77** | 0,21** | 29,63** | 3,24** | 0,01** | 7,54** | 0,06 ^{ns} |
| Resíduo b | 36 | 6,36 | 0,07 | 4,16 | 0,24** | 0,001 | 0,62 | 0,07 |
| Total | 59 | - | - | - | - | - | - | - |
| CVa (%) | - | 5,50 | 6,08 | 7,29 | 1,50 | 10,46 | 3,79 | 8,61 |
| CVb (%) | - | 4,50 | 4,70 | 6,64 | 4,54 | 9,63 | 4,71 | 8,61 |

ALT – Altura das plantas; DC – Diâmetro do coleto; MSR – Matéria seca da raiz; MSPA – Matéria seca da parte aérea; MSPA/MSR – Relação Matéria seca da parte aérea e matéria seca raiz; CR – Comprimento da raiz; DR – Diâmetro da raiz.

**significativo ao nível de 1% pelo teste F; *significativo ao nível de 5% pelo teste F; ns – não significativo; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade.

Para a altura e o diâmetro do coleto do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong (Figuras 2A e 2B) ficou evidente que nas menores doses de hidrogel (2,0 e 2,5 g L⁻¹) tais variáveis não diferiram do tratamento controle (sem hidrogel). No que diz respeito à altura (Figura 2A), observou-se que a partir da dose 3,0 g L⁻¹ de hidrogel, as plantas desenvolvidas no ambiente telado (com menos 50% de luminosidade) apresentaram alturas estimadas significativamente maiores que as plantas desenvolvidas em sol pleno, sendo essa diferença correspondente a 29,1 cm (entre as doses de 3,0 e 6,0 g L⁻¹ de hidrogel) já as plantas desenvolvidas em sol pleno apresentaram incremento em altura de apenas 14,2 cm entre as doses 3,0 e 5,5 g L⁻¹ de hidrogel. A dose de 5,5 g L⁻¹ foi a que proporcionou o maior incremento na altura das plantas em sol pleno (Figura 2A).

Figura 2. Dados de altura (A) e diâmetro do coleto (B) de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong em função de doses de hidrogel e ambientes de luminosidade distintos (sol pleno e telado)



Para o diâmetro do coleto (Figura 2B) também ocorreram incrementos a partir da aplicação de 3,0 g L⁻¹ de hidrogel por planta. No entanto, em ambos os ambientes, a dose de 4,5 g L⁻¹ foi a que proporcionou os maiores diâmetros (incremento de 1,1 e 0,9 mm entre as doses 3,0 e 4,5 g L⁻¹ de hidrogel para plantas do telado e a sol pleno, respectivamente).

O incremento na altura e no diâmetro do coleto do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong com o aumento das doses de hidrogel parece coerente com os resultados de outros estudos que mostram o maior crescimento de espécies como o eucalipto e pinhão-manso com a aplicação do hidrogel, em comparação ao tratamento sem o polímero

(NAVROSKI *et al.*, 2015; DRANSKI *et al.*, 2013).

Tem sido relatado também que pequenas doses de hidrogel, como as inferiores a 2,5 g L⁻¹ deste estudo, não resultam em diferenças significativas em relação aos tratamentos sem hidrogel (NAVROSKI *et al.*, 2015; MARQUES *et al.*, 2013). O que decorre possivelmente do fato do incremento no armazenamento de água do solo com a aplicação dessas doses de hidrogel, ser insuficiente para afetar o crescimento das plantas.

Corroborando os resultados deste estudo, Navroski *et al.* (2015) constataram que a adição de 1,5 g L⁻¹ de hidrogel não modificou a altura das mudas de eucalipto em relação à testemunha (solo sem adição de hidrogel). Em contrapartida, os autores verificaram que a adição de 3,0 g L⁻¹ de hidrogel foi suficiente para as plantas de eucaliptos apresentarem desempenho equivalente ao da maior dose utilizada (6,0 g L⁻¹).

Avaliando doses de hidrogel no solo com ausência de plantas, Mendonça *et al.* (2013) afirmam que a dose de hidrogel de 4 g vaso⁻¹ mostrou-se viável, pois resultou em teor de água semelhante e menor condutividade elétrica e custo de implantação se comparada à recomendação do fabricante (8 g cova⁻¹). Outro fato abordado pelos autores foi que na maior dose aplicada (12 g vaso⁻¹) ocorreu expansão do solo, acarretando em perda do produto, do solo e o possível estrangulamento radicular. Observações dessa natureza não foram verificadas no presente estudo, possivelmente porque a maior dose de hidrogel utilizada foi de 6,0 g L⁻¹.

No que se refere às diferenças de altura entre as plantas do ambiente telado e sol pleno (Figura 2A), pode-se dizer que a intensa exposição solar associada à maior exposição aos ventos nas plantas conduzidas em sol pleno, afetou momentaneamente o processo fotossintético, principalmente nos horários mais quentes do dia (WANG *et al.*, 2016). Tal condição explica o menor crescimento das plantas desenvolvidas em sol pleno em comparação às plantas do ambiente sombreado. Portanto, menos expostas ao vento, à radiação solar direta e, conseqüentemente ao estresse hídrico. Esse resultado foi corroborado por Lima *et al.* (2010) que verificaram menor crescimento em mudas de tamboril desenvolvidas a pleno sol em comparação ao tratamento com 50% de sombreamento.

Além disso, Moraes Neto *et al.* (2000) afirmam que a ocorrência de maiores alturas e diâmetros em espécies arbóreas desenvolvidas à sombra pode ser devido a uma adaptação das plantas. Estas crescerem mais rápido visando escapar ao déficit de luz, já que não são capazes de tolerar baixas intensidades luminosas por meio do reajuste de suas taxas metabólicas.

Mesmo assim, Souza *et al.* (2007) verificaram que mudas de tamboril se desenvolvem bem tanto quando submetidas a 50 e 100% de sombreamento, uma vez que em ambas

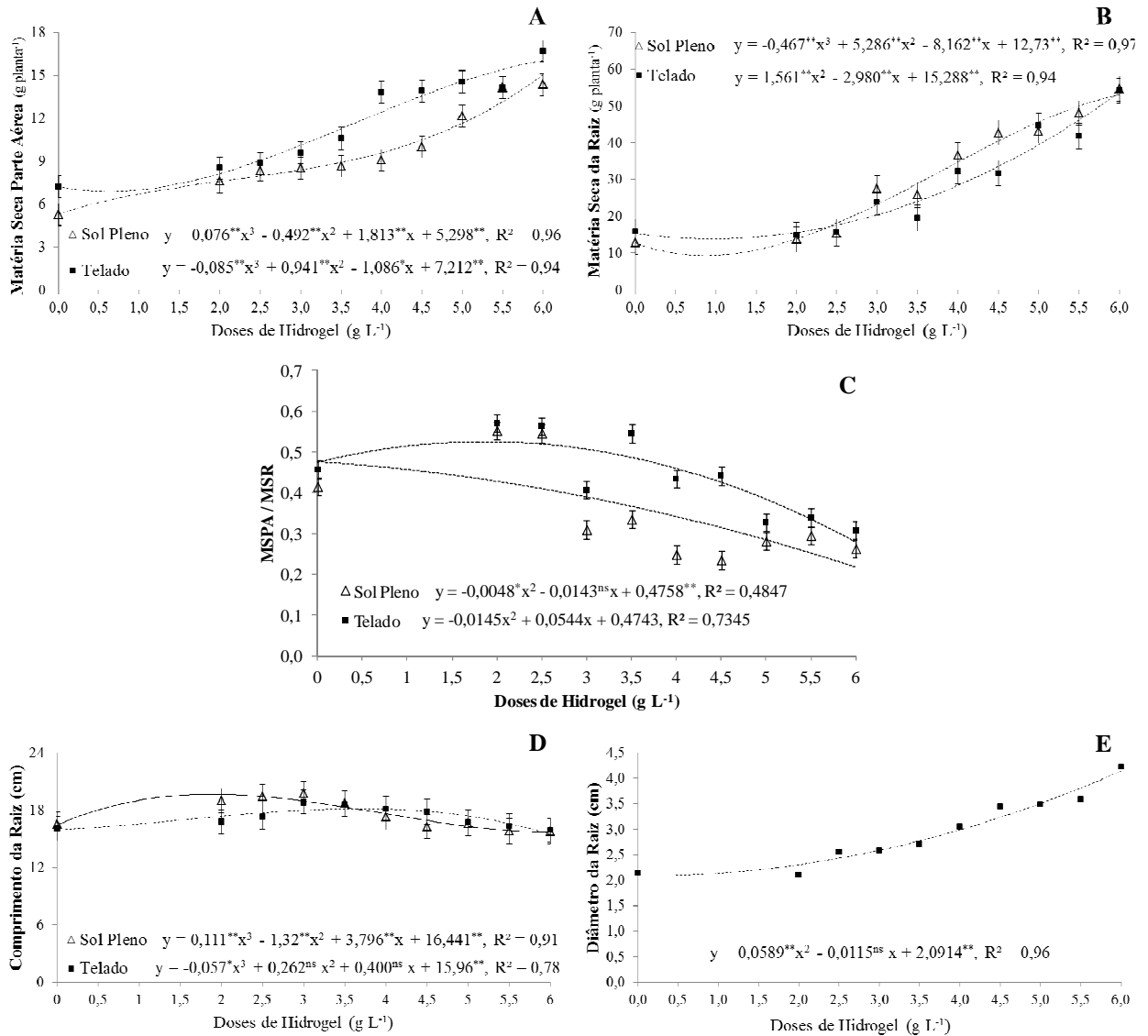
condições possuíram maior altura e produção de matéria seca em comparação a plantas expostas a 80% de sombreamento. Em outro estudo, Melo *et al.* (2008) verificaram que dentre cinco níveis de sombreamento, as plantas de tamboril de melhor qualidade foram desenvolvidas tanto a pleno sol como a 20% de sombreamento, o que reforça a hipótese de que essa espécie é pioneira no estágio de sucessão ecológica.

As conclusões desses estudos sugerem que, além dos fatores inerentes à espécie, como o fato de serem espécies pioneiras, os fatores causadores de estresses em plantas, como os do estresse hídrico devem ser considerados na avaliação das respostas das plantas em diferentes níveis de sombreamento, principalmente porque neste estudo ocorreu a interação do fator ambiente e umidade do solo (em função das doses de hidrogel), situação não considerada nos estudos de Souza *et al.* (2007) e Melo *et al.* (2008).

Analisando os dados da matéria seca da parte aérea (MSPA) (Figura 3A), observou-se que a dose 2,0 g L⁻¹ de hidrogel já foi suficiente para incrementar a MSPA. Entre as doses 2,0 e 6,0 g L⁻¹ de hidrogel foram observados incrementos de 7,9 e 7,5 g nas plantas crescidas em telado e a sol pleno, respectivamente (Figura 3A).

No caso da matéria seca da raiz (MSR) (Figura 3B), as variações foram mais perceptíveis a partir da aplicação de 2,5 g L⁻¹ de hidrogel. No entanto, ocorreu a tendência inversa à observada para a MSPA, com plantas conduzidas a sol pleno apresentando incremento superior de matéria seca radicular (39,2 g) em comparação às plantas do ambiente telado (38,1 g) (Figura 3B). Tais resultados indicam o maior investimento em raízes pelas plantas a pleno sol.

Figura 3. Matéria seca da parte aérea - MSPA (A), Matéria seca da raiz - MSR (B), Relação MSPA/MSR (C), Comprimento da raiz - CR (D) e Diâmetro da raiz - DR (E) do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel e ambientes de luminosidade distintos (sol pleno e telado)



Para a relação MSPA/MSR (Figura 3C) ficou evidente que as plantas desenvolvidas em sol pleno possuíam menor relação MSPA/MSR que as plantas desenvolvidas no telado, indicando que em sol pleno as plantas investiram mais na produção de raízes em comparação as plantas que estavam no ambiente sombreado. Verificou-se também que a partir da dose 5 g L⁻¹ de hidrogel por planta, as diferenças na relação MSPA/MSR entre plantas do telado e sol pleno diminuíram (Figura 3C), sugerindo que o hidrogel reduziu os efeitos do estresse hídrico nas plantas do sol pleno.

Para o comprimento da raiz (Figura 3D), observou-se, de um modo geral, que plantas desenvolvidas a pleno sol apresentaram maior comprimento radicular até a dose 2,5 g L⁻¹ de

hidrogel, sendo que a partir dessa dose, praticamente não foram observadas diferenças no comprimento das raízes entre os ambientes. No entanto, o diâmetro das raízes aumentou com o incremento das doses de hidrogel (Figura 3D). Tal fato pode indicar que nas maiores doses, o hidrogel melhorou o suprimento hídrico das plantas, de modo que elas não investiram no comprimento radicular, mas sim, no diâmetro.

Assim como para a altura, crescentes doses de hidrogel ocasionaram incrementos na produção de matéria seca da parte aérea, matéria seca radicular (Figuras 3A e 3B) e no diâmetro radicular (Figura 3C) do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong, sendo a dose 6,0 g L⁻¹ a mais indicada para sua utilização, principalmente para plantas cultivadas no telado, onde as condições de temperatura e umidade do ar têm potencial de reduzir o processo evaporativo.

Num experimento com mudas de ipê do cerrado (*Handroanthus ochraceus*) cultivadas em viveiro, Mews *et al.* (2015) também verificaram efeitos da adição de hidrogel na MSPA e MSR. Para os autores 2,0 g de hidrogel mais 4,0 g de adubação com ureia por vaso, foi considerada a dose que proporcionou a maior matéria seca das plantas, enquanto para a matéria seca da raiz a dosagem mais indicada foi de 1,0 g de hidrogel. Nesse caso, as discrepâncias nas doses de hidrogel indicadas podem ser decorrentes da adubação, também testada pelos autores citados, mas ausente no presente estudo.

No que se refere à menor relação MSPA/MSR das plantas desenvolvidas em sol pleno, Souza *et al.* (2013) também verificaram que mudas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a sombreamento de 50% possuíam maior MSPA e menor MSR que mudas desenvolvidas a pleno sol. Nos estudos de Dantas (2014) e Melo *et al.* (2008), plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong e *Erythrina velutina* Marth submetidas a estresse hídrico também apresentaram menor relação MSPA/MSR, o que indica que plantas mais estressadas tendem a investir na produção de raízes visando aumentar a eficiência na absorção de água.

Resultados sobre os efeitos das doses de hidrogel no comprimento e diâmetro radicular têm sido pouco relatados na literatura. No entanto, os dados encontrados neste estudo são coerentes com os resultados das outras variáveis de crescimento e assim, como relatado pelos autores Montesano *et al.* (2015); Gilbert *et al.* (2014); Mendonça *et al.* (2013); Koupai, Sohrab e Swarbrick (2008), expressam a maior disponibilidade da água próximo ao sistema radicular na medida em que a quantidade de hidrogel foi aumentada.

3.2 Teores de solutos orgânicos

Conforme a ANOVA (Tabela 3) realizada a partir dos dados originais para carboidratos solúveis foliares (CF) e radiculares (CR) e Prolina radicular (PLR) e dos dados transformados das variáveis PSF, PSR e PLF, ocorreu efeito significativo da interação ambiente x doses de hidrogel para todas as variáveis analisadas e também para doses de hidrogel e ambiente (sol pleno e telado) isoladamente, com exceção para a variável PLF no fator ambiente.

Tabela 3. Resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores de solutos orgânicos do *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel e ambientes de luminosidade distintas (sol pleno e telado)

| Fontes de Variação | G.L | Quadrado Médio | | | | | |
|--------------------|-----|------------------|------------------|-------------|-------------|----------------------|----------|
| | | PSF ¹ | PSR ¹ | CF | CR | PLF ² | PLR |
| Ambiente (A) | 01 | 0,0619** | 0,1122** | 967126,40** | 394500,91** | 0,0010 ^{ns} | 1,3254** |
| Resíduo (a) | 04 | 0,0003 | 0,0003 | 816,42 | 7337,93 | 0,0002 | 0,006 |
| Dose (B) | 09 | 0,0069** | 0,0074** | 12568,81** | 135408,23** | 1,0162** | 0,1216** |
| A × B | 09 | 0,0014** | 0,0036** | 6403,97** | 28270,32** | 0,003** | 0,0396** |
| Resíduo (b) | 36 | 0,0003 | 0,0006 | 1393,77 | 5637,06 | 0,0008 | 0,0046 |
| Total | 59 | - | - | - | - | - | - |
| CVa (%) | - | 0,62 | 0,77 | 5,50 | 12,88 | 4,11 | 8,14 |
| CVb (%) | - | 0,60 | 1,07 | 7,19 | 11,28 | 7,60 | 7,09 |

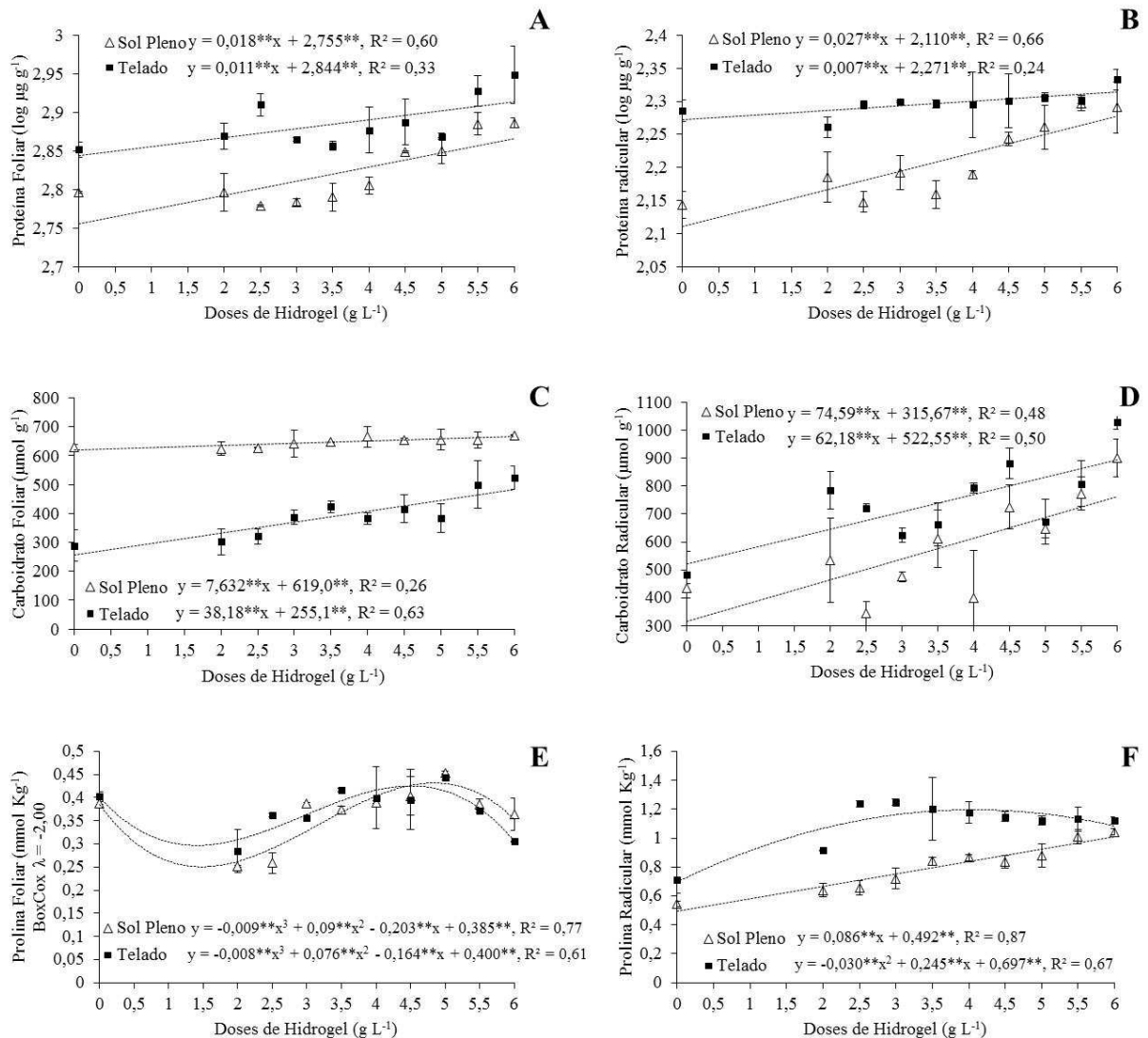
Nota: PSF - Proteína solúvel foliar; PSR – Proteína solúvel radicular; CF - Carboidrato solúvel foliar; CR - Carboidrato solúvel radicular; PLF - Prolina foliar; PLR – Prolina radicular.

** significativo ao nível de 1% pelo teste F, *significativo ao nível de 5% pelo teste F; ns – não significativo; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade.

¹ Para PSF e PSR dados foram transformados para Log-. ² Para PLF dados foram transformados para BoxCox com lambda (λ) = -2

De modo geral, teores foliares e radiculares de proteínas solúveis aumentaram com as doses de hidrogel, principalmente nas plantas do telado (50% de luminosidade) (Figuras 4A e 4B). Teores foliares de carboidratos solúveis nas plantas conduzidas em telado também aumentaram na medida em que foram aplicadas doses crescentes de hidrogel; porém, os maiores teores foram observados nas plantas desenvolvidas a sol pleno (Figura 4C). Para os carboidratos radiculares, foram às plantas do telado que atingiram os maiores valores (Figura 4D). Teores médios de carboidratos solúveis foliares e radiculares ficaram próximos: 520 e 665 $\mu\text{mol g}^{-1}$, respectivamente (Figuras 4C e 4D).

Figura 4. Solutos orgânicos: proteínas solúveis foliares ($\mu\text{g g}^{-1}$) (A) e radiculares (B), carboidratos solúveis foliares ($\mu\text{mol g}^{-1}$) (C) e radiculares (D), prolina foliar (mmol kg^{-1}) (E) e radicular (F) do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel e ambientes de luminosidade distintos (sol pleno e telado)



Em relação à prolina foliar (Figura 4E), valores não seguiram uma tendência linear e diferiram pouco entre os ambientes, como observado pelos teores mínimos e máximos das plantas do ambiente sombreado: 0,5 e 2,0 mmol Kg^{-1} e desenvolvidas em sol pleno: 0,4 e 2,3 mmol Kg^{-1} . Para a prolina radicular, os teores aumentaram com as doses de hidrogel, principalmente nas plantas do telado. Contudo, os valores máximos observados foram inferiores ao da prolina foliar (média igual a 1,2 mmol Kg^{-1}) (Figura 4F).

A tendência do acúmulo de solutos orgânicos ou osmólitos, como aminoácidos e carboidratos solúveis em plantas sob estresse, parece ocorrer como um meio para o ajustamento osmótico (VITORINO *et al.*, 2013; CHINNUSAMY *et al.*, 2005; ASHRAF; HARRIS, 2004).

No presente estudo, as plantas desenvolvidas em sol pleno estavam mais expostas às condições de estresse, sobretudo nas menores doses de hidrogel, haja vista, terem seu crescimento (altura e diâmetro) e produção de matéria seca parte aérea (MSPA) significativamente menores em comparação às plantas com maiores doses desse polímero (Figura 2AB e Figura 3A). Porém, plantas desenvolvidas em sol pleno apresentaram menores teores foliares e radiculares de proteínas solúveis que plantas do telado (Figura 4AB). Além disso, os teores dessas variáveis aumentaram com o incremento das doses de hidrogel, indo na direção inversa do que tem sido abordado na literatura (CHINNUSAMY *et al.*, 2005; ASHRAF; HARRIS, 2004).

Lechinoski *et al.* (2007) corroboram os dados deste estudo, pois também verificaram que em plantas de teca (*Tectona grandis* L. F.) os teores de proteínas solúveis totais diminuiriam drasticamente sob estresse hídrico, sendo esse fato atribuído ao aumento da atividade de enzimas proteolíticas que quebram as proteínas de reservas das plantas, e da diminuição da síntese de proteínas, o que corrobora com os resultados deste estudo.

Em outro estudo no qual foram avaliados os teores de solutos orgânicos de plantas de *Euphorbia heterophylla* frente à interação de herbicidas e estresse hídrico, Vitorino *et al.* (2013) também concluíram que o déficit hídrico reduziu os teores de proteínas solúveis, similarmente ao ocorrido neste estudo no qual plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong do tratamento controle (potencialmente mais estressadas hidricamente devido a ausência de hidrogel e por ficarem sem irrigação por 32 dias), também apresentaram teores mais baixos de proteínas solúveis.

No que se refere aos carboidratos, sabe-se que estes são compostos osmoticamente ativos muito importantes que podem ser armazenados de maneira dinâmica, seja como compostos com baixa atividade osmótica ou com elevada solubilidade. No entanto, a síntese dos carboidratos nas plantas pode ser tanto afetada pelo estresse hídrico, como potencializada por este estresse (WHITTAKER *et al.*, 2007; LACERDA *et al.*, 2010).

Nesse contexto, sugere-se que os maiores teores de carboidratos e proteínas solúveis nas plantas com maiores doses de hidrogel se devem ao fato destas plantas possuírem mais substratos para a produção desses solutos em comparação às plantas do tratamento controle, uma vez que apresentaram maior crescimento (altura e diâmetro) e, portanto, absorveram mais nutrientes e água utilizados na produção desses compostos.

Os maiores teores de carboidratos nas plantas com maiores doses de hidrogel possivelmente se devem ao melhor desenvolvimento das plantas nas maiores doses do polímero e não ao ajustamento osmótico. Assume-se essa possibilidade, principalmente

quando se considera que o *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong apresenta raízes do tipo tuberosa que é considerada indício adaptativo dessa espécie para superar condições de estresses, sobretudo o hídrico (MANTOVANI; MARTINS, 1988) e que esse mecanismo poderia ser utilizado preferencialmente ao ajustamento osmótico. Alguns estudos corroboram essa afirmação quando destacam que o acúmulo de solutos orgânicos, em condições ambientais adversas, por vezes está mais relacionado a distúrbios metabólicos do que ao ajustamento osmótico (SILVA *et al.*, 2010).

Ainda em relação aos carboidratos, podemos supor que as discrepâncias entre os teores foliares e radiculares, como ocorrido entre plantas desenvolvidas em sol pleno, podem resultar de distúrbios na translocação destes compostos para as raízes (SACRAMENTO *et al.*, 2014)

Em relação aos teores de prolina, a literatura afirma que seu acúmulo ocorre em condições severas de estresse, assim como relatado por Rhein; Santos; Carlin (2011). Esses autores encontraram acentuado acúmulo de prolina na cana-de-açúcar submetida à associação do estresse hídrico e acidez do solo. Segundo eles, a interação severa dos estresses evidenciou o efeito osmoprotetor da prolina livre que conduziu as plantas ao ajustamento osmótico.

No presente trabalho, os teores máximos de prolina foliar e radicular atingiram no máximo $2,3 \text{ mmol kg}^{-1}$, e mesmo as plantas cultivadas em sol pleno, as quais estão sujeitas a maiores fatores de estresse, apresentaram teores baixos, para causar ajuste osmótico, como relatado por Silva *et al.* (2010) e Nogueira *et al.* (2001) que afirmam que teores de prolina em plantas cultivadas variam de um modo geral entre 1 a 5 mmol kg^{-1} , antes de sofrerem estresse.

4. CONCLUSÕES

1 – A aplicação de hidrogel entre $3,0$ e $6,0 \text{ g L}^{-1}$ proporcionou incremento no crescimento e na produção de matéria seca de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong crescidas em vaso, sendo que, de modo geral, plantas cultivadas no telado com redução de 50% da luminosidade, apresentam maior crescimento nas mesmas doses de hidrogel aplicadas na condição de sol pleno.

2 – A aplicação de hidrogel, sobretudo na dose de $6,0 \text{ g L}^{-1}$, proporcionou o incremento no diâmetro radicular e reduziu os efeitos do estresse hídrico em plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. 2008. 102 f. Tese Doutorado. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008.
- ARAÚJO, J. M. **Crescimento inicial de três espécies arbóreas nativas em áreas degradadas da caatinga**. 2010. 28 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)– Universidade Federal de Campina Grande, Patos-PB, 2010.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, p. 3–16, 2004.
- BARRETO, S. S. B.; FERREIRA, R. A. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, plântulas e mudas de Leguminosae Mimosoideae: *Anadenanthera colubrina* (Vellozo) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vellozo) Morong. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 223 - 232, 2011.
- BATES, L. S. et al. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 02, p. 205-207, 1973.
- CAMPOS, F. DA S. DE e ALVES, M. C. Resistência à penetração de um solo em recuperação sob sistemas agrosilvopastoris. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 759–764, 2006.
- CHINNUSAMY, V.; JAGENDORF, A.; ZHU, J. K. Understanding and improving salt tolerance in plants. **Crop Science**, v. 45, p. 437-448, 2005.
- DANTAS, S. G. **Crescimento inicial e morfologia foliar em plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. E *Erythrina velutina* Mart. ex Benth, sob estresse hídrico**. 2014. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- DRANSKI, J.A. L. *et al.* Sobrevivência e crescimento do pinhão-manso em função do método de aplicação e formulações de hidrogel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 537–542, 2013.
- DUBOIS, M. et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 03, p. 350-356, 1956.
- DU PREEZ, C. C.; VAN HUYSSSTEEN, C. W.; MNKENI, P. N. S. Land use and soil organic matter in South Africa 2: A review on the influence of arable crop production. **The South African Journal of Science**, v. 107, p. 35-42, 2011.
- FAJARDO, L. *et al.* Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. **Journal of Arid Environments**, v. 88, p. 236-243, 2013.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Rome, 2009.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2012.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos Funceme; Ipece - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal**, Maracanaú, 2014.

GILBERT, C. *et al.* Effects of Hydrogels on Soil Moisture and Growth of *Cajanus cajan* in Semi Arid Zone of Kongelai, West Pokot County. **Open Journal of Forestry**, v. 4, p. 34-37, 2014.

GONDIM, F.A. **Pré-tratamento foliar com H₂O₂ como estratégia para minimizar os efeitos deletérios da salinidade em plantas de milho**. 2012. 147f. Tese Doutorado em Bioquímica. Fortaleza: Centro de Ciências/UFC, 2012.

HENNINK, W. E.; VAN NOSTRUM, C. F. Novel crosslinking methods to design hydrogels. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 64, p. 223–236, 2012.

KOUPAI, J. A.; SOHRAB, F.; SWARBRICK, G. Evaluation of Hydrogel Application on Soil Water Retention Characteristics. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, p. 317–331, 2008.

LACERDA, C. F. Estratégias de manejo para uso da água salina na agricultura. *In: Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTS, 2010. p. 303-315.

LEITE, F. P. *et al.* Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the rio doce valley. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34. p. 821-831, 2010.

LIMA, A. L. DA S.; ZANELLA, F.; CASTRO, L. D. M. DE. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 43–48, 2010.

MANTOVANI, W.; MARTINS, F. R. Variações fenológicas das espécies do cerrado da Reserva Biológica de Moji Guaçu, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira Botânica**, v. 11, p. 101-112. 1988.

MARQUES, P. A. A.; CRIPAI, M. A. DE M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 1-7, 2013.

MELO, R. R. *et al.* Crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. sob diferentes níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 138-144, 2008.

MENDONÇA, T. G. *et al.* Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, p.87-92, 2013.

MEWS, C. L. *et al.* Efeito do Hidrogel e Ureia na Produção de Mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta Ambient.** V. 22, p. 107-116. 2015.

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.

MORAES NETO, S. P. *et al.* Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na mata atlântica em função do nível de luminosidade. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p. 35-45, 2000.

NAVROSKI, M. C. *et al.* Influência do polímero hidroretentor na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes manejos. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 9, p. 344 - 349 , 2015.

NOFFS, P. S.; GALLI, L. F.; GONÇALVES, J. C. **Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica:** Uma experiência da CESP - Companhia Energética de São Paulo. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2000. Disponível: em: <http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/rec_20areas_20mata_20atlantica.pdf> . Acesso em: 27 maio 2011.

NOGUEIRA, R. J. M. C. *et al.* Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 75-87, 2001.

OCHOA; P. A. *et al.* Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. **Catena**, v. 140, p. 31–42, 2016.

RHEIN, A. F. L.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de-açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. **Semina**, v. 32, n. 4, p. 1345-1360, 2011.

SACRAMENTO, B. L. *et al.* Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2014.

SANTOS, R. V. A. **Polímeros superabsorventes:** processos de produção, aplicações e mercado. 2015. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)-Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

SILVA, E. N. *et al.* The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, p. 279–285, 2010.

SOUZA, L.A.G. *et al.* Desenvolvimento e nodulação natural de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 207-217, 2007.

TORRES, D. *et al.* Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcon, Venezuela. **Bioagro**, v.18, n.2 , 2006.

VITORINO, H. DOS S. *et al.* Déficit hídrico na eficiência de herbicidas e nas características bioquímicas de *Euphorbia heterophylla*. **Semina**, v. 34, p. 19-28, 2013.

WANG, R. *et al.* Carbon allocation, osmotic adjustment, antioxidant capacity and growth in cotton under long-term soil drought during flowering and boll-forming period. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 107, p. 137-146, 2016.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO INICIAL DE TAMBORIL COM O USO DE BAGANA E DOSES DE HIDROGEL

RESUMO: Os hidrogéis de poliacrilamida e a cobertura morta de bagana de carnaúba têm seu uso proposto para a revegetação de áreas degradadas, pois, podem atuar como condicionadores de solo. Ante isso, objetivou-se avaliar a eficiência da associação de doses de hidrogel com e sem adição da bagana de carnaúba e seus efeitos na estrutura do solo e frações do carbono orgânico. Para tanto, conduziu-se um experimento de campo, num Planossolo Háplico degradado. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2 X 4 com cinco repetições. Os tratamentos foram com e sem adição de bagana de carnaúba em cobertura e quatro doses de hidrogel (0,0; 4,0; 5,0 e 6,0 g L⁻¹). Determinou-se a biometria por meio da altura e diâmetro do coleto das plantas; a sobrevivência das mudas; o potencial hídrico foliar e o potencial mátrico do solo, e atributos físico-químicos do solo: densidade, porosidade, estabilidade dos agregados e o fracionamento físico da matéria orgânica. Concluiu-se que o melhor desenvolvimento do tamboril foi conseguido com a associação da bagana de carnaúba e hidrogel, sobretudo nas doses 4,0 e 5,0 g L⁻¹ por planta, uma vez que essas melhoram a retenção da água no solo, o suprimento hídrico, conseqüentemente, o crescimento em altura e diâmetro do tamboril cultivado em área degradada do semiárido.

PALAVRAS CHAVE: área degradada, reflorestamento, qualidade do solo.

INITIAL GROWTH OF TAMBORIL WITH THE USE OF BAGANA AND DOSES OF HYDROGEL

ABSTRACT: The polyacrylamide hydrogels and the mulch of carnauba bagana have their proposed use for the revegetation of degraded areas, since they can act as soil conditioners. The objective of this study was to evaluate the efficiency of the association of hydrogel doses with and without addition of carnauba bagana and its effects on soil structure and organic carbon fractions. For that, a field experiment was conducted on a degraded Haplic Planosol. The experimental design was a randomized block design in a 2 x 4 factorial arrangement with five replications. The treatments were with and without addition of carnauba bagana on top and four doses of hydrogel (0.0, 4.0, 5.0 and 6.0 g L⁻¹). The biometry was determined by means of the height and diameter of the collection of the plants; The survival of seedlings;

The soil water potential and soil matric potential, soil physical and chemical attributes: density, porosity, aggregate stability and physical fractionation of organic matter. It was concluded that the best development of tamboril was achieved with the association of carnauba and hydrogel bagana, especially at 4.0 and 5.0 g L⁻¹ per plant, since these improve water retention in the soil, the water supply, consequently, the growth in height and diameter of the tamboril cultivated in degraded area of the semiarid.

KEYWORDS: degraded areas, reforestation, soil quality

1. INTRODUÇÃO

A revegetação é uma das estratégias mais utilizadas para a recuperação de áreas degradadas. Esta envolve uma série de questões dentre as quais estão à escolha da espécie a ser plantada e a aplicação de condicionadores de solo para melhorar as condições nutricionais e hídricas do solo, visando favorecer o estabelecimento de plantas (ARAÚJO; COSTA, 2013; CABEZAS *et al.*, 2013; FAJARDO *et al.*, 2013; DU PREEZ *et al.*, 2011; ALMEIDA-FILHO; CARVALHO 2010; TRAJANO, 2010; SAMPAIO *et al.*, 2007).

A escolha das espécies é um ponto crítico para o reflorestamento, uma vez que deve respeitar aspectos da sucessão ecológica. O tamboril [*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong] é uma leguminosa pioneira e endêmica do Brasil (IPEF, 2014; HOLANDA *et al.*, 2010; MELO *et al.*, 2008). Esta é uma das espécies indicada para a revegetação de áreas degradadas, pois, além das características supracitadas, apresenta rápido crescimento (LORENZI, 1992) e também pode ser utilizada como fonte de madeira de construção, dentre outras aplicações (IPEF, 2014).

Em relação ao melhoramento das características físico-químicas e hídricas dos solos, os hidrogéis e coberturas mortas têm sido indicados em projetos de recuperação (FAJARDO *et al.*, 2013; MIRANDA *et al.*, 2011; HANDA; JEFFERIES, 2000). O primeiro é um polímero sintético capaz de absorver várias vezes seu peso em água, o que contribui para a retenção desta no solo e favorece indiretamente a absorção de nutrientes disponíveis (CAMPOS *et al.*, 2015; RAMEZANI *et al.*, 2013).

Quando se trata da cobertura morta com bagana, estudos comprovam a maior retenção de água em solos onde esta é adicionada, devido ela criar uma barreira à evaporação (FIDALSKI *et al.*, 2010). Além disso, a adição de cobertura morta acrescenta matéria orgânica e nutrientes ao solo, desfavorece a erosão do solo, e tem potencial de reduzir ervas

daninhas (VALE; MEDEIROS, 2012; CORRÊA, 2002; SMOLIKOWSKI *et al.*, 2001).

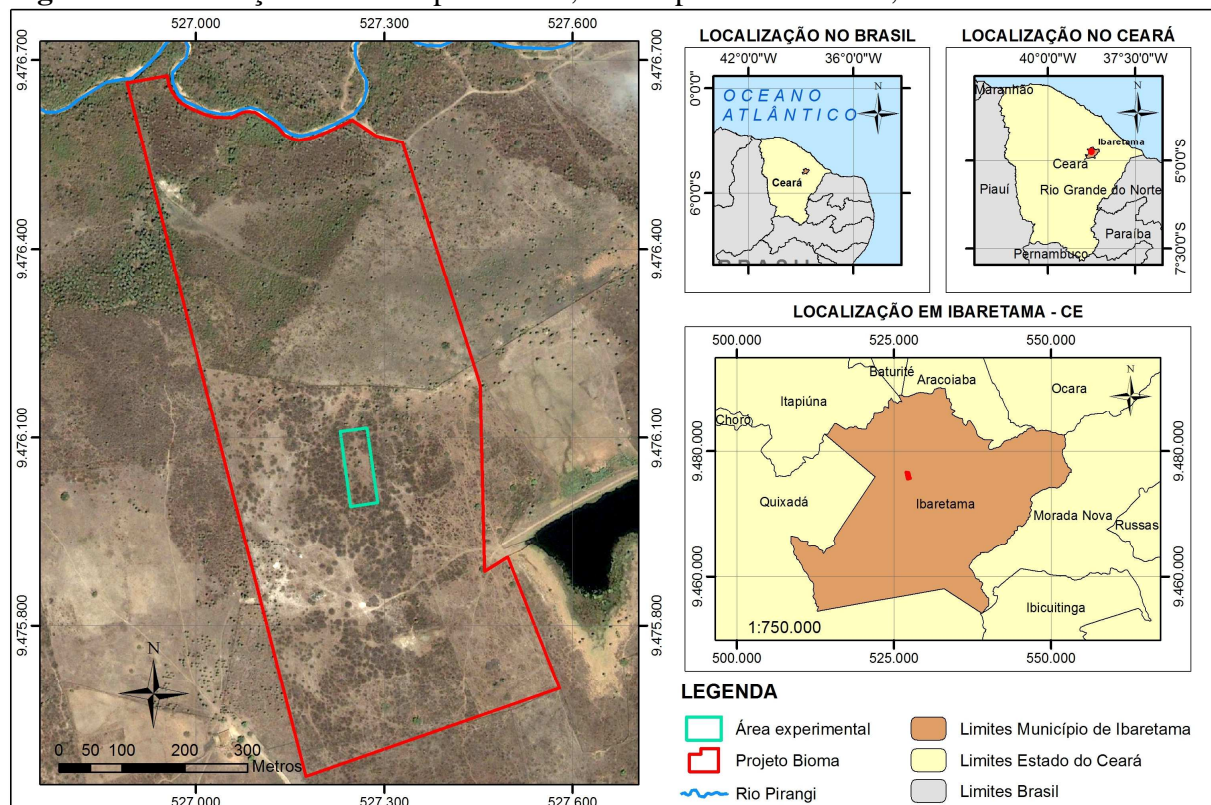
Portanto, tem-se a hipótese que a utilização de hidrogel associado à bagana de carnaúba beneficia o estabelecimento do tamboril [*Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong] em solos degradados no semiárido e pode melhorar a qualidade destes. Ante isso, objetivou-se determinar a eficiência da associação de doses de hidrogel com e sem adição da bagana de carnaúba e os efeitos da combinação hidrogel-bagana na estrutura do solo e frações do carbono orgânico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização, clima e solo da área experimental.

O Experimento foi conduzido em campo na fazenda Triunfo, área experimental do Projeto Biomas Caatinga, localizada no município de Ibaretama, CE (Figura 1).

Figura 1. Localização da área experimental, município de Ibaretama, CE



A citada fazenda está localizada nas coordenadas Geográficas 07°30'0''S, 37°30'0''W, 161 m de altitude, distante 130 km da Capital Fortaleza, dentro da microrregião do Sertão de Quixeramobim e Mesorregião dos Sertões Cearenses. O clima regional é do tipo BShw',

segundo a classificação de Köppen-Geiger (1918), configurando clima tropical quente semiárido com chuvas concentradas de fevereiro a maio, sendo a temperatura média anual de 27 °C e a pluviometria média anual de 838,1 mm, segundo dados da Funceme (2013).

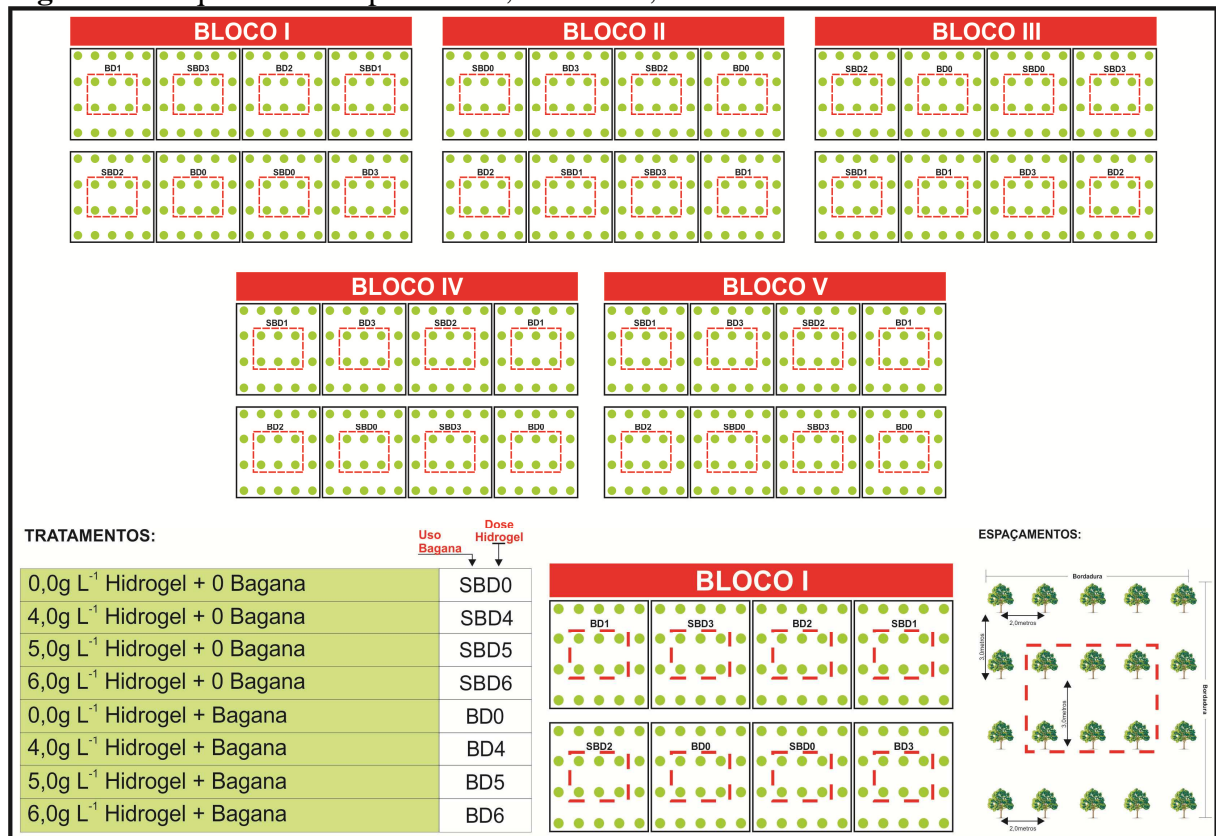
Segundo Cunha *et al.* (2015), dentre as classes de solo identificadas na propriedade destacam-se os Planossolos (que ocorrem em cerca de 55% da propriedade) e os Vertissolos (que ocorrem em cerca de 38% da propriedade), de acordo com a classificação de solos realizada na área experimental do Biomas Caatinga, na Fazenda Triunfo. Na área do Projeto Biomas onde foi realizado o experimento o solo foi classificado como Planossolo Háptico Eutrófico Solódico (Sxe1), com textura arenosa / média (CUNHA *et al.*, 2015).

2.2. Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4, avaliando-se as quatro doses de hidrogel (determinadas com base no experimento 1) diluídos em água destilada (0,0; 4,0; 5,0 e 6,0 g L⁻¹) e a adição de bagana de carnaúba (com e sem bagana), na forma de folhas moídas aplicadas como cobertura morta (*mulching*) na quantidade de 10 Mg ha⁻¹ ou de 10 dm³ planta⁻¹. Cada tratamento apresentou cinco repetições, resultando em 40 parcelas experimentais. Vale destacar que para as variáveis: altura, diâmetro do coleto e para o potencial hídrico e mátrico do solo, utilizou-se o esquema de parcelas subdivididas, uma vez que o tempo foi considerado.

Para implantação do experimento foram utilizadas 800 mudas de tamboril [*Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong], das quais 240 foram consideradas plantas úteis, sendo todas distribuídas numa área de 202 x 27 metros, totalizando uma área de 5.454,0m² ou 0,55 hectare aproximadamente. Em cada parcela foram estabelecidas quatro linhas de plantio de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong, com espaçamento de 2 x 3 metros (Figura 2). As duas linhas centrais (seis plantas) foram utilizadas como área útil para as avaliações, cada linha composta com seis plantas, sendo as três centrais como úteis.

Figura 2. Croqui da área experimental, Ibareta, CE



2.3 Caracterização do solo, da bagana de carnaúba e do Hidrogel

Anteriormente ao preparo do solo foram coletados em cinco pontos da área amostras de solo deformadas (na camada de 0 a 20 cm de profundidade) para compor uma amostra composta, cujos atributos químicos e granulométricos são descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades químicas e granulométricas do solo da área do experimento de campo, Ibareta, CE

| pH (água) | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | H ⁺ +Al ³⁺ | Al ³⁺ | SB | CTC | V | P |
|--------------------|---|------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|------------------|-----------------|------|------|---------------------|
| | cmolc kg ⁻¹ | | | | | | | | % | mg kg ⁻¹ |
| 5,17 | 2,30 | 3,10 | 0,18 | 0,37 | 3,50 | 0,50 | 5,95 | 9,95 | 60,0 | 2,37 |
| MO | Composição Granulométrica (g kg ⁻¹) | | | | | | Classe Textural | | | |
| g kg ⁻¹ | Areia | | Silte | | Argila | | Franco Arenosa | | | |
| 5,45 | 750 | | 151 | | 99 | | | | | |

Ca²⁺ = cálcio trocável, Mg²⁺ = magnésio trocável, K⁺ = potássio trocável, H⁺ = hidrogênio, Al³⁺ = alumínio, P = fósforo, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca de cátions e V = saturação por base.

Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = Extrator KCl 1 mol/L (cloreto de potássio) determinação por titulometria com EDTA. K⁺, P = Extrator Mehlich 1 determinação para o potássio por espectrofotometria e fosforo por colorimétrica. H⁺ = Extração por acetado de cálcio para análise de solo 1 mol/L com a determinação de H+Al e por diferença temos o alumínio determinação por titulometria com NaOH. SB, CTC e V = obtido por meios de cálculos.

A matéria orgânica (MO) foi obtida por meio do carbono orgânico multiplicado pelo fator de "van Bemmelen" que é 1,72. O Carbono orgânico total e obtido pelo método de Walkley-black em via úmida utilizado dicromato em meio ácido com aquecimento externo. A granulometria utilizou como dispersante o hidróxido de sódio (NaOH 1 mol/L) e a determinação dos componentes por gravimetria.

A bagana de carnaúba utilizada no experimento foi proveniente de uma área de acúmulo de bagana proveniente da produção de cera na própria fazenda em que foi instalado o experimento (Fazenda Triunfo – Projeto Biomas Caatinga). Para a caracterização química da bagana foi coletada uma amostra composta por cinco subamostras coletadas em diferentes pontos de uma pilha de bagana. Foram determinados os teores de macronutrientes e sódio em g kg^{-1} e micronutrientes em mg kg^{-1} . Para tanto, a bagana foi seca ao natural posteriormente à coleta e, em seguida, moída em moinho tipo Wiley. As determinações dos teores foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), manganês (Mn), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) foram realizadas em extrato nítrico-perclórico. Para a determinação do teor de N utilizou-se a metodologia de Kjeldahl e para o Carbono (C) o método de Walkley-Black em via úmida utilizado dicromato em meio ácido com aquecimento externo, sendo tais metodologias descritas em Malavolta, Vitti e Oliveira, (1997). Os resultados da caracterização química da bagana são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química da bagana de carnaúba utilizada no experimento de campo, Ibareta, CE

| C | N | P | K | Ca | Mg | Na | Cu | Fe | Mn | Zn | C/N |
|----------------------------------|-------|------|------|------|------|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| <----- g kg ⁻¹ -----> | | | | | | <----- mg kg ⁻¹ -----> | | | | | |
| 394,59 | 17,92 | 3,94 | 9,38 | 2,91 | 2,37 | 0,47 | 1,04 | 63,95 | 67,41 | 13,35 | 22,02 |

Potássio (K), sódio (Na), determinação por fotometria de chama; Fósforo (P) determinação por colorimetria; Cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn), determinação por absorção atômica.

Carbono (C) obtido pelo método de Walkley-black em via úmida utilizado dicromato em meio ácido com aquecimento externo, e determinação por titulação com Sulfato ferroso amoniacal. N quantificação por titulação com ácido sulfúrico (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1997).

O hidrogel utilizado na pesquisa foi da marca comercial FORTH Gel®, descrito como polímero de poliácridamida de potássio. Esse polímero apresenta em sua estrutura física cristais brancos, não é considerado tóxico ao ambiente e apresenta recomendação de uso na forma hidratada.

2.4. Instalação e condução do experimento

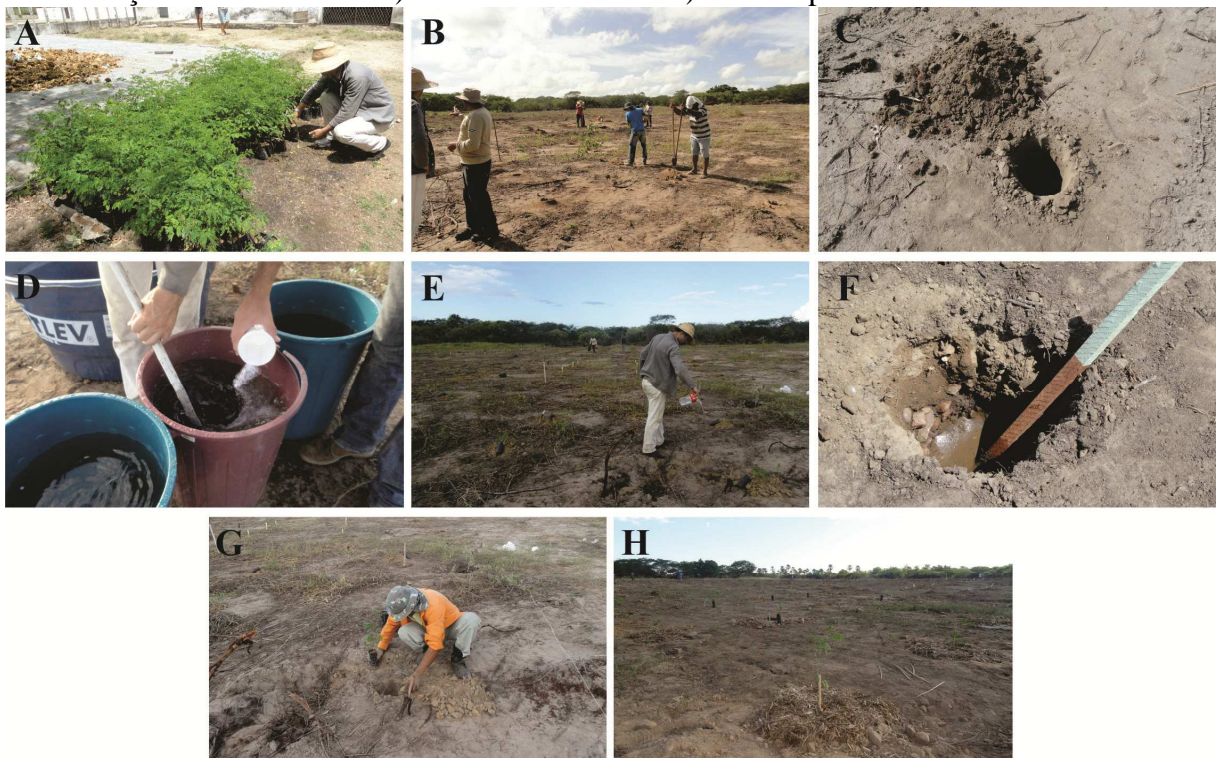
Para produzir as mudas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong utilizadas no experimento 2, inicialmente foi realizada, em 24 de fevereiro de 2014, a semeadura em bandejas de isopor contendo o substrato de 50% de areia + 50% composto orgânico. Aos 15 dias após a semeadura (DAS), as plântulas foram repicadas para sacos pretos de polietileno, com dimensões de 12 x 26 cm, contendo substrato constituído por 70% de areia + 30%

composto orgânico. As mudas permaneceram nos sacos de polietileno até atingirem altura média de 35 cm (\pm 3 cm) (Figura 3A). Posteriormente, as mudas foram plantadas no campo com espaçamento de 2 x 3 m, em covas com dimensões de 20 x 20 x 20 cm (Figuras 3B e 3C).

Antes da repicagem das mudas, foi aplicado adubo fosfatado (superfosfato simples) nas covas, visando garantir a mínima disponibilidade de fósforo (P_2O_5) para viabilizar o desenvolvimento vegetal. A dose de 280 gramas de superfosfato por cova foi baseada na recomendação de 80 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e 50g/cova de P_2O_5 , com base no resultado da análise de caracterização do solo da área experimental e da demanda média de espécies arbóreas, segundo Raij (2011).

Para a adição do hidrogel nas covas, realizou-se inicialmente a diluição das doses 4, 5 e 6 gramas de hidrogel na forma de grânulos secos em 1 litro de água, na proporção adequada para todos os tratamentos (Figura 3D). Vale destacar que nas covas correspondentes ao tratamento com a dose 0 g de hidrogel (controle) foi adicionada apenas a quantidade de água (1,0 L) sem o hidrogel (Figura 3E).

Figura 3. Atividades de implantação do Experimento de campo, Fazenda Triunfo, Ibaratama, CE. A) Mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. B) Abertura das covas. C) Cova preparada. D) Hidratação do hidrogel. E) Aplicação do Hidrogel. F) Piquete com identificação do tratamento. G) Plantio das mudas. H) Área implantada



Após adição do hidrogel, pequena quantidade do solo retirado durante a abertura das covas foi adicionado no fundo das mesmas, buscando evitar o contato direto das raízes das mudas com o produto. Na sequência, foi realizado o plantio, fechando-se as covas com o restante de solo que havia sido retirado, finalizando parte da instalação experimento (Figuras 3G e 3H).

Com relação à aplicação da bagana de carnaúba foi aplicado um volume de 10 dm^3 que corresponde a um peso de 0,6 kg por planta. A bagana foi aplicada numa área de $0,65 \text{ m}^2$ (Figura 4). Com o decorrer do experimento e para evitar a perda da bagana pelo vento, bem como sua reposição, foi instalada uma tela plástica de malha 25 mm, medindo $0,80 \times 0,80 \text{ m}$, presa ao solo. A tela foi colocada em todos os tratamentos com cobertura morta (bagana de carnaúba) como mostra a Figura 4.

Figura 4. Uso da malha plástica para proteção da cobertura morta (bagana de carnaúba), Fazenda Triunfo, Ibaretama, CE



Foi instalado um pluviômetro na área e, ao longo de todo o experimento, foram coletados os dados pluviométricos (Tabela 3).

Tabela 3. Dados mensais da precipitação e da lâmina da irrigação de sobrevivência aplicada às plantas do experimento de campo, Ibaretama, CE

| Pluviometria (mm) | Ano 2014 | | | | | | | | | Ano 2015 | | |
|----------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar |
| Precipitação | 47 | 147 | 17 | 16 | - | - | 16 | 14 | - | 48 | 109 | 28 |
| Irrigação | - | - | 05 | 05 | 10 | 10 | 05 | 05 | 10 | - | - | - |
| TOTAL | 47 | 147 | 22 | 21 | 10 | 10 | 21 | 19 | 10 | 48 | 109 | 28 |

Nos meses mais críticos (junho a dez) foram realizadas irrigações de salvação, que

ocorriam a depender da precipitação semanal, sendo aplicados no máximo 15,0 L de água no mês (distribuídos quinzenalmente na quantidade de 7,5 L ou 5mm em função da área molhada de 0,65m²). Essa medida foi baseada na quantidade mínima (0,5 L dia⁻¹) de água para sobrevivência da planta (Tabela 6). Nos meses sem ocorrência de chuvas (agosto e setembro), a complementação de água foi realizada a cada 15 dias para garantir de sobrevivência das plantas, atingindo a 60% da capacidade de campo.

Os tratos culturais realizados ao longo de todo o experimento envolveram o controle de ervas daninhas por meio de capina manual e o de pragas com defensivos apropriados na dosagem adequada em função do ataque.

2.5 Avaliações

2.5.1 Crescimento das plantas

Nas mudas que sobreviveram nas parcelas experimentais avaliou-se a altura e o diâmetro do coleto a cada 28 dias até completarem 308 dias após o plantio (DAP), totalizando 11 avaliações que foram consideradas como subparcelas (tempo) na análise estatística. A mensuração da altura ocorreu com auxílio de régua graduada em cm, medida no colo da planta ao último nó das plantas da área útil. Também foi medido o diâmetro do coleto das plantas com auxílio do paquímetro da marca STARRET® com precisão de ± 01 mm.

2.5.2 Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

Após quatro meses de adaptação das plantas em campo, foram realizadas determinações do potencial hídrico (bar) em folhas das plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong. As determinações ocorreram em 23/07/14; 11/10/14 e 15/01/15 (a cada três meses), entre 01:00 e 04:00 horas da manhã (predal), em duas das seis plantas utilizadas como úteis em cada parcela em 04 blocos. Essa medida foi realizada utilizando a bomba de pressão Scholander, modelo 3035 da “Soil Moisture Equipment Corp”.

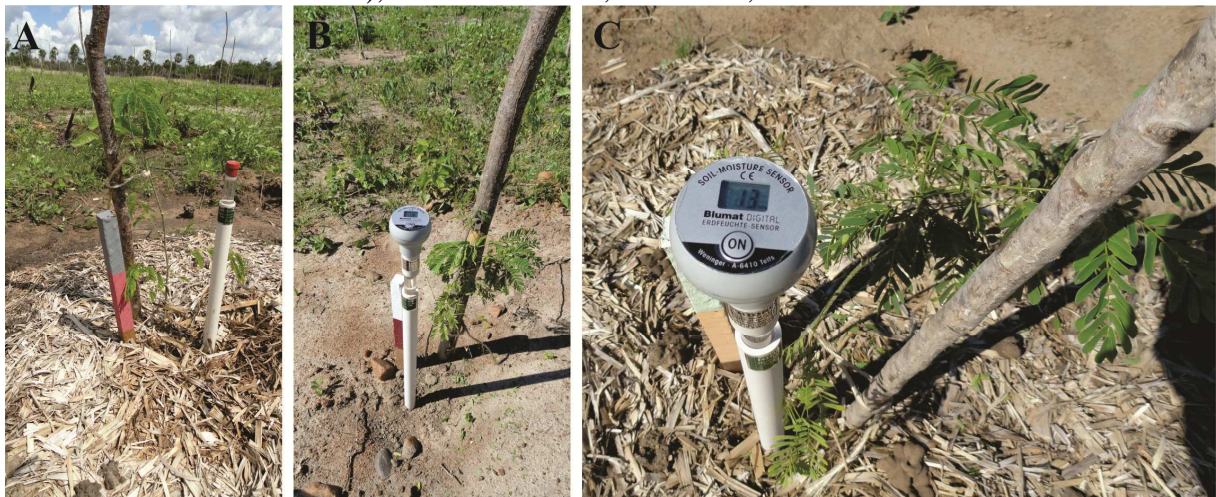
2.5.3 Potencial Mátrico do solo (Ψ_m)

Para a determinação do potencial mátrico (Ψ_m) do solo instalou-se em cada parcela de cada tratamento um tensiômetro de punção, totalizando 40 unidades (Figura 5A). Os tensiômetros foram inicialmente preenchidos com água e, em seguida submersos (inclusive

sua capsula porosa) em recipiente com água destilada durante período de 08 horas. Passado esse tempo os equipamentos foram instalados em solo úmido, por meio de um furo de diâmetro menor que o dele visando possibilitar maior aderência da cápsula porosa no solo e evitar a formação de bolhas de ar em suas proximidades.

Os tensiômetros foram instalados distantes 20 cm da planta (Figura 5A) e, apesar de possuírem 40 cm de comprimento foram instalados a 20 cm de profundidade visando a melhor representação do potencial mátrico, haja vista, o sistema radicular efetivo das mudas permear essa profundidade. As leituras do potencial mátrico ocorreram nas primeiras horas da manhã, duas vezes por semana por um período de 06 meses, utilizando-se um tensiômetro digital de agulha da marca Hidrosense com faixa de medição de 0 a 75 kPa (Figuras 5B e 5C). É importante destacar que antes das leituras era feita a verificação do nível de água na cubeta, deixando-a completamente preenchida.

Figura 5. Instalação do tensiômetro a profundidade de 20cm A) e tensiômetro de punção B). Detalhe da leitura em kPa C), Fazenda Triunfo, Ibaretama, CE



Para cada tratamento foi coletado um total de cinquenta e cinco leituras por equipamento e representado pelos dados médios. A partir de cada leitura foi calculado o potencial mátrico utilizando a fórmula para tensiômetro digital descrita por Brito *et al.* (2009) e citada abaixo:

$$\Psi_m \text{ (mca)} = - (L_d \times 0,0136) + h_c + z$$

sendo:

L_d = Leitura do visor digital em mmHg;

h_c = Altura de inserção do tensiômetro no tubo de PVC em relação a superfície do solo, m;

z = Profundidade de instalação do centro da cápsula porosa do tensiômetro, m.

5.2.5.4 Atributos físicos do solo

Ao final de um ano do plantio das mudas no campo, foram coletadas amostras deformadas da camada superficial do solo (0 a 20 cm), sendo inicialmente feita a abertura de uma vala próximo a planta (Figura 6A) e posteriormente realizada a coleta do solo ao logo da profundidade citada (Figura 6B). As amostras foram secas à sombra por 24 horas, seguindo-se o peneiramento em malha de 2,0 mm e, em seguida, o solo foi utilizado nas determinações da densidade do solo ou aparente, pelo método da proveta; densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico, e a porosidade total foi calculada pela relação entre a densidade do solo e densidade de partícula, todos descritos em Donagema *et al.* (2011).

Figura 6. Amostras de solo deformadas e de torrões para a determinação de atributos físicos do solo por meio da abertura de uma vala A); da Coleta de amostra deformada B); da Coleta de torrões C), com Destaque da amostra em torrões D) Acondicionamento da amostra E). Fazenda Triunfo, Ibareta, CE



Para as determinações da estabilidade de agregados foram coletadas amostras deformadas na forma de torrões de agregados (Figura 6C) e utilizou-se a metodologia apresentada por Kemper e Chepil (1965). As amostras foram analisadas pelo peneiramento úmido e separadas em classes por um conjunto de peneiras de diâmetros correspondentes as classes de 2,0; 1,18; 0,60 e 0,25 mm. Com a massa dos agregados retidos em cada peneira e secos a 105 °C foi calculada a % de estabilidade dos agregados, diâmetro médio ponderado (DMP) e o Diâmetro médio geométrico (DMG).

As equações utilizadas foram as seguintes:

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n X_i w_i ; \quad \text{DMG} = \exp \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^n w_i \log x_i \right)}{\left(\sum_{i=1}^n w_i \right)} \right]$$

Sendo: X_i = diâmetro médio das classes (mm); W_i = proporção do peso da cada classe em relação ao total.

2.5.5 Aporte de carbono do solo

A partir das amostras deformadas do solo, utilizadas nas avaliações dos atributos físicos, realizou-se a estimativa das seguintes frações do carbono do solo: carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado a minerais (COM). As determinações do COT ocorreram por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS; BREMNER, 1988).

Para determinar o COP utilizou-se a metodologia proposta por Cambardella; Elliot (1992) apud Nunes *et al.* (2011), na qual 20 g de solo foram colocados em frascos do tipo snap-cap de 250 mL e adicionados de 80 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}). Os frascos foram agitados por 16 h em agitador horizontal a 150 batidas por minuto e a suspensão passada em peneira de $53\mu\text{m}$ ou 0,053mm, com auxílio de jatos de água. O material retido na peneira foi seco em estufa a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ até atingir peso constante e moído em gral de porcelana até passar em peneira de 0,149 mm. O teor de COT da fração particulada, ou seja, o COP foi determinado igualmente ao COT. Os teores de COM foram obtidos pela diferença entre os valores de COT e COP, ou seja, $\text{COM} = \text{COT} - \text{COP}$.

2.5.6 Sobrevivência das plantas

Após os 308 dias após o plantio das mudas foi avaliada a sobrevivência das plantas por meio da diferença entre a porcentagem de plantas úteis de cada tratamento (30 plantas) e a porcentagem de plantas mortas de cada tratamento. Nessa avaliação (Tabela 4) verificou-se que a média de sobrevivência dentre os tratamentos foi de 98%, sendo que na maior dose de hidrogel (6 g L^{-1}) não ocorreram perdas de plantas. Apesar disso, nos demais tratamentos a

mortalidade não ultrapassou os 3,33% (que representa 1 planta a cada 30 plantas).

Tabela 4. Percentagem de sobrevivência de mudas *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel, com e sem cobertura morta (bagana de carnaúba), 308 dias após o plantio

| Cobertura do solo | Doses de hidrogel (g L ⁻¹) | | | |
|-------------------|--|--------|-------|--------|
| | 0,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 |
| Com | 96,66 | 96,66 | 96,66 | 100,00 |
| Sem | 96,66 | 100,00 | 96,66 | 100,00 |
| Média | 99,58 | 99,79 | 99,58 | 100,00 |

Esses resultados inclui taxas de sobrevivências encontradas para outras espécies arbóreas, como apresentado por Dranski *et al.* (2013) que encontraram para plantas de pinhão-manso cultivado em campo, num solo adicionado de diferentes doses de hidrogel, taxa de sobrevivência variando entre 83 e 99%. Esses autores também concluíram que o uso de até 7,0 g de hidrogel diluídos em 0,5 L de água adicionados diretamente na cova (por ocasião do plantio) parece proporcionar a maior sobrevivência de mudas de pinhão-manso.

2.5.7 Análises estatísticas

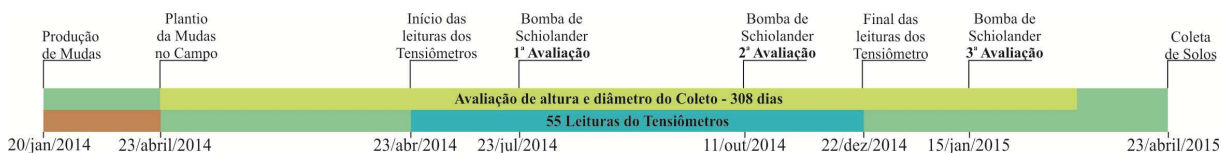
Para todas as variáveis avaliadas realizou-se inicialmente a análise de variância (ANOVA) averiguando-se a normalidade dos grupos de dados por meio do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Dados normais e significativos pelo teste F foram submetidos ao teste de Tukey para comparação de médias para os tratamentos qualitativos e análise de regressão para os de natureza quantitativa, utilizando o programa estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2012). Na análise de regressão, as equações que melhor se ajustaram aos dados foram selecionadas com base na significância do teste F, sendo os coeficientes de regressão testados a 1% ou 5% de probabilidade pelo teste t e com maior coeficiente de determinação (R^2).

Dados não normais foram encontrados nas variáveis: proteína solúvel foliar (PSF) e radicular (PSR), prolina foliar (PRF) e para a % de agregados estáveis. Visando ajustar a normalidade dos resíduos, os dados da PSF, PSR foram transformados para log x; para PRF os dados foram transformados para Box-Cox ($\lambda = -2,00$) e, para % de agregados estáveis utilizou-se a transformação pela raiz quadrada de $\sqrt{x + 1}$, sendo posteriormente submetidos à análise de variância como descrito acima.

2.5.8. Cronograma das atividades

A Figura 7 apresenta a sequência cronológica das atividades realizadas a partir da implantação do experimento de campo, até o término deste com a coleta para análise de solos.

Figura 7. Linha do tempo das atividades desenvolvidas no experimento de campo



3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1. Crescimento e estabelecimento das plantas em campo

Segundo a ANOVA (Tabela 5) ocorreu efeito significativo isolado da cobertura morta, das doses de hidrogel e do tempo, tanto para a altura quanto para o diâmetro do coleto. Ocorreu também efeito das interações duplas: cobertura \times tempo e dose \times tempo, além da interação tripla entre cobertura \times dose \times tempo.

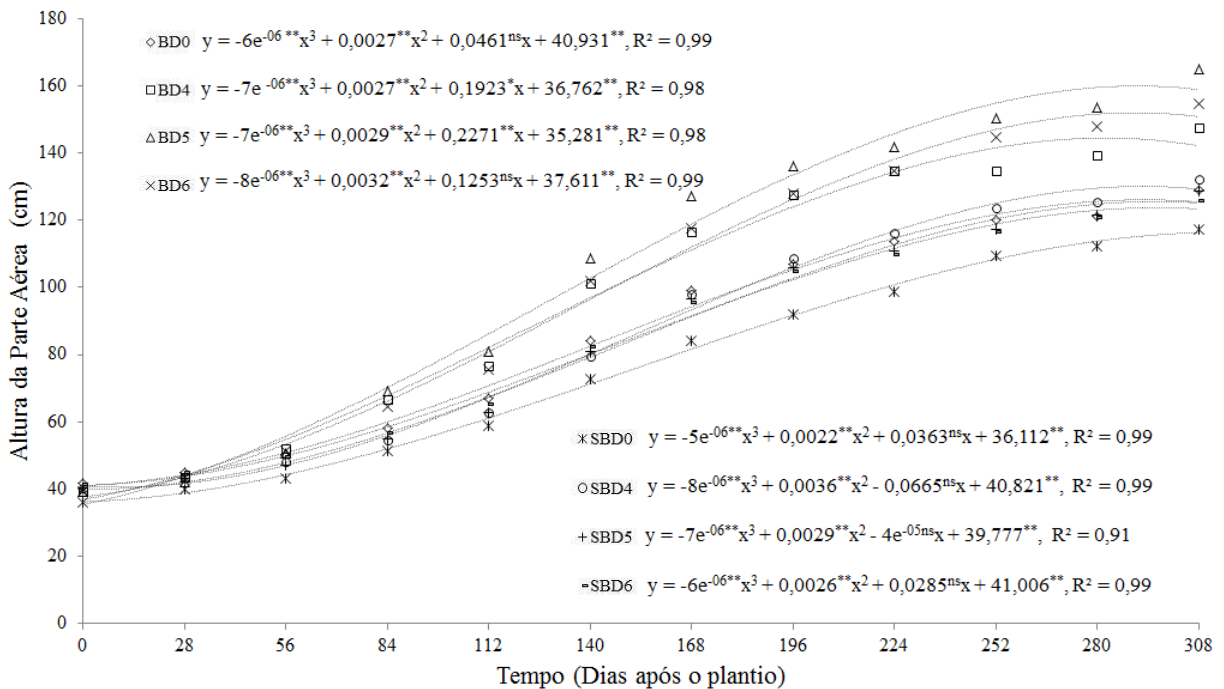
Tabela 5. Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura e diâmetro do coleto de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a dois tipos de cobertura do solo e quatro doses de hidrogel, avaliadas a cada 28 dias ao longo de 308 dias após o plantio

| Fontes de Variação | GL | Quadrado Médio | |
|--|-----|----------------------|-------------------------|
| | | Altura (ALT) | Diâmetro do Coleto (DC) |
| Cobertura (A) | 01 | 26576,2** | 1192,55** |
| Bloco | 04 | 796,69 ^{ns} | 2,20 ^{ns} |
| Resíduo a | 04 | 636,91 | 13,79 |
| Dose (B) | 03 | 4331,96** | 61,60** |
| Cobertura \times Dose | 03 | 726,37 ^{ns} | 26,80 ^{ns} |
| Resíduo b | 24 | 633,70 | 9,10** |
| Tempo (C) | 11 | 53554,18** | 1303,82** |
| Cobertura \times Tempo | 11 | 789,87** | 52,97** |
| Dose \times Tempo | 33 | 154,73** | 4,57** |
| Cobertura \times Dose \times Tempo | 33 | 76,74** | 2,19** |
| Resíduo c | 352 | 44,51 | 1,27 |
| CV a (%) | | 28,0 | 33,8 |
| CV b (%) | | 27,9 | 27,4 |
| CV c (%) | | 7,4 | 10,2 |

** significativo ao nível de 1% pelo teste F, *significativo ao nível de 5% pelo teste F; ns – não significativo; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade.

Para a altura observou-se, de modo geral, crescimento exponencial. Até os 56 dias após o plantio (DAP) as plantas cresceram mais lentamente, provavelmente devido à adaptação destas às condições de campo. No que se refere às diferenças de altura entre os tratamentos, foi a partir dos 56 DAP que estas passaram a ser observadas (Figura 8).

Figura 8. Altura de plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel, na presença e ausência de cobertura morta de bagana de carnaúba



◇BD0 - Com Bagana, Dose 0; □BD4 - Com Bagana, Dose 4; △BD5 - Com Bagana, Dose 5; ×BD6 - Com Bagana, Dose 6; *SBD0 - Sem Bagana, Dose 0; ○SBD4 - Sem Bagana, Dose 4; +SBD5 - Sem Bagana, Dose 5; ▨SBD6 - Sem Bagana, Dose 06.

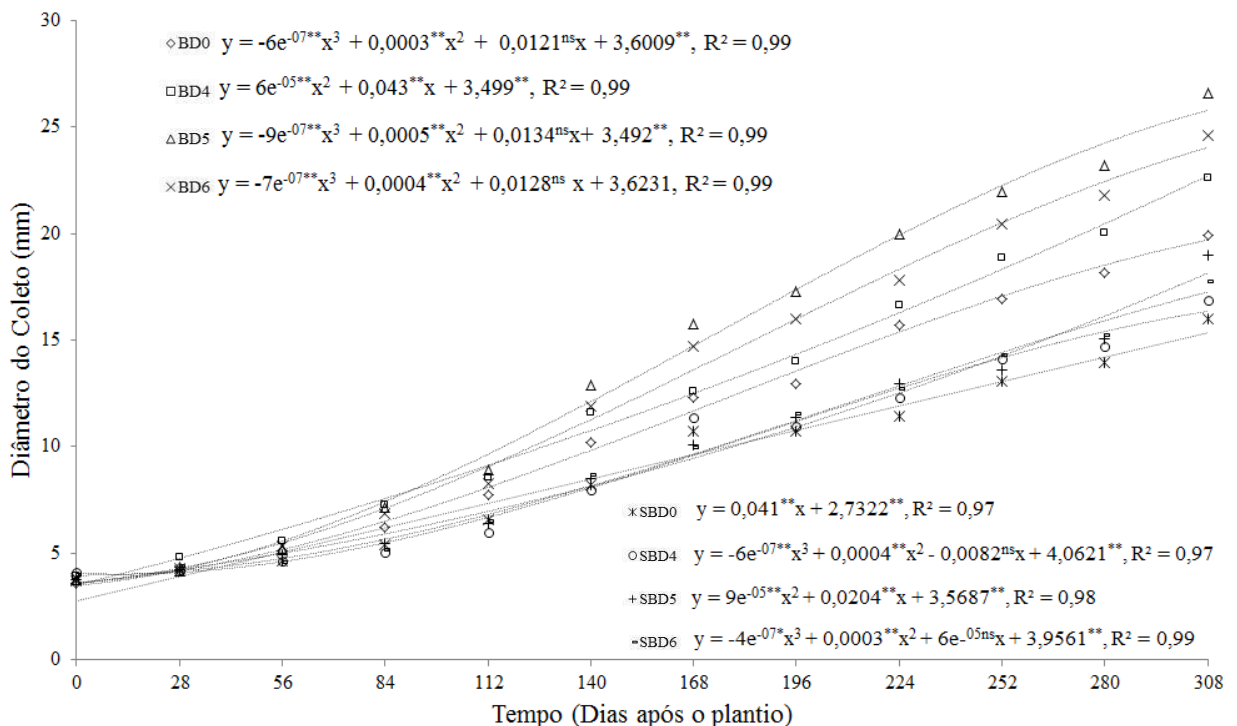
Plantas pertencentes aos tratamentos contendo cobertura morta de bagana de carnaúba apresentaram, de modo geral, maior crescimento que plantas sem a adição de cobertura morta, sendo o tratamento com a dose de hidrogel correspondente a $5,0 \text{ g L}^{-1}$ com adição de bagana (BD5) o que apresentou melhor resultado, seguido do tratamento com a dose de hidrogel correspondente a $6,0 \text{ g L}^{-1}$ com adição de bagana (BD6). Plantas de ambos os tratamentos apresentaram aos 308 DAP altura estimada de 176 e 146 cm, respectivamente (Figura 8).

Dentre os tratamentos sem adição de cobertura morta (bagana), o que proporcionou plantas com menores alturas foi o controle (dose de hidrogel de $0,0 \text{ g L}^{-1}$ (SBD0)) com 110 cm, enquanto o tratamento com a dose de hidrogel de $4,0 \text{ g L}^{-1}$ (SBD4) proporcionou plantas com as maiores alturas (128 cm). Vale destacar que o tratamento SBD4 apresentou altura inferior ao tratamento com dose $0,0 \text{ g L}^{-1}$ de hidrogel, no tratamento com adição de bagana

(BD0) (Figura 8).

Para o atributo diâmetro do caule (Figura 9), observou-se tendência semelhante à altura, sendo também a partir dos 56 DAP percebidas diferenciações entre tratamentos. Vale destacar que para esta variável, mesmo aos 308 DAP não foi perceptível a estabilização no incremento do diâmetro, diferentemente do observado para a altura. Tal fato pode ser favorável, haja vista que o aumento do diâmetro implica diretamente em aumento de massa pela planta e aumento das chances de sobrevivência (RITCHIE *et al.*, 1993).

Figura 9. Diâmetro do coleto de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong cultivado em solo adicionado de doses de hidrogel, com e sem cobertura morta (bagana de carnaúba)



◇BD0 - Com Bagana, Dose 0; □BD4 - Com Bagana, Dose 4; △BD5 - Com Bagana, Dose 5; ×BD6 - Com Bagana, Dose 6; ×SBD0 - Sem Bagana, Dose 0; ○SBD4 - Sem Bagana, Dose 4; +SBD5 - Sem Bagana, Dose 5; ▬SBD6 - Sem Bagana, Dose 06.

Assim como para a altura da planta, o tratamento BD5 foi o que proporcionou plantas com maior diâmetro (28,8 cm), enquanto na mesma dose de hidrogel do tratamento sem cobertura morta (SBD5) atingiu 22,0 cm. Novamente, as plantas do tratamento BDO (com adição de cobertura morta, mas sem hidrogel) atingiram maiores diâmetros do coleto (18,2 cm) em comparação ao tratamento sem cobertura morta e sem hidrogel (SBD0), cujo diâmetro do coleto foi 15,4 cm (Figura 9). Tais resultados sugerem que a adição hidrogel melhora as condições hídricas do solo, favorecendo o crescimento das plantas, sobretudo na

presença da cobertura morta.

Vale destacar que quando se comparados os tratamentos com e sem adição de cobertura morta (bagana), verificou-se que o incremento em altura entre as doses de hidrogel que proporcionaram as maiores alturas e a dose controle foi superior nos tratamentos com a adição da bagana. É o caso do incremento em altura entre os tratamentos com aplicação de bagana (BD5 e BD0) que correspondeu a 39,8 cm, e entre os tratamentos sem bagana (SBD4 e SBD0) que foi de apenas 18,3 cm.

Para o diâmetro do coleto observou-se a mesma tendência: incremento de 10,5cm (entre tratamentos BD5 e BD0) e de 6,6 cm (entre SB5 e SB0). Esse fato sugere que a adição da bagana contribui para os melhores resultados da utilização do hidrogel.

Similarmente ao encontrado no experimento feito em vasos, o experimento de campo também apresentou maior crescimento com as doses de hidrogel. Fajardo *et al.* (2013) também verificaram em campo que a adição de hidrogel favoreceu o crescimento em altura de cinco espécies arbóreas (*Piscidia carthagenensis*, *Tecoma stans*, *Cercidium praecox*, *Bulnesia arborea* e *Prosopis juliflora*) desenvolvidas em solo degradado. Sendo, nesse caso, utilizada a dosagem de 15 g de hidrogel por planta, quantidade cerca de três vezes superior à que proporcionou a maior altura dos *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong deste estudo.

Marques *et al.* (2013) também verificaram em mudas de cafeeiro tratadas com doses de hidrogel que, após 240 dias da aplicação dos tratamentos, a altura de plantas que não foram irrigadas e receberam de 1,0 a 3,0 g de hidrogel por saco de polietileno, foi superior à de plantas controle (0 g de hidrogel e sem irrigação). No entanto, tais plantas apresentaram altura similar à de plantas irrigadas e sem hidrogel, sugerindo que o maior crescimento destas com o hidrogel foi resultado do melhor suprimento hídrico proporcionado por este polímero, assim como sugerem os dados do potencial mátrico do solo.

No que se trata da interação cobertura morta x hidrogel não foram encontrados relatos na literatura. No entanto, sugere-se que as maiores alturas das plantas submetidas à cobertura com bagana de carnaúba e hidrogel em comparação às que não possuíam bagana, se devem, às menores perdas de água do solo (FIDALSKI *et al.*, 2010) e ao controle de ervas daninhas, proporcionado pela bagana (VALE; MEDEIROS, 2012).

3.2 Potencial hídrico foliar e potencial mátrico do solo

Pela análise de variância (ANOVA) apresentada na Tabela 6 constata-se que houve efeito significativo da cobertura e do tempo isoladamente no potencial hídrico foliar. Para a

interação entre os fatores, não ocorreu diferença significativa.

Tabela 6. Resumo da análise de variância (ANOVA) do potencial hídrico foliar (Ψ_w) obtido pela Bomba de Scholander em plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong avaliadas com e sem bagana em diferentes doses de hidrogel

| Fontes de Variação | G.L. | Quadrado Médio |
|--|------|----------------------------------|
| | | Potencial hídrico Ψ_w (Bar) |
| Cobertura (A) | 01 | 7,26 [*] |
| Bloco | 03 | 4,65 ^{ns} |
| Resíduo a | 03 | 0,59 ^{ns} |
| Dose (B) | 03 | 1,07 ^{ns} |
| Cobertura \times Dose | 03 | 0,62 ^{ns} |
| Resíduo b | 18 | 0,83 ^{ns} |
| Tempo (C) | 02 | 112,44 ^{**} |
| Cobertura \times Tempo | 02 | 3,87 ^{ns} |
| Dose \times Tempo | 06 | 0,65 ^{ns} |
| Cobertura \times Dose \times Tempo | 06 | 0,46 ^{ns} |
| Resíduo c | 48 | 1,46 ^{ns} |
| CVa (%) | | 11,5 |
| CVb (%) | | 13,6 |
| CVc (%) | | 18,1 |

** significativo ao nível de 1% pelo teste F, *significativo ao nível de 5% pelo teste F; ns – não significativo; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade.

Em relação ao efeito da cobertura morta no potencial hídrico (Tabela 7), verificou-se que independentemente da dose de hidrogel os tratamentos com adição da bagana de carnaúba em cobertura, possuíam o Ψ_w significativamente menor (mais próximo de zero) em comparação aos tratamentos sem cobertura, o que indica que as plantas do tratamento com adição de bagana possuíam melhores condições hídricas. Esse fato resulta da maior conservação da água no solo, devido à redução da evaporação da água que é barrada pela cobertura morta adicionada na superfície do solo (FIDALSKI *et al.*, 2010).

Tabela 7. Efeito da cobertura morta no potencial hídrico (Ψ_w), em Bar, do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetido a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel

| Cobertura | Média |
|------------|---------|
| Com Bagana | -6,39 a |
| Sem Bagana | -6,94 b |

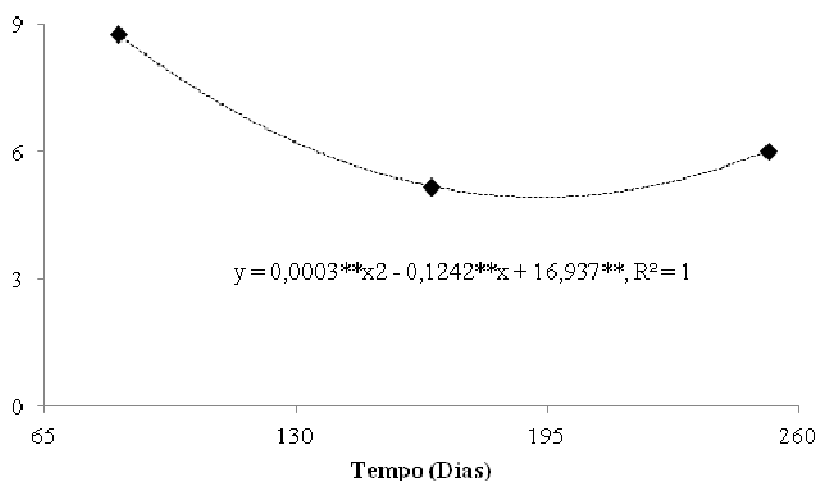
Médias seguidas de mesma letra minúscula (a) na coluna não diferem entre pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de potencial hídrico variaram de -4,6 a -8,5 (Figura 10), sendo estes

próximos aos encontrados por Silva *et al.* (2003) para o *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong, *Mimosa caesalpinifolia* e *Tabebuia aurea* submetidos a estresse hídrico. Esses autores também verificaram que plantas jovens de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong não estressadas hidricamente possuíam potencial hídrico médio de -5,2 Bar, enquanto as sob estresse -9,7 Bar.

Neste estudo observaram-se, de modo geral, valores mais negativos do potencial hídrico na primeira avaliação em comparação às demais avaliações, ou seja, as plantas estavam mais estressadas assim como corroborado pelo autor citado acima. Tal fato pode resultar do menor desenvolvimento radicular das plantas na primeira avaliação, quando ainda estavam em processo de estabelecimento.

Figura 10. Potenciais hídricos (Ψ_w), em Bar, obtidos pela Bomba de Scholander em plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel



Em relação à ausência de significância das doses de hidrogel no potencial hídrico, também foi observada por outros autores é o caso de Koupai, Sohrab e Swarbrick (2008) que avaliaram dois hidrogéis de poliácridamida em quatro dosagens (2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 g kg⁻¹) misturadas em três solos com diferentes texturas (arenoso, franco argiloso e argiloso) e verificaram que os resultados estatísticos não mostraram diferença significativa entre as amostras contendo hidrogéis e o controle (sem hidrogel), devido tanto ao nível de doses aplicadas como ao tipo de hidrogel. No entanto os autores observaram que com a dose de 8,0 g kg⁻¹ de hidrogel o teor de água disponível aumentou 1,8 vezes em relação ao controle (no solo franco argiloso) e 2,2 e 3,2 vezes no solo argiloso e arenoso, respectivamente.

Pela análise de variância (ANOVA) apresentada na Tabela 8 ocorreu efeito significativo das doses de hidrogel e da interação cobertura x doses para o potencial mátrico

do solo. Para a cobertura do solo não houve efeito significativo.

Tabela 8. Resumo da análise de variância (ANOVA) do potencial mátrico do solo medido por tensiômetro de punção em tratamentos com e sem bagana em diferentes doses de hidrogel

| Fontes de Variação | GL | Quadrado Médio |
|-------------------------|----|------------------------------------|
| | | Potencial Mátrico - Ψ_m (mca) |
| Cobertura (A) | 01 | 1,25 ^{ns} |
| Bloco | 04 | 1,18 ^{ns} |
| Dose (B) | 03 | 2,56 ^{**} |
| Cobertura \times dose | 03 | 3,57 ^{**} |
| Resíduo | 28 | 0,69 |
| CV (%) | | 33,5 |

** significativo ao nível de 1% pelo teste F, *significativo ao nível de 5% pelo teste F; ns – não significativo; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade.

A partir dos dados apresentados na Tabela 9 constata-se que a tensão da água no solo foi em média 2,31 mca ($\Psi_m = -2,31$ mca). Na menor dose de hidrogel (0,0 g L⁻¹) o tratamento com cobertura morta de bagana de carnaúba apresentou valor de Ψ_m mais negativo em comparação ao tratamento sem cobertura morta. Nas doses 4,0 e 5,0 g L⁻¹ de hidrogel o potencial mátrico não diferiu no solo com e sem cobertura morta. Porém, na dose 6,0 g L⁻¹ a retenção de água foi inferior no tratamento sem bagana. Portanto, percebe-se que com o aumento da dose de hidrogel no solo coberto, houve uma maior retenção de água, pois ocorreu o decréscimo no potencial matricial.

Tabela 9. Dados da interação cobertura do solo \times doses de hidrogel para o potencial mátrico do solo - Ψ_m (mca)

| Cobertura do solo | Doses de hidrogel (g L ⁻¹) | | | |
|-------------------|--|---------|---------|---------|
| | 0,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 |
| Com | -3,66 a | -3,34 a | -2,23 a | -1,40 b |
| Sem | -2,31 b | -2,35 a | -1,80 a | -2,70 a |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esses resultados sugerem que em solos com textura franca arenosa, a aplicação de hidrogel na dose 6,0 g L⁻¹ favorece a retenção da água no solo, sobretudo quando associada a adição de bagana como cobertura morta. Essa afirmação pode ser corroborada pelo melhor crescimento das plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong nas maiores doses de hidrogel com a presença da bagana.

No que se refere ao potencial mátrico do solo (Tabela 9), sabe-se que a faixa entre -0,03 e -1,5 MPa (-3,0 a -150 mca) corresponde aos valores médios de capacidade de campo e

do ponto de murchamento permanente (OLIVEIRA, *et al.*, 2004), sendo os potenciais mátricos mais próximo da capacidade de campo os que coincidem com a maior disponibilidade hídrica para as plantas.

Solos arenosos e francos retêm muito menos água em um determinado potencial do que um solo argiloso. Deste modo, em um dado teor de umidade, a água é retida com mais energia neste do que naqueles (ANDRADE e STONE, 2011; LIBARDI, 2005). Essa tendência foi também observada por Oliveira *et al.* (2004) que avaliaram a influência da concentração do hidrogel Terracottem na retenção de água em um solo franco-argilo-arenosa e outro argiloso. Os autores verificaram que na medida em que se aumentou a concentração do hidrogel, ocorreu maior retenção de água, principalmente nos potenciais matriciais mais elevados. Também que na concentração de 0,2 g kg⁻¹ de hidrogel (30 vezes menor que a utilizada no presente estudo) ocorreu aumento de cerca de 41% na umidade do solo franco-argilo-arenoso no potencial matricial de -0,03 MPa (3,0 mca) o que aumentou a disponibilidade total de água em 123 %.

3.3. Atributos físicos e químicos do solo

Pela análise de variância (ANOVA) (Tabela 10) não foi verificado efeito significativo em relação aos fatores isolados ou para as interações entre os fatores (doses de hidrogel × cobertura do solo).

Tabela 10. Resumo da análise de variância (ANOVA) para análises físicas do solo cultivado com plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem cobertura morta (bagana de carnaúba) e doses de hidrogel

| Fontes de Variação | GL | Quadrado Médio | | |
|--------------------|----|-----------------------|----------------------------|---------------------|
| | | Densidade Aparente | Densidade de Partículas | Porosidade Total |
| Cobertura | 01 | 0,0001 ^{ns} | 0,004 ^{ns} | 1,58 ^{ns} |
| Bloco | 04 | 0,006 ^{ns} | 0,011 ^{ns} | 3,55 ^{ns} |
| Dose | 03 | 0,004 ^{ns} | 0,003 ^{ns} | 2,84 ^{ns} |
| Cobertura × Dose | 03 | 0,009 ^{ns} | 0,004 ^{ns} | 6,10 ^{ns} |
| Resíduo | 28 | 0,010 ^{ns} | 0,003 ^{ns} | 9,92 ^{ns} |
| CV (%) | | 6,8 | 1,9 | 6,9 |

ns – não difere estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade.

Apesar de não significativos, os valores médios da densidade aparente e densidade de partículas do solo (Tabela 11) foram 1,48 e 2,7 g cm³, respectivamente. A porosidade média dentre todos os tratamentos foi 45,2 %.

Tabela 11. Valores médios da densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total do solo cultivado com plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong e adicionado de doses de hidrogel, com e sem cobertura morta (bagana de carnaúba)

| Cobertura do solo | Doses de hidrogel (g L ⁻¹) | Densidade aparente (g cm ⁻³) | Densidade de partículas (g cm ⁻³) | Porosidade Total (%) |
|-------------------|--|--|---|----------------------|
| Com | 0,0 | 1,52 a | 2,73 a | 44,11 a |
| | 4,0 | 1,46 a | 2,70 a | 45,77 a |
| | 5,0 | 1,49 a | 2,72 a | 45,07 a |
| | 6,0 | 1,43 a | 2,67 a | 46,53 a |
| | Média | | 1,48A | 2,71A |
| Sem | 0,0 | 1,44 a | 2,67 a | 46,00 a |
| | 4,0 | 1,47 a | 2,66 a | 45,05 a |
| | 5,0 | 1,52 a | 2,71 a | 43,91 a |
| | 6,0 | 1,49 a | 2,71 a | 44,94 a |
| | Média | | 1,48A | 2,69A |

Médias seguidas de mesma letra minúscula (a) na coluna não diferem entre pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra maiúscula (A) na coluna entre o tipo de cobertura não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando os parâmetros físicos densidade aparente e porosidade total do solo, atribui-se a ausência de significância destes dados a dois fatores principais: o primeiro referente ao tempo em que o solo ficou sob a ação dos fatores estudados (cobertura morta com bagana e doses de hidrogel) e o segundo, à metodologia de determinação da densidade aparente.

Tem sido comumente relatado na literatura a ausência de efeitos significativos em parâmetros físicos do solo após poucos anos de manejo (LUNA *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2007). Segundo Ribeiro *et al.* (2007), mesmo após cinco anos avaliando diferentes manejos, dentre os quais se incluía aplicação de cobertura morta com bagana de carnaúba associada à cobertura vegetal de leguminosas, foi verificado que os parâmetros físicos: condutividade hidráulica, porosidade total, micro e macroporosidade não haviam diferido estatisticamente entre os manejos. Porém, no contexto de seu trabalho, os autores justificaram que o baixo tráfego de máquinas na área poderia ser o responsável por esses resultados.

No presente estudo também não ocorreu tráfego intenso de máquinas ao longo de todo o experimento, podendo esse fato, justificar pelo menos em parte, a ausência de significância dos dados. Além disso, o tempo transcorrido entre o início e o final do experimento (quando ocorreu à coleta do solo utilizado na determinação dos parâmetros físicos) foi de aproximadamente um ano, tempo possivelmente insuficiente para diferenciações estatísticas, pelo menos utilizando as metodologias convencionais.

Em relação ao segundo fator supracitado, considera-se que a metodologia utilizada para determinação da densidade (método da proveta) pode ter subestimado ou superestimado alguns dos resultados, uma vez que não preserva a estrutura da amostra (AMARO FILHO, 2008).

Valores de densidade de partículas (Tabela 14) então dentro da faixa que varia de 2,6 a 2,75 g cm³ e compreende os horizontes minerais do solo e com predominância de quartzo (AMARO FILHO, 2008), o que é coerente com o solo em estudo que apresenta textura franca arenosa e baixo teor de matéria orgânica.

Dados da porcentagem de agregados estáveis não apresentaram normalidade segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov. Em função disso, os dados foram transformados para $\sqrt{x + 1}$, sendo que de acordo com a ANOVA destes dados (Tabela 12) não ocorreu efeito significativo dos fatores cobertura e doses de hidrogel isoladamente, nem da interação entre os fatores (cobertura do solo \times doses de hidrogel).

Tabela 12. Estabilidade dos agregados do solo 365 dias após o cultivo com plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong submetidas a dois tipos de cobertura do solo e cinco doses de hidrogel

| Fontes de Variação | GL | Quadrado Médio ¹ | | | |
|-------------------------|----|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| | | Classe I (2,00mm) | Classe II (1,18mm) | Classe III (0,60mm) | Classe IV (0,25mm) |
| Cobertura | 01 | 0,066 ^{ns} | 0,021 ^{ns} | 0,091 ^{ns} | 0,003 ^{ns} |
| Bloco | 04 | 0,249 ^{ns} | 0,174 ^{ns} | 0,115 ^{ns} | 0,808 ^{ns} |
| Dose | 03 | 0,115 ^{ns} | 0,014 ^{ns} | 0,049 ^{ns} | 0,284 ^{ns} |
| Cobertura \times Dose | 03 | 0,014 ^{ns} | 0,109 ^{ns} | 0,062 ^{ns} | 0,388 ^{ns} |
| Resíduo | 28 | 0,068 ^{ns} | 0,053 ^{ns} | 0,170 ^{ns} | 0,460 ^{ns} |
| CV (%) | | 18,63 | 17,33 | 27,51 | 44,60 |

^{ns} – não difere estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade. ¹ – Valores transformados para $\sqrt{x + 1}$.

Considerando apenas as médias das repetições de cada tratamento para a estabilidade de agregados estáveis por classe (Tabela 13), verifica-se que a menor classe (peneira de 0,25 mm) foi a que acumulou a maior porcentagem de agregados estáveis (4,2 e 3,8 % para tratamentos com e sem bagana, respectivamente). Para os dados da maior classe (peneira de 2,0 mm) verificou-se que os valores médios da % dos agregados estáveis foram maiores na medida em que as doses de hidrogel foram aumentadas. Isso sugere que o hidrogel melhora a estabilidade dos agregados maiores, que são considerados indicativos de boa estrutura para a maioria dos propósitos agrônômicos.

Tabela 13. Percentagem de estabilidade dos agregados do solo submetido a dois tipos de cobertura e quatro doses de hidrogel, 365 dias após o plantio

| Classes Peneiras (mm) | Dose de Hidrogel (g L ⁻¹) | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------|
| | Com Cobertura Morta | | | | Sem Cobertura Morta | | | |
| | 0,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 0,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 |
| 2,000 - 4,000 | 0,61 Aa | 0,98 Aa | 1,03 Aa | 1,02 Aa | 0,59 Aa | 1,55 Aa | 1,58 Aa | 1,14 Aa |
| 1,180 - 2,000 | 0,52 Aa | 0,53 Aa | 0,65 Aa | 1,28 Aa | 1,02 Aa | 1,32 Aa | 0,67 Aa | 0,53 Aa |
| 0,600 - 1,180 | 1,45 Aa | 0,88 Aa | 1,31 Aa | 1,35 Aa | 2,01 Aa | 1,54 Aa | 0,94 Aa | 1,64 Aa |
| 0,250 - 0,600 | 3,06 Aa | 4,63 Aa | 4,48 Aa | 4,44 Aa | 5,06 Aa | 5,36 Aa | 2,45 Aa | 2,19 Aa |

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre as doses de hidrogel. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre tipo de cobertura não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Supõe-se que a ausência de significância para a estabilidade dos agregados se deva, principalmente, a tipologia do solo arenoso e ao tempo de manejo. Segundo Buchmann, Bentz e Schaumann (2015) embora se aceite que, substâncias orgânicas expansíveis formadoras de hidrogel melhoram a estabilização estrutural do solo, os mecanismos que levam a isso, ainda não são totalmente compreendidos, exatamente devido à falta de métodos de ensaio adequados. Os métodos comumente utilizados (testes de imersão – via úmida e peneiramento de agregados isolados do solo) apresentam desvantagens pela falta de uma avaliação da dinâmica estrutural do solo *in situ*, o que acaba por desconsiderar aspectos determinantes para a estabilização do solo.

Os citados autores avaliaram o impacto da dinâmica de umidade e da adição de hidrogel na estabilidade estrutural de um solo arenoso utilizando a relaxometria de ressonância magnética nuclear (¹H RMN) e encontraram que a adição de hidrogéis induz efeitos estabilizadores adicionais no solo, colando as partículas e aumentando a rigidez da matriz do solo inicialmente instável, sugerindo que a metodologia utilizada parece mais adequada para avaliar mudanças na estabilidade dos solos com adição de hidrogel.

Em um estudo que avaliou o efeito do *mulching* composto de serragem de *Pinus* como técnica de restauração de um solo degradado na região semiárida do mediterrâneo, pelo peneiramento úmido (mesma metodologia utilizada no presente estudo), Luna *et al.* (2016) verificaram que mesmo após seis anos de avaliações, a aplicação somente do *mulching* não foi suficiente para alterar significativamente a estabilidade dos agregados do solo em comparação ao manejo que incorporava resíduos orgânicos no solo.

Dados do diâmetro médio ponderado (DMP) e do diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo não apresentaram diferenças significativas para os fatores isolados ou

para a interação cobertura do solo \times doses de hidrogel, segundo a ANOVA (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da análise de variância (ANOVA) para o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de solo cultivado com plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel

| Fontes de Variação | GL | Quadrado Médio | |
|-------------------------|----|----------------------|-----------------------|
| | | DMP | DMG |
| Cobertura | 01 | 0,1094 ^{ns} | 0,00001 ^{ns} |
| Bloco | 04 | 0,3393 ^{ns} | 0,00005 ^{ns} |
| Dose | 03 | 0,0515 ^{ns} | 0,00001 ^{ns} |
| Cobertura \times Dose | 03 | 0,2033 ^{ns} | 0,00003 ^{ns} |
| Resíduo | 28 | 0,1834 | 0,00003 |
| CV (%) | | 26,89 | 25,49 |

ns – não difere estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade.

Valores médios do DMP (Tabela 15) foram iguais a 1,65 mm nos tratamentos com adição de cobertura morta e 1,54 mm nos tratamentos sem cobertura, sendo o máximo valor atingido nessa variável de 1,90 mm no tratamento com adição de bagana e com dose de hidrogel de 5,0 g L⁻¹. Para o DMG os valores médios não diferiram entre os tratamentos com e sem adição da bagana, sendo correspondentes a 1,0 mm.

Tabela 15. Valores médios do diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de solo cultivado com plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel

| Cobertura do solo | Doses de hidrogel (g L ⁻¹) | DMP | DMG |
|-------------------|--|-------|-------|
| Com | 0 | 1,57a | 1,00a |
| | 4 | 1,58a | 1,00a |
| | 5 | 1,90a | 1,01a |
| | 6 | 1,54a | 1,00a |
| | Média | 1,65A | 1,00A |
| Sem | 0 | 1,50a | 1,00a |
| | 4 | 1,75a | 1,00a |
| | 5 | 1,40a | 1,00a |
| | 6 | 1,52a | 1,00a |
| | Média | 1,54A | 1,00A |

Para o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado a minerais (COM), não foi verificado efeito significativo em relação aos fatores isolados ou para as interações entre os fatores de tratamento (cobertura do solo \times doses de hidrogel) De acordo com a análise de variância (ANOVA) (Tabela 16).

Tabela 16. Resumo da análise de variância (ANOVA) para o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado a minerais (COM) de solo cultivado com plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel

| Fontes de Variação | GL | Quadrado Médio | | |
|--------------------|----|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | COT | COP | COM |
| Cobertura (A) | 01 | 5,49 ^{ns} | 0,0032 ^{ns} | 5,76 ^{ns} |
| Bloco | 04 | 5,63 ^{ns} | 0,041 ^{ns} | 5,14 ^{ns} |
| Dose (B) | 03 | 3,45 ^{ns} | 0,0074 ^{ns} | 3,27 ^{ns} |
| Cobertura × Dose | 03 | 10,99 ^{ns} | 0,0073 ^{ns} | 10,55 ^{ns} |
| Resíduo | 28 | 3,76 ^{ns} | 0,019 ^{ns} | 3,63 ^{ns} |
| CV (%) | | 32,2 | 35,1 | 33,9 |

ns – não difere estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de Liberdade.

Valores médios das frações de carbono do solo ao final do experimento ficaram entre 0,39 e 6,37 g kg⁻¹, sendo os teores mais baixos referentes ao carbono orgânico particulado (COP) (Tabela 14). Apesar de não significantes estatisticamente, teores médios do carbono orgânico total (COT) e do carbono orgânico associado a minerais (COM) foram superiores no solo contendo bagana de carnaúba (Tabela 17).

Tabela 17. Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado a minerais (COM) do solo em g kg⁻¹, cultivado com plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong submetidas a tratamentos com e sem bagana de carnaúba e doses de hidrogel

| Cobertura do solo | Doses de Hidrogel (g L ⁻¹) | COT | COP | COM |
|-------------------|--|-------|-------|-------|
| Com | 0 | 5,45a | 0,36a | 5,09a |
| | 4 | 6,05a | 0,37a | 5,68a |
| | 5 | 5,56a | 0,36a | 5,20a |
| | 6 | 8,44a | 0,46a | 7,98a |
| | Média | 6,37A | 0,39A | 6,00A |
| Sem | 0 | 5,80a | 0,44a | 5,35a |
| | 4 | 4,81a | 0,38a | 4,43a |
| | 5 | 6,92a | 0,38a | 6,54a |
| | 6 | 4,99a | 0,41a | 4,58a |
| | Média | 5,63A | 0,40A | 5,20A |

Tratando do estado de agregação do solo por meio da avaliação dos parâmetros DMP, DMG e dos teores de carbono orgânico (Tabelas 15 e 17). Afirma-se que o valor do DMP é tanto maior quanto maior for à percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com

malhas maiores, sendo que estes agregados maiores são grandemente afetados pelos teores de matéria orgânica do solo (CASTRO FILHO *et al.*, 1998).

Contudo, no presente estudo, não ocorreram variações significativas na classe de agregados > 2,00 mm, apesar de que os valores médios da % de agregados estáveis dessa classe; do DMP e do COT e COM foram maiores nos tratamentos com adição de bagana de carnaúba, principalmente quando associadas às doses de hidrogel. Nesse caso, supõe-se que a manutenção do manejo que associa a aplicação de cobertura morta a doses hidrogel possa proporcionar a melhor agregação do solo em longo prazo.

4. CONCLUSÕES

1 – Para o melhor desenvolvimento do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong nas condições de campo, recomenda-se a adição de bagana de carnaúba como cobertura morta em associação com as doses de hidrogel entre 4,0 e 6,0 g L⁻¹ por planta, uma vez que favoreceu o crescimento das plantas em altura e diâmetro.

2 – Num solo com textura franca arenosa, a cobertura morta com bagana de carnaúba reduz o potencial hídrico foliar do *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong. Quando além da cobertura morta com bagana é adicionado ao solo 6,0 g L⁻¹ de hidrogel, o potencial mátrico deste decresce ocorrendo assim melhorias na retenção de água do solo e conseqüentemente no suprimento hídrico de plantas de *Enterolobium contortisilliquum* (Vell.) Morong utilizadas no reflorestamento de áreas degradadas semiáridas.

3 – Após um ano da adição da bagana de carnaúba em cobertura associada a doses de hidrogel, os parâmetros físico-químicos do solo: densidade do solo e de partículas, porosidade total, percentagem de agregados estáveis, DMP, DMG e as frações do carbono orgânico do solo não sofreram mudanças estatisticamente significativas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-FILHO, R.; CARVALHO, C. M. Mapping land degradation in the Gilbués region, northeastern Brazil, using Landsat TM images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, p.1087–1094, 2010.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIOR, R. N., MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 111–116, 2011.
- ARAÚJO, I. C. S., COSTA, M. C. G. Biomass and nutrient accumulation pattern of leguminous tree seedlings grown on mine tailings amended with organic waste. **Ecological Engineering**, v. 60, p. 254–260, 2013.
- BRITO, A. DOS S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 17-24, 2009
- BUCHMANN, C.; BENTZ, J.; SCHAUMANN, G. E. Intrinsic and model polymer hydrogel-induced soil structural stability of a silty sand soil as affected by soil moisture dynamics. **Soil & Tillage Research**, v. 154, p. 22–33, 2015.
- CABEZAS, A. *et al.* Carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in novel ecosystems: Shallow lakes in degraded fen areas. **Ecological Engineering**, v. 66, p. 63–71, 2013.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.
- CAMPOS, E. V. R. *et al.* Polysaccharides as safer release systems for agrochemicals, **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 47–66, 2015.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.
- CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 203-209, 2002.
- CUNHA, T. J. F. *et al.* Solos da Fazenda Triunfo, município de Ibaretama, Estado do Ceará - Projeto Biomas. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 4., 2015, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015. Sem paginação.
- DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa

Solos, 2011. 230p.

DRANSKI, J.A. L. *et al.* Sobrevivência e crescimento do pinhão-mansão em função do método de aplicação e formulações de hidrogel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 537–542, 2013.

DU PREEZ, C. C.; VAN HUYSTEEN, C. W.; MNKENI, P. N. S. Land use and soil organic matter in South Africa 2: A review on the influence of arable crop production. **The South African Journal of Science**, v. 107, p. 35-42, 2011.

FAJARDO, L. *et al.* Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. **Journal of Arid Environments**, v. 88, p. 236-243, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2012.

FIDALSKI, J. *et al.* Availability of Soil Water Under Tillage Systems, Mulch Management And Citrus Rootstocks. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.917-924, 2010.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos Funceme; Ipece - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal**, Ibaretama, 2013.

HANDA, I. T.; JEFFERIES, R. L. Assisted revegetation trials in degraded salt-marshes. **Journal of Applied Ecology**, v. 37, p. 944-958, 2000.

HOLANDA, F. S. R. *et al.* Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Identificação de espécies florestais**. 2014. Disponível em:

<<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=47>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. *In*: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 449-510.

KOUPAI, J. A.; SOHRAB, F.; SWARBRICK, G. Evaluation of Hydrogel Application on Soil Water Retention Characteristics. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, p. 317–331, 2008.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Plantarum, Nova Odessa, 1992.

LUNA, L.; MIRALLES, I.; ANDRENELLI, M. C.; GISPERT, M.; PELLEGRINI, S.; VIGNOZZI, N.; SOLÉ-BENET, A. Restoration techniques affect soil organic carbon, glomalin and aggregate stability in degraded soils of a semiarid Mediterranean region. **Catena**, v. 143, p. 256–264, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997.

MARQUES, P. A. A.; CRIPAI, M. A. DE M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 1-7, 2013.

MELO, R. R. *et al.* Crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. sob diferentes níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 138-144, 2008.

MIRANDA, M. A. *et al.* Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011.

NUNES, R. DE S. *et al.* Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1407-1419, 2011.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Influência de um polímero Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p.160-163, 2004.

RAMEZANI, M. *et al.* The effect of calcium and sodium chloride levels on the dehydration power of hydrophilic polymer, **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 2, p. 896-898, 2013.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RIBEIRO, K. A. *et al.* Qualidade do solo na cultura do cajueiro anão precoce cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 341-351, 2007.

RITCHIE, G. A. *et al.* Field survival and early height growth of Douglas-fir rooted cuttings: relationship to stem diameter and root system quality. **Forest Ecology and Management**, v. 60, p. 237-256, 1993.

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e potencialidades. *In*: GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-48.

SILVA, E. C. *et al.* Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, p. 231-246, 2003.

SMOLIKOWSKI B; PUIG H; ROOSE E. Influence of soil protection techniques on runoff, erosion and plant production on semi- arid hillsides of Cabo Verde. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 87, p. 67-80, 2001.

TRAJANO, E. V. A. **Rejeitos de mineradoras como substratos de mudas de pinhão manso (*Jathopa curcas* L.)**. 2010. 26 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2010.

VALE, J. C. DO; MEDEIROS, D. C. DE. Performance of lettuce cultivars to protect environmental and soil cover effects. **IDESIA**, Chile, v. 30, n. 3, p. 103-110, 2012.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.