



**QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS
COM HIDROGEL INCORPORADO AO SUBSTRATO**

GLAUCE TAÍS DE OLIVEIRA SOUSA AZEVEDO

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS
COM HIDROGEL INCORPORADO AO SUBSTRATO**

GLAUCE TAÍS DE OLIVEIRA SOUSA AZEVEDO

ORIENTADOR: Dr. ANDERSON MARCOS DE SOUZA

**TESE DE DOUTORADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD-91/2018

BRASÍLIA/DF: ABRIL - 2018

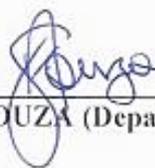
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

‘QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS COM HIDROGEL
INCORPORADO AO SUBSTRATO’

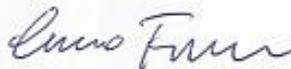
GLAUCE TAÍS DE OLIVEIRA SOUSA AZEVEDO

TESE DE DOUTORADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:



Prof. Dr. ANDERSON MARCOS DE SOUZA (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Orientador)



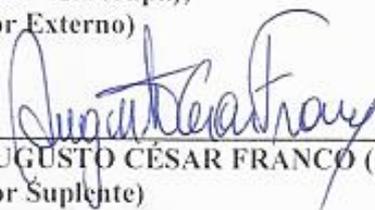
Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO (Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV/UnB);
(Examinador Externo)



Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)



Dr. MARÇAL HENRIQUE AMICI JORGE (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa);
(Examinador Externo)



Prof. Dr. AUGUSTO CÉSAR FRANCO (Departamento de Botânica – BOT/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 26 de abril de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

AAZ994q Azevedo, Glauce Taís de Oliveira Sousa
Qualidade de mudas de espécies florestais com hidrogel
incorporado ao substrato / Glauce Taís de Oliveira Sousa
Azevedo; orientador Anderson Marcos de Souza. -- Brasília,
2018.
70 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Florestais) --
Universidade de Brasília, 2018.

1. mudas florestais. 2. hidrogel. 3. substrato. 4.
adubação. 5. qualidade. I. Souza, Anderson Marcos de ,
orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AZEVEDO, G. T O. S. 2018. **Qualidade de mudas de espécies florestais com hidrogel incorporado ao substrato.** Tese de doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD-091/2018. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 70 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Glauce Taís de Oliveira Sousa Azevedo

TÍTULO: Qualidade de mudas de espécies florestais com hidrogel incorporado ao substrato

GRAU: Doutor; ANO: 2018; ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Manejo florestal.

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Glauce Taís de Oliveira Sousa Azevedo
gtosousa@gmail.com

“A tarefa não é tanto ver aquilo
que ninguém viu, mas pensar o que
ninguém ainda pensou sobre aquilo
que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

Aos meus pais, meu amor e meu irmão.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de tudo, por iluminar meu caminho e guiar meus passos para que eu chegasse até aqui.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade.

Ao meu orientador Anderson Marcos de Souza. Obrigado pela amizade, confiança, atenção, ensinamentos, esclarecimentos e por todo o auxílio necessário durante o doutorado. Enfim, obrigado pela valiosa orientação e por me dar oportunidade de realizar esse trabalho.

Ao viveiro Paisagem Nativa por disponibilizar todos os insumos e estrutura necessária à realização dos experimentos.

Ao professor Augusto Franco e à Marina Scalon pela orientação e auxílio na coleta de dados fisiológicos.

Aos membros da banca. Obrigado por dedicarem parte de seu tempo para leitura dessa tese, e pelas valiosas contribuições que com certeza estão por vir.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos no período inicial do doutorado, sem a qual não seria possível realizar o mesmo.

Aos Professores Alba Valéria, Reginaldo Pereira, Renato Castro, Ricardo Gaspar, Alcides Gatto, Eraldo Matricardi e José Roberto. Obrigado pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos funcionários da pós-graduação que estiveram sempre dispostos a me ajudar quando precisei.

Aos queridos amigos conquistados em Brasília desde a época do mestrado: Valderli Piontekowski, Fabiana Ribeiro, Josiane Bruzinga, Piaba, Leônidas Murta e Erika Carolina, Lidimar Soares, Luduvico, Lamartine Oliveira, Milton Serpa, Silvia Mota, Henrique e Tita Mews, Patrícia Pires, Vitor Junqueira, Tangrienne Nemer, Marcia Fernandes, Pedro Rocha, Marina Monteiro, Fabrícia Mota, Genilda Amaral, Ilvan Júnior e Ângela Bussinguer. Obrigado pela amizade e momentos de descontração no período.

Ao amigo e colega de trabalho Paulo Teodoro. Obrigado pelos valiosos ensinamentos na estatística multivariada.

Aos demais amigos e professores da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul, obrigado pela receptividade.

À minha família. Em especial, aos meus pais Costinha e Júnia, meu irmão Emerson e meus sogros Kito e Terezinha, pelo apoio e pelos ensinamentos de vida que tanto me fortaleceram como pessoa, ensinando-me a buscar o caminho do bem.

E por fim, ao meu esposo Gileno Azevedo... Com sua parceria, elaborar essa Tese seria muito mais difícil! Obrigada pelo amor, amizade, parceria, compreensão, ... Enfim, obrigada por tudo!

Muito obrigado a todos!

RESUMO

QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS COM HIDROGEL INCORPORADO AO SUBSTRATO

Autor: Glauce Taís de Oliveira Sousa Azevedo

Orientador: Dr. Anderson Marcos de Souza

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais

Brasília/DF, Abril de 2018.

A demanda por desenvolvimento de tecnologias que envolvam a redução dos custos de produção e tempo necessário para formação das mudas florestais, com qualidade, tem levado pesquisadores a avaliarem as melhores alternativas de manejo. Dentre estas, recentemente o uso do hidrogel tem mostrado resultados promissores na qualidade das mudas e na redução da adubação utilizada no viveiro. Porém essas informações ainda são escassas para mudas de espécies florestais nativas. Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar o efeito da utilização do hidrogel incorporado ao substrato, na qualidade morfofisiológica e nutricional de mudas florestais nativas. Para tanto, foram instalados dois experimentos. No experimento 1 foram avaliados os efeitos da incorporação de doses de hidrogel ao substrato (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹ de substrato) na produção de mudas de duas espécies (*Swietenia macrophylla* e *Genipa americana*), transplantadas em vasos de 7 litros. No experimento 2 foram avaliados os efeitos de níveis de adubação (100%, 50% e 0%) e doses de hidrogel incorporados ao substrato (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹ de substrato) para a produção de mudas de duas espécies (*Enterolobium contortisiliquum* e *Handroanthus heptaphyllus*), em tubetes de 55 cm³. Em ambos os experimentos foram avaliados os atributos físicos e químicos do substrato em cada tratamento e, no final dos experimentos, variáveis morfológicas, fisiológicas e nutricionais. No experimento 1, as alterações promovidas no substrato pela incorporação do hidrogel promoveram maior qualidade morfológica e teores de macro e micronutrientes foliares de mudas de *S. macrophylla* e *G. americana*. As espécies responderam de forma diferenciada ao hidrogel, sendo que as mudas de *S. macrophylla* obtiveram melhores respostas entre as doses de 1 a 2 g L⁻¹ e mudas de *G. americana* entre 2 e 3 g L⁻¹. O uso do hidrogel incorporado ao substrato permitiu que as mudas de ambas as espécies mantivessem os processos fisiológicos em níveis mais adequados, reduzindo assim os danos provocados pelo estresse hídrico. No experimento 2, a adubação influenciou principalmente os atributos químicos do substrato, enquanto que o hidrogel os atributos físicos, principalmente os relacionados à capacidade de retenção e disponibilidade de água. O uso do hidrogel não permitiu a redução da adubação utilizada no viveiro, porém potencializou seu uso, resultando em mudas de tamboril e ipê com maior crescimento e conteúdos nutricionais. O hidrogel não influenciou os processos fisiológicos das mudas. Maiores níveis de adubação proporcionaram maior fotossíntese e eficiência do uso da água em mudas de ipê. O hidrogel mostrou ser uma alternativa promissora para a melhoria da qualidade de mudas de espécies florestais nativas.

Palavras-chave: viveiros florestais; polímero hidroretentor; qualidade das mudas; teores nutricionais; processos fisiológicos.

ABSTRACT

QUALITY OF FOREST SPECIES SEEDLINGS WITH HYDROGEL INCORPORATED IN THE SUBSTRATE

Author: Glauce Taís de Oliveira Sousa Azevedo

Advisor: Dr. Anderson Marcos de Souza

Forest Science Postgraduate Programme

Brasília/DF, April 2018.

The demand for development of technologies that involve the reduction of production costs and the time required for the formation of quality seedlings has led researchers to evaluate the best management alternatives. Among these, recently the use of hydrogel has shown promising results in the quality of the seedlings and in the reduction of the fertilization used in the nursery. However, this information is still scarce for native forest seedlings. Thus, this work aimed to evaluate the effect of the use of the hydrogel incorporated in the substrate, in the morphophysiological and nutritional quality of native seedlings. For this, two experiments were installed. In the experiment 1 the effects of the incorporation of hydrogel doses to the substrate (0, 1, 2 and 3 g L⁻¹ substrate) were evaluated in the production of seedlings of two species (*Swietenia macrophylla* and *Genipa americana*), transplanted in pots of 7 liters. In the experiment 2, the effects of fertilization levels (100%, 50% and 0%) and doses of hydrogel incorporated into the substrate (0, 1, 2 and 3 g L⁻¹ of substrate) were evaluated to produce seedlings of two species (*Enterolobium contortisiliquum* and *Handroanthus heptaphyllus*), in 55 cm³ tubes. In both experiments the physical and chemical attributes of the substrate were evaluated in each treatment and, at the end of the experiments, morphological, physiological and nutritional variables. In experiment 1, the changes promoted in the substrate by the incorporation of the hydrogel promoted higher morphological quality and macro and micronutrient contents of leaves of *S. macrophylla* and *G. americana* seedlings. The species responded differently to the hydrogel, and the seedlings of *S. macrophylla* obtained better responses between doses of 1 to 2 g L⁻¹ and seedlings of *G. americana* between 2 and 3 g L⁻¹. The use of the hydrogel incorporated in the substrate allows the seedlings of both species to maintain the physiological processes at more ideal levels, thus reducing the damages caused by water stress. In experiment 2, the fertilization mainly influenced the chemical attributes of the substrate, while the hydrogel had the physical attributes, mainly those related to the retention capacity and availability of water. The use of the hydrogel did not allow the reduction of the fertilization used in the nursery, but potentiated its use, resulting in changes of tamboril and ipê with greater growth and nutritional contents. The hydrogel did not influence the physiological processes of the seedlings. Higher levels of fertilization provided greater photosynthesis and efficiency of water use in ipê seedlings. The hydrogel showed to be a promising alternative for the improvement of seedling quality of native forest species.

Keywords: forest nurseries; superabsorbent polymer; seedling quality; nutritional contents; physiological processes.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVOS	4
GERAL	4
ESPECÍFICOS.....	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
<i>Capítulo 1 O HIDROGEL INCORPORADO AO SUBSTRATO MELHORA A QUALIDADE E REDUZ O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS</i>	8
RESUMO	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1 LOCAL DE ESTUDO	10
2.2 PRODUÇÃO DAS MUDAS	11
2.3 COLETA DE DADOS.....	12
2.3.1 Variáveis morfológicas	12
2.3.2 Teores de macro e micronutrientes foliares.....	13
2.3.3 Variáveis fisiológicas.....	13
2.3.4 Tratamentos e procedimentos estatísticos	14
3. RESULTADOS	15
3.1 <i>Swietenia macrophylla</i> (MOGNO).....	15
3.2 <i>Genipa americana</i> (JENIPAPO)	22
4. DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS Bibliográficas.....	33
<i>Capítulo 2 INFLUÊNCIA DE NÍVEIS DE ADUBAÇÃO E DOSES DE HIDROGEL EM MUDAS DE TAMBORIL E IPÊ ROXO</i>	38
RESUMO	38
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
2.1 LOCAL DE ESTUDO	40
2.2 PRODUÇÃO DAS MUDAS	40
2.3 COLETA DE DADOS.....	41

2.3.1 Atributos físico-químicos do substrato	41
2.3.2 Variáveis morfológicas	41
2.3.3 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares	42
2.3.4 Variáveis fisiológicas.....	42
2.3.5 Procedimentos estatísticos	43
3. RESULTADOS	44
3.1 SUBSTRATO	44
3.2 <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (TAMBORIL)	47
3.3 <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (IPÊ ROXO).....	52
4. DISCUSSÃO	58
5. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICE	66
QUADROS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS	66

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1	Atributos físicos e químicos do substrato com incorporação de diferentes doses de hidrogel.	12
-----------------	--	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Análise física e química do substrato Tropstrato Florestal® com incorporação de diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel.	45
Tabela 2	Variáveis morfológicas de mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> produzidas com diferentes níveis de adubação.	47
Tabela 3	Conteúdos de macro e micronutrientes (mg/muda) da parte aérea de mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato.	49
Tabela 4	Variáveis fisiológicas de mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> produzidas com diferentes níveis de adubação.	52
Tabela 5	Variáveis morfológicas de mudas de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> produzidas com diferentes níveis de adubação.	53
Tabela 6	Conteúdos (mg/muda) de macro e micronutrientes da parte aérea de mudas de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. ..	55
Tabela 7	Variáveis fisiológicas de mudas de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> produzidas com diferentes níveis de adubação.	58

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1** Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Swietenia macrophylla* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo. 15
- Figura 2** Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas de *Swietenia macrophylla*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L⁻¹); H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. 16
- Figura 3** Comportamento das variáveis nutricionais de mudas de *Swietenia macrophylla* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo. 17
- Figura 4** Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais de *Swietenia macrophylla*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L⁻¹); N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro. 18
- Figura 5** Comportamento das variáveis fisiológicas de mudas de *Swietenia macrophylla* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao

substrato. AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; e EIUA = eficiência intrínseca do uso da água. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo.

19

Figura 6 Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis fisiológicas de *Swietenia macrophylla*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L⁻¹); AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; e EIUA = eficiência intrínseca do uso da água.

20

Figura 7 Redes de correlações entre as doses de hidrogel, atributos do substrato e variáveis obtidas em mudas de *Swietenia macrophylla* com hidrogel incorporado ao substrato. O comprimento das linhas indica a intensidade das correlações. Linhas verdes indicam correlações positivas e linhas vermelhas negativas. Hid = doses de hidrogel; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; UA = umidade atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, CRA50 e CRA100 = capacidade de retenção de água a 10, 50 e 100 cm, respectivamente. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro; AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; EIUA = eficiência intrínseca do uso da água.

21

Figura 8 Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Genipa americana* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. As linhas de tendências e equações foram

apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo. 22

Figura 9 Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas de *Genipa americana*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel ($g L^{-1}$); H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. 23

Figura 10 Comportamento das variáveis nutricionais de mudas de *Genipa americana* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo. 24

Figura 11 Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais de *Genipa americana*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel ($g L^{-1}$); N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro. 25

Figura 12 Comportamento das variáveis fisiológicas de mudas de *Genipa americana* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; EIUA = eficiência intrínseca do uso da água. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo. 26

Figura 13 Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis fisiológicas de *Genipa americana*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L^{-1}); AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; EIUA = eficiência intrínseca do uso da água. 27

Figura 14 Redes de correlações entre as doses de hirogel, atributos do substrato e variáveis obtidas em mudas de *Genipa americana* com hidrogel incorporado ao substrato. O comprimento das linhas indica a intensidade das correlações. Linhas verdes indicam correlações positivas e linhas vermelhas negativas. Hid = doses de hidrogel; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; UA = umidade atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, CRA50 e CRA100 = capacidade de retenção de água a 10, 50 e 100 cm, respectivamente; H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; A AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; EIUA = eficiência intrínseca do uso da água. 28

CAPÍTULO 2

Figura 1 Diagrama de ordenação (*biplot*) produzido pela análise de componentes principais com base nos atributos químicos (A) e físicos (B) do substrato Tropstrato Florestal® com incorporação de diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L^{-1}) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%). 45

Figura 2 Rede de correlações entre níveis de adubação, doses de hirogel e atributos químicos e físicos do substrato Tropstrato Florestal®. Ad = níveis de adubação; Hid = doses de hidrogel; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10 e CRA50 = capacidade de retenção de água a 10 e 50 cm, respectivamente. 46

Figura 3	Comportamento de variáveis morfológicas de mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. Os pontos representam a média dos valores observados e as linhas indicam a média obtida pela equação. R ² = coeficiente de determinação. p = p-valor da análise de variância da regressão. PM = ponto de máximo.	47
Figura 4	Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas de mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L ⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).	48
Figura 5	Diagrama de ordenação (<i>biplot</i>) produzido pela análise de componentes principais com base nos conteúdos nutricionais da parte aérea de mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L ⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).	50
Figura 6	Rede de correlações entre os atributos do substrato e variáveis morfológicas e nutricionais obtidas em mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> . pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10 e CRA50 = capacidade de retenção de água a 10 e 50 cm, respectivamente. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro.	51
Figura 7	Comportamento da altura de mudas de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> à diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. Os pontos representam a média dos valores observados e as linhas indicam a média obtida pela equação. R ² = coeficiente de determinação. p = p-valor da análise de variância da regressão. PM = ponto de máximo. Marcadores seguidos pela mesma letra na mesma dose de hidrogel não se diferenciam pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.	53
Figura 8	Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas de mudas de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> produzidas	

com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).

54

Figura 9 Diagrama de ordenação (*biplot*) produzido pela análise de componentes principais com base nos conteúdos nutricionais da parte aérea de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).

56

Figura 10 Rede de correlações entre os atributos do substrato e variáveis morfológicas e nutricionais obtidas em mudas de *Handroanthus heptaphyllus*. pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10 e CRA50 = capacidade de retenção de água a 10 e 50 cm, respectivamente. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro.

57

INTRODUÇÃO GERAL

A produção de mudas florestais visa a obtenção de mudas com características adequadas para as diferentes finalidades a que se propõe, tais como plantios comerciais, recuperação de áreas degradadas ou arborização urbana. Independente da finalidade, é desejável que estas apresentem altas taxas de sobrevivência e rápido desenvolvimento inicial após o plantio, tornando o replantio uma prática dispensável e possibilitando a diminuição da frequência dos tratos culturais (CARNEIRO, 1995). Entretanto, para que isso ocorra, é necessária a produção de mudas com alto padrão de qualidade. Estas, além de resistirem às condições adversas de campo, devem ser capazes de se desenvolver e exteriorizar todo o seu potencial de crescimento (MORGADO et al., 2000; WENDLING; DUTRA, 2010).

A evolução das técnicas de produção de mudas de espécies florestais nativas e exóticas é evidente, resultando assim, numa melhoria da qualidade das mudas produzidas. Conseqüentemente, houve redução no consumo de insumos, aumentos nos rendimentos operacionais e melhoria das condições de trabalho dos funcionários (WALKER et al., 2011). O aumento da demanda por mudas florestais de qualidade e a diminuição de custos de produção têm instigado pesquisadores a desenvolver novas tecnologias aplicadas à produção de mudas (WENDLING; DUTRA, 2010; WALKER et al., 2011).

Várias são as práticas culturais capazes de alterar a qualidade das mudas, como o manejo da irrigação, fertilização, tipo de recipiente, tipo de substrato, sombreamento, micorrização, podas, aclimatação, seleção, densidade de cultivo, dentre outros (CARNEIRO, 1995; CLAUSSEN, 1996). O avanço da tecnologia possibilita a adequação das metodologias de produção para diferentes espécies (ELOY et al., 2013).

Nesse sentido, estudos recentes têm investigado a influência da incorporação de hidrogéis ao substrato na qualidade de mudas florestais, inclusive em espécies florestais nativas. Também conhecido como polímero hidroretentor, os hidrogéis são macromoléculas reticuladas com segmentos de grupos hidrofílicos que podem absorver e reter líquidos, apresentando diferentes composições (BAI et al., 2010; LANDIS; HAASE, 2012; MILANI et al., 2017; MONTEIRO NETO et al., 2017). Na área agrícola, o hidrogel mais utilizado é a base de poliácridamida, e apresenta a capacidade de reter e armazenar centenas de vezes sua massa em água, disponibilizando-a gradativamente para as plantas (ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; LANDIS; HAASE, 2012; HAN et al., 2013; MILANI et al., 2017; MONTEIRO NETO et al., 2017).

Inicialmente o hidrogel era utilizado como alternativa na produção agrícola em regiões de clima árido (AZEVEDO; BERTONHA; GONÇALVES, 2002; ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006), porém, sua aplicação tornou-se conhecida nas diferentes regiões do planeta, sendo realizadas inúmeras pesquisas na área agrícola e florestal que comprovaram sua eficiência no aumento da disponibilidade hídrica (AZEVEDO; BERTONHA; GONÇALVES, 2002; EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011). Esse produto é comumente utilizado no plantio de mudas de espécies arbóreas em campo, a fim de aumentar a sobrevivência das espécies menos tolerantes à seca (PERY; MARFÀ; SERRANO, 1995; BUZETTO; BIZON; SEIXAS, 2002; SANTELICES, 2005; ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; SARVAŠ; PAVLENDÁ; TAKÁČOVÁ, 2007; OLIVEIRA et al., 2008; ORIKIRIZA et al., 2009; EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; DRANSKI et al., 2013).

Nos últimos anos, o hidrogel tem sido testado e utilizado em viveiros, incorporado ao substrato de produção de mudas florestais, seja como fator isolado (SOUSA et al., 2013; AZEVEDO et al., 2015, 2016), em diferentes regimes hídricos (MALDONADO-BENITEZ et al., 2011; NAVROSKI et al., 2015a), ou com diferentes adubações (BERNARDI et al., 2012; LIU et al., 2013; FAN et al., 2015; NAVROSKI et al., 2016a), gerando, muitas vezes resultados satisfatórios no crescimento e qualidade das mudas.

Uma vez incorporado ao solo ou ao substrato, melhora seus atributos físicos e químicos, principalmente na aeração, retenção e disponibilidade de água no solo (BAI et al., 2010; NARJARY et al., 2012; JAMNICKÁ et al., 2013; NAVROSKI et al., 2015a, 2016b; EL-ASMAR et al., 2017), o que permite a redução dos efeitos do déficit hídrico e promove o melhor crescimento das plantas, uma vez que mantém os processos fisiológicos em níveis mais adequados (AKHTER et al., 2004; ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; CHIRINO; VILAGROSA; VALLEJO, 2011; JAMNICKÁ et al., 2013; NAVROSKI et al., 2014).

Por possibilitar a redução da lixiviação de nutrientes do substrato (FAGUNDES et al., 2015), o hidrogel também promove a maior absorção de nutrientes pelas plantas (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; LIU et al., 2013; FAGUNDES et al., 2015; NAVROSKI et al., 2015b; BARTIERES et al., 2016), e até mesmo potencializa a utilização da adubação (LIU et al., 2013). Portanto, a utilização do hidrogel contribui para o melhor crescimento e qualidade das mudas florestais (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; ORIKIRIZA et al., 2013; NAVROSKI et al., 2015a, 2015b, 2016a; AZEVEDO et al., 2016; FELIPPE et al., 2016).

Entretanto, a eficiência do hidrogel, pode variar em função de fatores como: as necessidades particulares de cada espécie, o sistema de produção adotado e as características e doses do hidrogel utilizado (ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; AZEVEDO et al., 2015, 2016; YU et al., 2017). Assim, estudos que avaliem a utilização do hidrogel na produção de mudas florestais é de fundamental importância para elucidar sua melhor dose de aplicação, sua interação com a adubação, bem como sua influência sobre a qualidade das mudas e sobre os efeitos do déficit hídrico, principalmente em espécies florestais nativas que ainda são pouco estudadas, como é o caso das espécies nativas do Cerrado.

Dessa forma, se propõe avaliar a utilização do hidrogel no processo produtivo de mudas nativas do Cerrado. Para tanto, a presente tese foi dividida em dois capítulos, conforme descritos a seguir:

Capítulo 1 - *O hidrogel incorporado ao substrato melhora a qualidade e reduz o efeito do déficit hídrico em mudas de espécies florestais nativas* - Nesse capítulo, mudas das *Swietenia macrophylla* e *Genipa americana* produzidas em tubetes de 270 cm³ foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade de 7 L, preenchidos com substrato contendo diferentes doses de hidrogel. Foram avaliados os atributos físicos e químicos do substrato em cada dose. Após 180 dias nas condições de viveiro, foram avaliadas variáveis morfológicas e nutricionais das mudas. Partes destas foram encaminhadas para laboratório, onde permaneceram sombreadas e com restrição hídrica por um período de seis dias, sendo avaliado o potencial hídrico e as trocas gasosas.

Capítulo 2 - *Influência de níveis de adubação e doses de hidrogel em mudas de tamboril e ipê roxo* - Nesse capítulo, mudas de *Enterolobium contortisiliquum* e *Handroanthus heptaphyllus* foram produzidas via semente em tubetes de 55 cm³, contendo diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporados ao substrato. Foram avaliados os efeitos dos tratamentos sobre: os atributos físicos e químicos do substrato; as variáveis morfológicas e nutricionais das mudas, aos 150 dias após a semeadura; e o potencial hídrico e as trocas gasosas, após três dias de restrição hídrica no final do experimento.

OBJETIVOS

GERAL

Avaliar o efeito da utilização do hidrogel incorporado ao substrato, na qualidade morfofisiológica e nutricional de mudas florestais nativas.

ESPECÍFICOS

- Analisar o efeito de diferentes doses do hidrogel incorporado ao substrato na qualidade morfológica e nos teores de macro e micronutrientes foliares de mudas de *Swietenia macrophylla* King e *Genipa americana* L.;

- Verificar se a utilização do hidrogel mantém os processos fisiológicos em níveis mais adequados em mudas de *S. macrophylla* e *G. americana* submetidas à estresse hídrico;

- Avaliar a resposta morfológica e nutricional de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos produzidas com diferentes doses do hidrogel incorporado ao substrato e níveis de adubação;

- Verificar se o hidrogel incorporado ao substrato permite a redução da adubação utilizada no viveiro, sem comprometer a qualidade de mudas de *E. contortisiliquum* e *H. heptaphyllus*;

- Verificar se a utilização do hidrogel associada à adubação mantém os processos fisiológicos em níveis mais adequados em mudas de *E. contortisiliquum* e *H. heptaphyllus* submetidas à estresse hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDI-KOUPAI, J.; ASADKAZEMI, J. Effects of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. **Iranian Polymer Journal**, v. 15, n. 9, p. 715–725, 2006.

AKHTER, J.; MAHMOOD, K.; MALIK, K. A.; MARDAN, A.; AHMAD, M.; IQBAL, M. M. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. **Plant Soil Environment**, v. 50, n. 10, p. 463–469, 2004.

AZEVEDO, G. T. O. S.; AZEVEDO, G. B.; SOUZA, A. M.; MEWS, C. L.; SOUSA, J. R. L. Effect of hydrogel doses in the quality of *Corymbia citriodora* Hill & Johnson Seedlings. **Nativa**, v. 4, n. 4, p. 244–248, 2016.

AZEVEDO, G. T. O. S.; SOUZA, A. M.; AZEVEDO, G. B.; CERQUEIRA, P. H. A. Enraizamento de miniestacas de eucalipto com diferentes doses de polímero hidrorretentor

incorporado ao substrato. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 773–780, 2015.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 23–31, 2002.

BAI, W.; ZHANG, H.; LIU, B.; WU, Y.; SONG, J. Q. Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. **Soil Use and Management**, v. 26, p. 253–260, 2010.

BARTIERES, E. M. M.; CARNEVALI, N. H. de S.; LIMA, E. D. S.; CARNEVALI, T. O.; MALLMANN, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 145, 2016.

BERNARDI, M. R.; SPEROTTO JUNIOR, M.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 67–74, 2012.

BUZETTO, F. A.; BIZON, J. M. C.; SEIXAS, F. Avaliação de polímero adsorvente à base de acrilamida no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Circular Técnica IPEF**, v. 195, p. 1–5, 2002.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/UENF/FUPEF, 1995.

CHIRINO, E.; VILAGROSA, A.; VALLEJO, V. R. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. **Plant and Soil**, v. 344, n. 1, p. 99–110, 2011.

CLAUSSEN, J. W. Acclimation abilities of three tropical rainforest seedlings to an increase in light intensity. **Forest Ecology and Management**, v. 80, n. 1–3, p. 245–255, 1996.

DRANSKI, J. A. L.; PINTO JUNIOR, A. S.; CAMPAGNOLO, M. A.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. 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.

EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEIMEN, F. E. Polymer Applications in Agriculture. **Biokemistri**, v. 23, n. 2, p. 81–89, 2011.

EL-ASMAR, J.; JAAFAR, H.; BASHOUR, I.; FARRAN, M. T.; SAOUD, I. P. Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 45, n. 7, p. 1–9, 2017.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373, 13 set. 2013.

FAGUNDES, M. C. P.; CRUZ, M. C. M. D. C. M.; DE CARVA-LHO, R. P.; DE OLIVEIRA, J.; SOARES, B. C.; CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, J.; SOARES, B. C. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 121–129, 2015.

FAN, R.; LUO, J.; YAN, S.; ZHOU, Y.; ZHANG, Z. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. **Pedosphere**, v. 25, n. 5, p. 737–748, out. 2015.

FELIPPE, D.; NAVROSKI, M. C.; SAMPIETRO, J. A.; FRIGOTTO, T.; ALBUQUERQUE, J. A.; MOTA, C. S.; PEREIRA, M. O. Efeito do hidrogel no crescimento

de mudas de *Eucalyptus benthamii* submetidas a diferentes frequências de irrigação. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 215–225, 2016.

HAN, Y.; YU, X.; YANG, P.; LI, B.; XU, L.; WANG, C. Dynamic study on water diffusivity of soil with super-absorbent polymer application. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 1, p. 289–296, 2013.

JAMNICKÁ, G.; DITMAROVÁ, L.; KURJAK, D.; KMEŤ, J.; PŠIDOVÁ, E.; MACKOVÁ, M.; GÖMÖRY, D.; STŘELCOVÁ, K. The soil hydrogel improved photosynthetic performance of beech seedlings treated under drought. **Plant, Soil and Environment**, v. 59, n. 10, p. 446–451, 2013.

LANDIS, T. D.; HAASE, D. L. Applications of Hydrogels in the Nursery and During Outplanting. **Forest and Conservation Nursery Associations-2011**, n. PMRS-P-68, p. 53–58, 2012.

LIU, F.; MA, H.; XING, S.; DU, Z.; MA, B.; JING, D. Effects of super-absorbent polymer on dry matter accumulation and nutrient uptake of *Pinus pinaster* container seedlings. **Journal of Forest Research**, v. 18, n. 3, p. 220–227, 2013.

MALDONADO-BENITEZ, K. R.; ALDRETE, A.; LÓPEZ-UPTON, J.; VAQUERA-HUERTA, H.; CETINA-ALCALÁ, V. M. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. **Agrociencia**, v. 45, n. 3, p. 389–398, 2011.

MILANI, P.; FRANÇA, D.; BALIEIRO, A. G.; FAEZ, R. Polymers and its applications in agriculture. **Polímeros**, v. 27, n. 3, p. 256–266, 2017.

MONTEIRO NETO, J. L. L.; ARAÚJO, W. F.; CHAGAS, E. A.; DA SILVA SIQUEIRA, R. H.; OLIVEIRA, G. A.; RODRIGUEZ, C. A. Hydrogels in brazilian agriculture. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 4, p. 347, 3 out. 2017.

MORGADO, I. F.; CARNEIRO, J. G. A.; LELES, P. S. S.; BARROSO, D. G. Nova metodologia de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden utilizando resíduos prensados como substrato. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p. 27–35, 2000.

NARJARY, B.; AGGARWAL, P.; SINGH, A.; CHAKRABORTY, D.; SINGH, R. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. **Geoderma**, v. 187–188, p. 94–101, 2012.

NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Influência do polímero hidrotentor na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes manejos hídricos. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 108–113, 2014.

NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Redução da adubação e melhoria das características do substrato na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1155-11–65, 2016a.

NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; FIOR, C. S.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 467–476, 2015a.

NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M. H.; PEREIRA, M. O.; FIOR, C. S.; DE OLIVEIRA PEREIRA, M.; FIOR, C. S. Influência do polímero hidrotentor nas características do substrato comercial para produção de mudas florestais. **Interciencia**, v. 41, n. 5, p. 357–361, 2016b.

NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; REINIGER, L. R. S.; MUNIZ, M. F. B.; PEREIRA,

- M. O.; ARAÚJO, M. M.; REININGER, L. R. S.; MUNIZ, M. F. B.; PEREIRA, M. O. Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 315–328, 2015b.
- OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. de S.; SOUZA, C. A. M.; SILVA, S. A.; MARTINS FILHO, S. Produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos e acompanhamento do desenvolvimento em campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 122–128, 2008.
- ORIKIRIZA, L. J. B.; AGABA, H.; EILU, G.; KABASA, J. D.; WORBES, M.; HÜTTERMANN, A. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. **Journal of Environmental Protection**, v. 4, n. 1, p. 713–721, 2013.
- ORIKIRIZA, L. J. B.; AGABA, H.; TWEHEYO, M.; EILU, G.; KABASA, J. D.; HÜTTERMANN, A. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 37, n. 8, p. 615–620, 2009.
- PERY, R. S. M.; MARFÀ, O.; SERRANO, L. The effect of a hydrophilic polymer on plant water status and survival of transplanted pine seedlings. **HortTechnology**, v. 5, n. 2, p. 141–143, 1995.
- SANTELICES, R. Desarrollo de una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. **Bosque**, v. 26, n. 3, p. 105–112, 2005.
- SARVAŠ, M.; PAVLENDÁ, P.; TAKÁČOVÁ, E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. **Journal of Forest Science**, v. 53, n. 5, p. 204–209, 2007.
- SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; SOUSA, J. R. L.; MEWS, C. L.; SOUZA, A. M. Incorporação de polímero hidroretentor no substrato de produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1270–1278, 2013.
- WALKER, C.; ARAÚJO, M. M.; MACIEL, C. G.; MARCUZZO, S. B. Viveiro florestal: evolução tecnológica e legalização. **Revista Verde**, v. 6, n. 5, p. 8–14, 2011.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por estaquia e miniestaquia. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (Ed.). **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 50–60.
- YU, J.; SHI, J. G.; MA, X.; DANG, P. F.; YAN, Y. L.; MAMEDOV, A. I.; SHAINBERG, I.; LEVY, G. J. Superabsorbent polymer properties and concentration effects on water retention under drying conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 4, p. 889–901, 2017.

CAPÍTULO 1

O HIDROGEL INCORPORADO AO SUBSTRATO MELHORA A QUALIDADE E REDUZ O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS

RESUMO

Ainda que as técnicas de produção de mudas florestais sejam bem consolidadas, há uma busca constante por alternativas de manejo que proporcionem melhor qualidade às mudas. Dentre estas, recentemente o uso do hidrogel têm mostrado resultados promissores. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da incorporação de doses de hidrogel ao substrato (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹ de substrato) na produção de mudas de duas espécies florestais nativas (*Swietenia macrophylla* e *Genipa americana*), transplantadas em vasos de 7 litros. Foram avaliados os atributos físicos e químicos do substrato com cada dose de hidrogel. Após 180 dias do transplântio foram avaliadas variáveis morfológicas e teores foliares de nutrientes. Partes das mudas foram encaminhadas para laboratório, onde permaneceram sombreadas e com restrição hídrica por um período de 6 dias, sendo avaliado o potencial hídrico e as trocas gasosas. Os dados foram submetidos a análises univariadas, multivariadas e de correlação. As alterações promovidas no substrato pela incorporação do hidrogel promoveram maior qualidade morfológica e teores de macro e micronutrientes foliares de mudas de *Swietenia macrophylla* e *Genipa americana*. As espécies responderam de forma diferenciada ao hidrogel, sendo que as mudas de *Swietenia macrophylla* obtiveram melhores respostas entre as doses de 1 a 2 g L⁻¹ e mudas de *Genipa americana* entre 2 e 3 g L⁻¹. O uso do hidrogel incorporado ao substrato permitiu que as mudas de ambas as espécies mantivessem os processos fisiológicos em níveis mais adequados, reduzindo assim os danos provocados pelo estresse hídrico.

Palavras-chave: produção de mudas; polímero hidrotentor; crescimento; teor de nutrientes; processos fisiológicos.

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por mudas de espécies florestais nativas, seja para a recuperação de áreas degradadas, plantios comerciais, ou arborização urbana, gera a necessidade do conhecimento prévio de suas características silviculturais (CUNHA et al., 2005). Independente da finalidade, as mudas devem apresentar boa qualidade, pois, além de resistirem às condições adversas do meio, devem ser capazes de se desenvolver e exteriorizar todo o seu potencial de crescimento e ocupação da área (MORGADO et al., 2000; WENDLING; DUTRA, 2010).

Ainda que as técnicas de produção de mudas florestais sejam bem consolidadas, procedimentos e recomendações técnicas para a produção de mudas de espécies florestais nativas de qualidade são muito escassos, havendo recomendações apenas para aquelas que se têm maior interesse econômico (DUTRA et al., 2012). Assim, há uma busca constante por alternativas de manejo que estimulem o maior desenvolvimento das mudas, visando reduzir o tempo necessário para sua formação e garantindo qualidade superior. Dentre estas, a incorporação do hidrogel ao substrato de produção de mudas de espécies florestais no viveiro tem apresentado resultados promissores (MALDONADO-BENITEZ et al., 2011; BERNARDI et al., 2012; LIU et al., 2013; ORIKIRIZA et al., 2013; AZEVEDO et al., 2015, 2016; MEWS et al., 2015; NAVROSKI et al., 2015a, 2015b, 2016c).

Também conhecido como polímero hidroretentor, os hidrogéis são macromoléculas reticuladas com segmentos de grupos hidrofílicos que podem absorver e reter líquidos, apresentando diferentes composições (BAI et al., 2010; LANDIS; HAASE, 2012; MILANI et al., 2017; MONTEIRO NETO et al., 2017). Na área agrícola, o hidrogel mais utilizado é a base de poliacrilamida, e apresenta a capacidade de reter e armazenar centenas de vezes sua massa em água, disponibilizando-a gradativamente para as plantas (ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; LANDIS; HAASE, 2012; HAN et al., 2013; MILANI et al., 2017; MONTEIRO NETO et al., 2017). Uma vez incorporado ao solo ou substrato, melhora seus atributos físicos e químicos, principalmente na aeração e retenção e disponibilidade de água (BAI et al., 2010; NARJARY et al., 2012; JAMNICKÁ et al., 2013; NAVROSKI et al., 2015a, 2016b; EL-ASMAR et al., 2017) e reduz a lixiviação de nutrientes (FAGUNDES et al., 2015). Como resultado, o hidrogel reduz os efeitos do déficit hídrico (AKHTER et al., 2004; ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; CHIRINO; VILAGROSA; VALLEJO, 2011; JAMNICKÁ et al., 2013; NAVROSKI et al., 2014) e promove a maior absorção de

nutrientes pelas plantas (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; LIU et al., 2013; FAGUNDES et al., 2015; NAVROSKI et al., 2015b; BARTIERES et al., 2016), contribuindo assim para o seu melhor crescimento (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; ORIKIRIZA et al., 2013; NAVROSKI et al., 2015a, 2015b, 2016a; AZEVEDO et al., 2016; FELIPPE et al., 2016).

Inicialmente esses polímeros eram utilizados como alternativa para a produção agrícola em regiões de clima árido, principalmente para atenuar os efeitos da baixa disponibilidade hídrica (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; SHOOSHTARIAN; ABEDI-KUPAI; TEHRANIFAR, 2012). Sua aplicação tornou-se conhecida nas diferentes partes do planeta, sendo realizadas pesquisas na área agrícola e florestal para comprovar sua eficiência em diferentes disponibilidades hídricas (ARBONA et al., 2005; ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; BAI et al., 2010; EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011). Porém, estudos recentes têm mostrado que, mesmo em condições de disponibilidade hídrica adequada, ou seja, sem déficit hídrico, os benefícios causados pelo hidrogel no substrato e na retenção de nutrientes do meio proporciona ganhos em diversas culturas, inclusive em culturas florestais (ORIKIRIZA et al., 2013; AZEVEDO et al., 2015, 2016).

Entretanto, a eficiência do hidrogel, pode variar em função de fatores como: as necessidades particulares de cada espécie, o sistema de produção adotado e as características e doses do hidrogel utilizado (ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; AZEVEDO et al., 2015, 2016; YU et al., 2017). Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da incorporação de diferentes doses do hidrogel ao substrato na produção de mudas de duas espécies florestais nativas (*Swietenia macrophylla* e *Genipa americana*). A hipótese deste trabalho foi que a utilização do hidrogel proporciona melhor qualidade morfológica às mudas, aumenta os teores de macro e micronutrientes foliares e ameniza os efeitos do déficit hídrico, mantendo os processos fisiológicos em níveis mais adequados, sendo diferente a dose ideal para cada espécie.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O experimento foi realizado no viveiro florestal da empresa Paisagem Nativa, localizada em Planaltina-DF, na rodovia DF 230, km 4,5, nas coordenadas 16°12'31" S e 48°44'26" W. O clima é do tipo Aw, segundo classificação de Köppen, caracterizado por

duas nítidas estações: uma seca que dura de cinco a sete meses e outra úmida, com período chuvoso. A precipitação anual varia de 1.300 a 2.000 mm. As temperaturas médias oscilam entre 22 e 26 °C. Nos meses mais frios a temperatura média é de 20 °C, enquanto nos mais quentes chegam a atingir a média de 36 °C. O experimento foi conduzido do período de dezembro de 2015 a junho de 2016.

2.2 PRODUÇÃO DAS MUDAS

Mudas de duas espécies nativas foram utilizadas nesse experimento, o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) e o jenipapo (*Genipa americana* L.). Foram selecionadas aleatoriamente mudas de ambas as espécies produzidas via semente, em tubetes cônicos de 270 cm³, pelo viveiro, com cerca de 6 meses de idade. Essas mudas foram retiradas dos recipientes, sem destorroar o substrato, e foram transplantadas para vasos plásticos semirrígidos de 7 litros. O substrato utilizado para preenchimento dos vasos foi composto por terra de subsolo, areia e casca de arroz carbonizada na proporção 5:2:3 (v:v:v). Ao substrato foi acrescida adubação de base contendo 500 g de calcário dolomítico, 500 g de superfosfato simples, 50 g de cloreto de potássio, 200 g de sulfato de amônio e 100 g de FTE BR12 (Ca (7,1%), S (5,7%), B (1,8%), Cu (0,8%), Mn (2,0%), Mo (0,01%) e Zn (9,0%)), para cada 300 L de substrato, determinada por experiência do viveirista. Antes do preenchimento dos vasos plásticos foram incorporadas, de forma homogênea, ao substrato diferentes doses do hidrogel da marca comercial Forth Gel® (Copolímero Poliacrílico de Potássio Poliacrilamida – Registro no MAPA: SP80081/10052-1), em sua forma desidratada. As doses utilizadas foram: 0, 1, 2 e 3 g L⁻¹ de substrato, caracterizando os tratamentos avaliados.

A caracterização física e química de uma amostra do substrato com cada dose de hidrogel está apresentada na tabela 1. Essa análise foi realizada no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, conforme a Instrução Normativa nº 17 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (FERMINO, 2003; MAPA, 2007).

Após o transplante nos novos recipientes, as mudas de cada espécie foram acondicionadas separadamente em canteiros no chão, a pleno sol, considerando o delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos (doses de hidrogel) e cinco blocos, compostos por seis mudas cada. As mudas foram submetidas a duas irrigações diárias

de 5 mm cada, permanecendo nessas condições até 180 dias nos vasos, quando foram realizadas as avaliações do experimento.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do substrato com incorporação de diferentes doses de hidrogel. Cada valor corresponde à análise de uma amostra composta por tratamento.

Atributo	Dose de hidrogel (g L ⁻¹)			
	0	1	2	3
pH (H ₂ O)	7,36	7,26	7,00	6,96
CE (mS cm ⁻¹)	1,98	2,03	2,26	2,58
DU (kg m ⁻³)	1065,53	1115,88	1142,32	1050,50
DS (kg m ⁻³)	922,08	968,61	998,63	889,17
UA (%)	13,46	13,20	12,58	15,36
PT (%)	64,63	68,47	69,96	70,13
EA (%)	13,21	11,32	10,18	10,62
AFD (%)	16,75	17,36	17,69	20,60
AT (%)	7,57	4,89	7,51	4,09
AR (%)	27,11	34,89	34,59	34,83
CRA10 (%)	51,42	57,14	59,78	59,51
CRA50 (%)	34,68	39,79	42,09	38,91
CRA100 (%)	27,11	34,89	34,59	34,83

Em que: pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; UA = umidade atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, CRA50 e CRA100 = capacidade de retenção de água a 10, 50 e 100 cm de coluna de pressão, respectivamente.

2.3 COLETA DE DADOS

2.3.1 Variáveis morfológicas

A qualidade morfológica das mudas foi avaliada aos 180 dias, através das variáveis: altura da parte aérea (H), em cm; diâmetro do coleto (D), em mm; número de folhas (NF); área foliar total (AF), em m²; massas secas da parte aérea (MSA), das raízes (MSR) e total (MST), em g; e índice de qualidade de Dickson (IQD). As variáveis H, D e NF foram obtidas em todas as seis mudas de cada bloco. As massas secas e o IQD foram obtidas em duas mudas por bloco, e a AF em uma muda por bloco.

A altura da parte aérea foi obtida com auxílio de uma régua, medindo-se desde a base da muda até a gema apical. O diâmetro do coleto foi medido com auxílio de um paquímetro digital, da marca Eletronic Digital Caliper, com precisão de 0,01 mm, na altura do substrato. O número de folhas foi contabilizado através da contagem direta. A área foliar total foi obtida através da digitalização das folhas e processamento das imagens no *software* ImageJ versão 1.51. Os valores de massa seca foram determinados após a lavagem do sistema radicular

para a retirada do substrato, sendo as mudas seccionadas na altura do coleto, visando separar o sistema radicular da parte aérea, com posterior secagem do material em estufa à 75°C, até obtenção da massa seca constante, e pesagem do material em balança analítica, com precisão de 0,001 g (BÖHM, 1979). O índice de qualidade de Dickson foi calculado por $IQD = MST/(H/D+MSA/MSR)$.

2.3.2 Teores de macro e micronutrientes foliares

Todas as folhas das mudas, em três dos cinco blocos, que tiveram a massa seca avaliada foram moídas em moinho tipo Willey, para a determinação de seus teores foliares de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B), conforme a metodologia proposta por Bataglia et al. (1983). As análises dos teores foram realizadas no laboratório de análise do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

2.3.3 Variáveis fisiológicas

Após a obtenção das variáveis morfológicas no viveiro, uma muda de cada bloco foi mantida protegida do sol, com irrigações suspensas, por um período de seis dias, quando então foram realizadas as avaliações fisiológicas. As respostas fisiológicas das mudas às doses de hidrogel foram avaliadas através das variáveis: área foliar específica (AFE), em $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, potencial hídrico na antemanhã (ψ_{pd}), em MPa; potencial hídrico ao meio dia (ψ_{md}), em MPa; assimilação líquida de carbono (A), em $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$; condutância estomática (gs), em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; transpiração (E), em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; eficiência do uso da água (EUA), em $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$; eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), em $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mol H}_2\text{O})^{-1}$.

A área foliar específica foi obtida a partir da razão entre a área foliar (AF) e a massa seca das folhas. O potencial hídrico foliar na antemanhã e ao meio dia foram obtidos com o auxílio de uma bomba de pressão tipo Scholander, no primeiro par de folhas completamente expandidas, contados a partir do ápice. As trocas gasosas (A, gs e E) foram quantificadas entre 8:00 h e 11:00 h, com o auxílio de analisador de gás a infravermelho (IRGA) portátil (LICOR 6400XT, LiCOR, Nebraska, USA), em uma folha completamente expandida, logo abaixo da coletada para avaliar o potencial hídrico. O IRGA foi ajustado para trabalho com fluxo de $500 \mu\text{mol s}^{-1}$, concentração de CO_2 dentro da câmara de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$, temperatura ambiente e luz saturante artificial, com irradiância de $2.000 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o mogno e $1.000 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o jenipapo (determinadas pela curva de resposta à luz para cada espécie, suficiente para saturar A). De posse desses dados, foram

quantificadas a eficiência do uso da água ($EUA = A E^{-1}$) e a eficiência intrínseca do uso da água ($EIUA = A gs^{-1}$).

2.3.4 Tratamentos e procedimentos estatísticos

Depois de verificada a homogeneidade e normalidade dos dados, as variáveis morfológicas, fisiológicas e nutricionais das mudas foram submetidas à análise de variância da regressão polinomial ($\alpha=0,05$), utilizando-se as médias de cada bloco. A equação de regressão selecionada foi correspondente à regressão significativa de mais alto grau ($p<0,05$). As equações de segundo grau foram derivadas a fim de verificar a dose de hidrogel que promoveu o ponto de máximo ou mínimo para cada uma das variáveis.

De forma complementar, as doses de hidrogel foram agrupadas, por meio da análise de variáveis canônicas. Essa análise é um procedimento estatístico multivariado, que avalia o grau de similaridade entre elementos amostrais (doses de hidrogel), levando em consideração a matriz de covariância residual, ou seja, a variação entre as repetições, além da média das variáveis. O objetivo principal dessa análise foi simplificar a estrutura dos dados, de forma que a dispersão entre os tratamentos representados por um conjunto p -dimensional (onde p representa o número de variáveis avaliadas), possa ser avaliada por um conjunto bidimensional de fácil interpretação, permitindo o agrupamento entre os tratamentos (CRUZ; REGAZZI, 1994; TRUGILHO, 1995). Essa análise foi realizada separadamente para cada grupo de variáveis (morfológicas, macronutrientes, micronutrientes e fisiológicas).

Os atributos dos substratos (Tabela 1) foram correlacionados com as doses de hidrogel e com as médias das variáveis morfológicas, fisiológicas, nutricionais, em cada dose. A correlação de Pearson $|r_{ij}|$ entre esses elementos foi representada por redes de correlações (FRUCHTERMAN; REINGOLD, 1991). Nestas redes, as variáveis (nós) são conectadas por linhas, que possuem espessura proporcional ao valor absoluto da correlação entre as mesmas. O comprimento das linhas indica a intensidade das correlações, de maneira que, linhas mais curtas representam correlações mais fortes (EPSKAMP et al., 2012). A espessura das linhas foi controlada aplicando um valor de corte igual 0,7, o que significa que apenas $|r_{ij}| \geq 0,7$ têm as suas arestas em destaque. As correlações positivas foram destacadas na cor verde, enquanto as negativas foram representadas em vermelho. As redes de correlações foram apresentadas separadamente, entre grupos de variáveis, a fim de permitir uma melhor visualização dos resultados. Todas as análises foram realizadas com auxílio do *software* Rbio (BHERING, 2017), sendo cada espécie avaliada separadamente.

3. RESULTADOS

3.1 *Swietenia macrophylla* (MOGNO)

As variáveis morfológicas apresentaram respostas diferenciadas à incorporação das doses de hidrogel (Figuras 1 e 2). As doses de hidrogel influenciaram significativamente apenas NF (Figura 1), que apresentou comportamento quadrático positivo e máximo valor estimado na dose de 1,27 g L⁻¹.

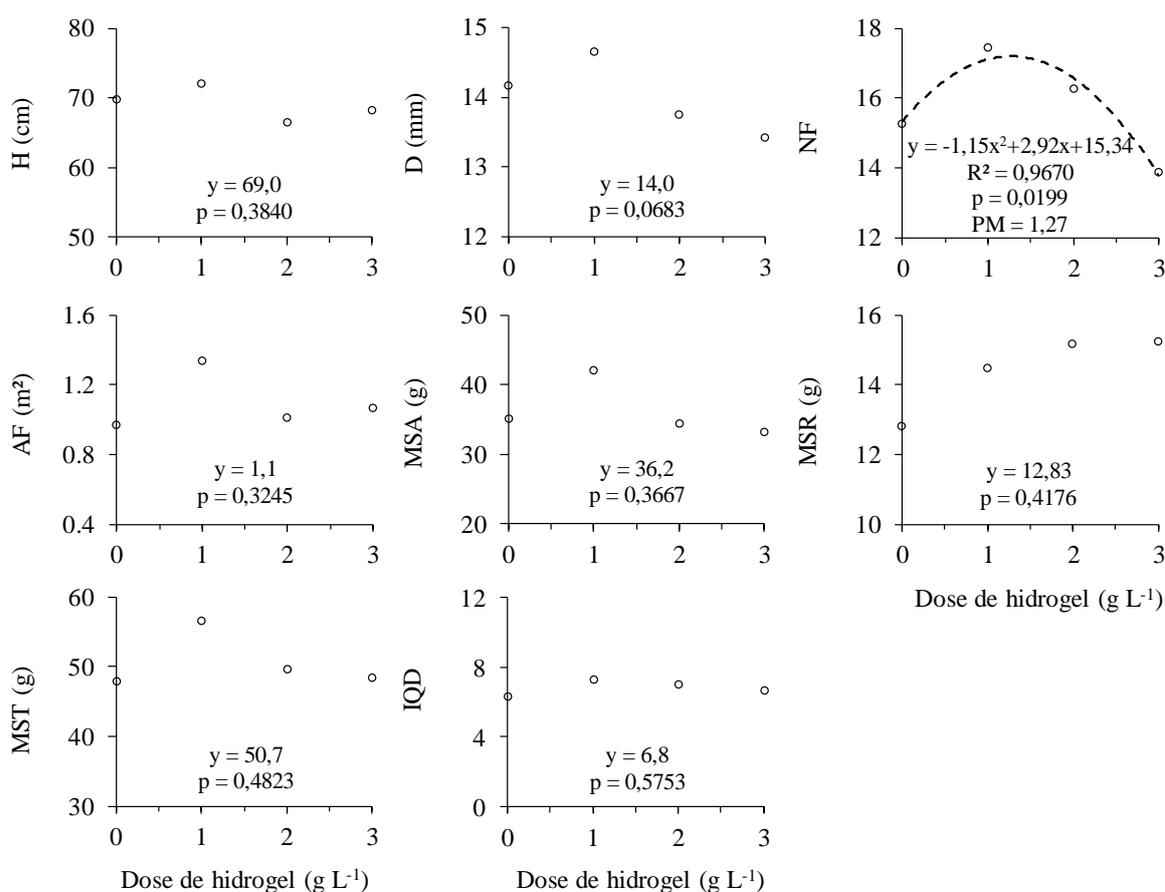


Figura 1. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Swietenia macrophylla* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo.

Quando analisado o efeito das doses de hidrogel sobre as variáveis morfológicas em conjunto, através das variáveis canônicas (Figura 2), verificou-se que a dose de 1 g L⁻¹ de

hidrogel exerceu uma maior influência sobre as variáveis D, NF, AF, MSA e MST. Os incrementos dessas variáveis em relação à testemunha (0 g L⁻¹ de hidrogel) foram de 3,4%, 14,4%, 37,6%, 19,9% e 18,1%, respectivamente. A dose de 2 g L⁻¹ de hidrogel apresentou maior influência sobre MSR e IQD, com incremento de 18,3% e 15,8%. As duas primeiras variáveis canônicas foram estatisticamente significativas (p < 0,0001) e explicaram 97,8% da variação total dos dados. Portanto, essa análise permitiu representar e explicar a variação conjunta das variáveis morfológicas em relação aos tratamentos.

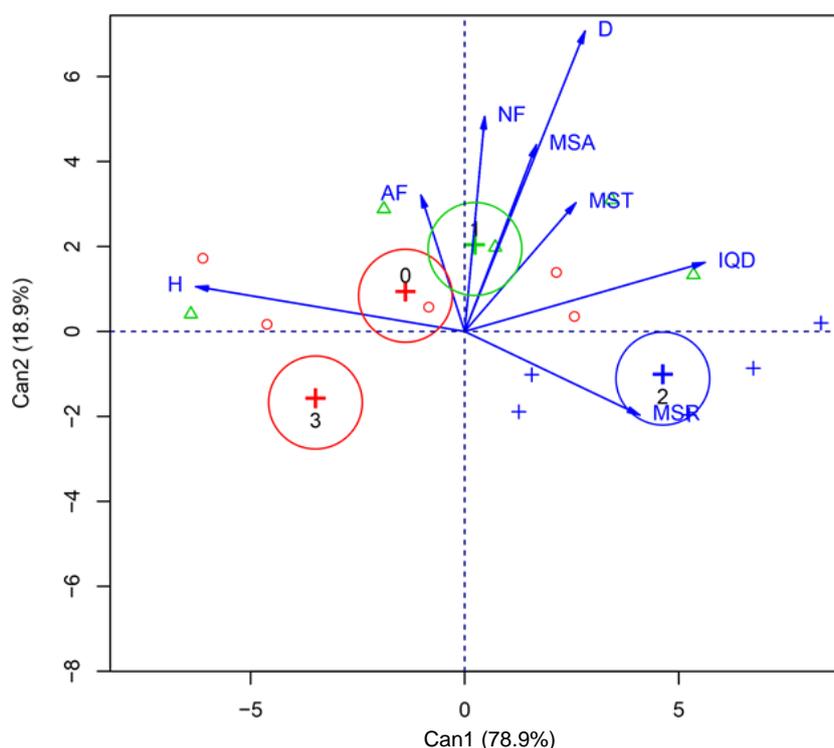


Figura 2. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas de *Swietenia macrophylla*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L⁻¹); H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson.

Os teores de macro e micronutrientes nas folhas também foram influenciados pelas doses de hidrogel (Figuras 3 e 4). As análises de variância indicaram que K, Ca e Zn apresentaram comportamento linear positivo, enquanto S e B apresentaram comportamento quadrático positivo, com seus valores máximos obtidos nas doses de 2,22 e 1,55 g L⁻¹, respectivamente. Já N e Mn apresentaram comportamento quadrático negativo, com valores mínimos nas doses de 1,7 e 1,4 g L⁻¹, respectivamente (Figura 3).

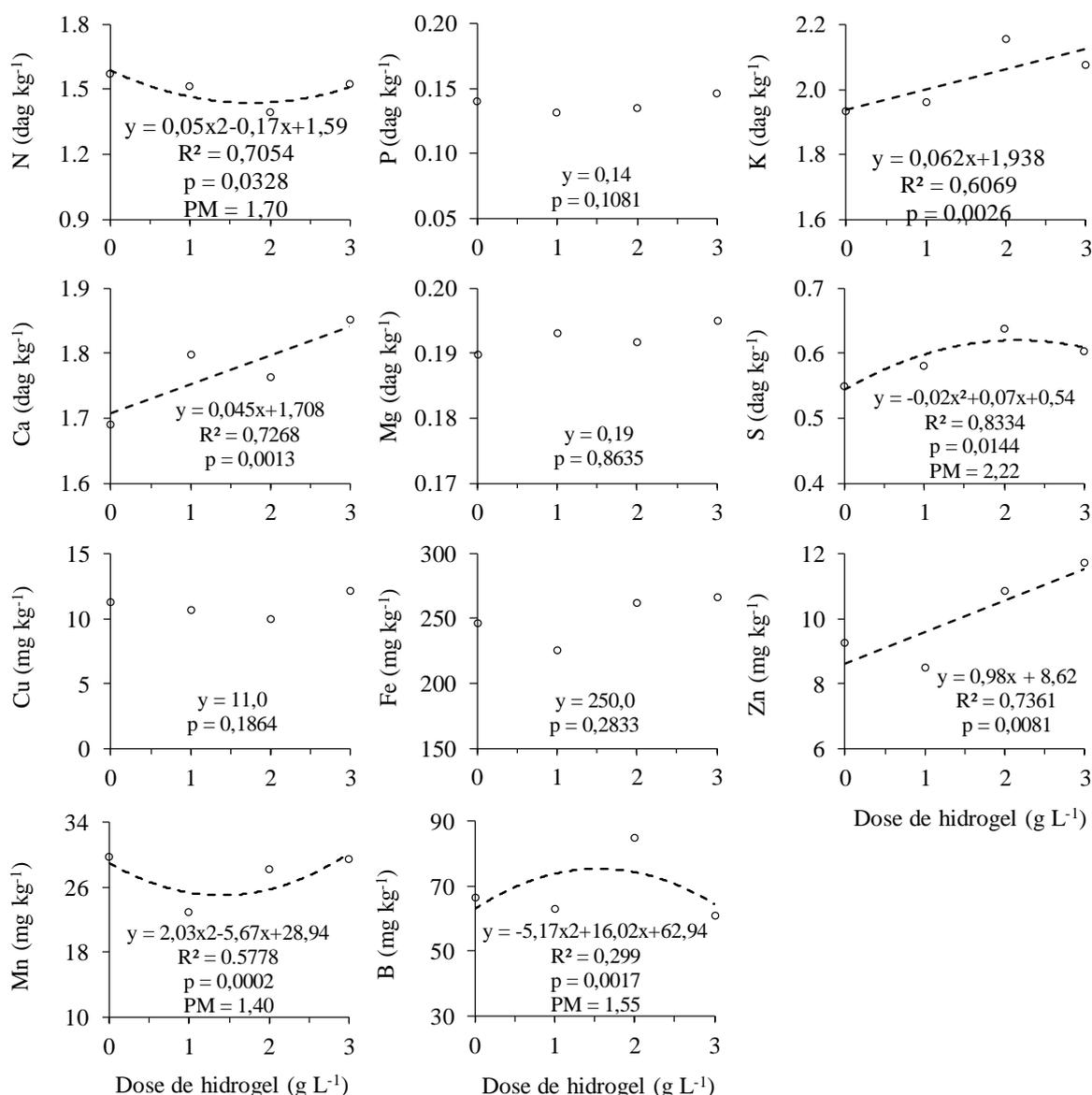


Figura 3. Comportamento das variáveis nutricionais de mudas de *Swietenia macrophylla* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo.

As análises de variáveis canônicas indicaram que Ca, Mg e Cu foram mais relevantes para a dose de 3 g L⁻¹, com incrementos de 9,5%, 2,8% e 7,5%, respectivamente, em relação ao tratamento sem hidrogel (Figura 4). Na dose de 2 g L⁻¹ os teores de K, S e B foram mais relevantes, com incrementos de 11,6%, 16,0 e 27,8%, respectivamente. Apesar dos incrementos dos teores de Zn serem expressivos nesses tratamentos (3 g L⁻¹ = 26,7% e 2 g

$L^{-1} = 17,3\%$), a análise de variância canônica não permitiu associar os teores desse elemento às doses de hidrogel. A aplicação do hidrogel promoveu efeitos negativos em N e Mn, que apresentaram decréscimos de seus teores de até 11,5% e 23,0%, respectivamente, quando utilizado o hidrogel. As duas primeiras variáveis canônicas foram estatisticamente significativas para macro e micronutrientes ($p < 0,0055$) e explicaram mais de 97% da variação total dos dados, indicando a eficiência dessa análise para explicar a variação dos dados.

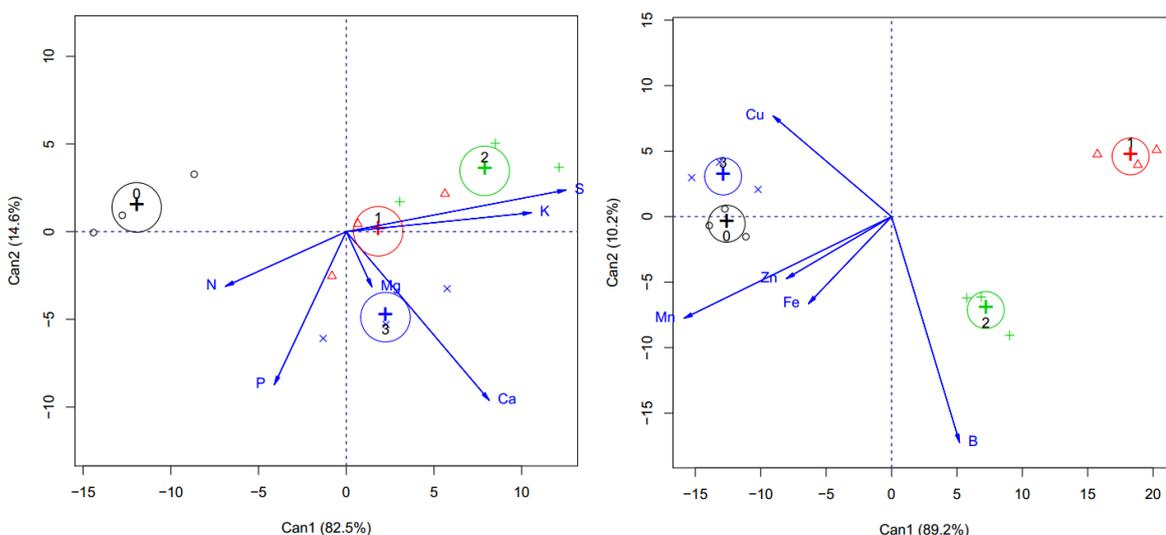


Figura 4. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais de *Swietenia macrophylla*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel ($g L^{-1}$); N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro.

As variáveis fisiológicas também foram influenciadas pelas doses de hidrogel (Figuras 5 e 6). As análises de variância indicaram efeito do hidrogel para todas as variáveis, exceto para AFE (Figura 5). O ψ_{pd} apresentou comportamento linear crescente. As variáveis ψ_{md} , A, gs e E, apresentaram comportamento quadrático positivo, com seus valores máximos obtidos entre as doses de 1,38 a 2,05 $g L^{-1}$. EUA e EIUA apresentaram comportamento quadrático negativo, com os valores mínimos obtidos nas doses de 1,74 e 1,81 $g L^{-1}$, respectivamente.

A análise de variáveis canônicas também foi eficiente para explicar a variação das variáveis fisiológicas em resposta às doses de hidrogel (Figura 6). As duas primeiras variáveis canônicas foram estatisticamente significativas ($p < 0,0001$) e explicaram 99,1% da variação total dos dados. Essa análise indicou que a dose de 2 $g L^{-1}$ de hidrogel apresentou maior influência sobre as variáveis A, gs e E. Os incrementos dessas variáveis nessa dose

foram de 14,0%, 153,2% e 89,4%, respectivamente, em relação à não utilização do hidrogel. As variáveis ψ_{pd} e ψ_{md} foram favorecidas pela adição do hidrogel ao substrato, sendo o incremento dessas variáveis de, no mínimo, 46,2% em relação a sua não utilização. O tratamento sem hidrogel foi caracterizado por um aumento das variáveis EUA e EIUA, sendo os valores destas superiores a, no mínimo 19,9% dos obtidos nas demais doses.

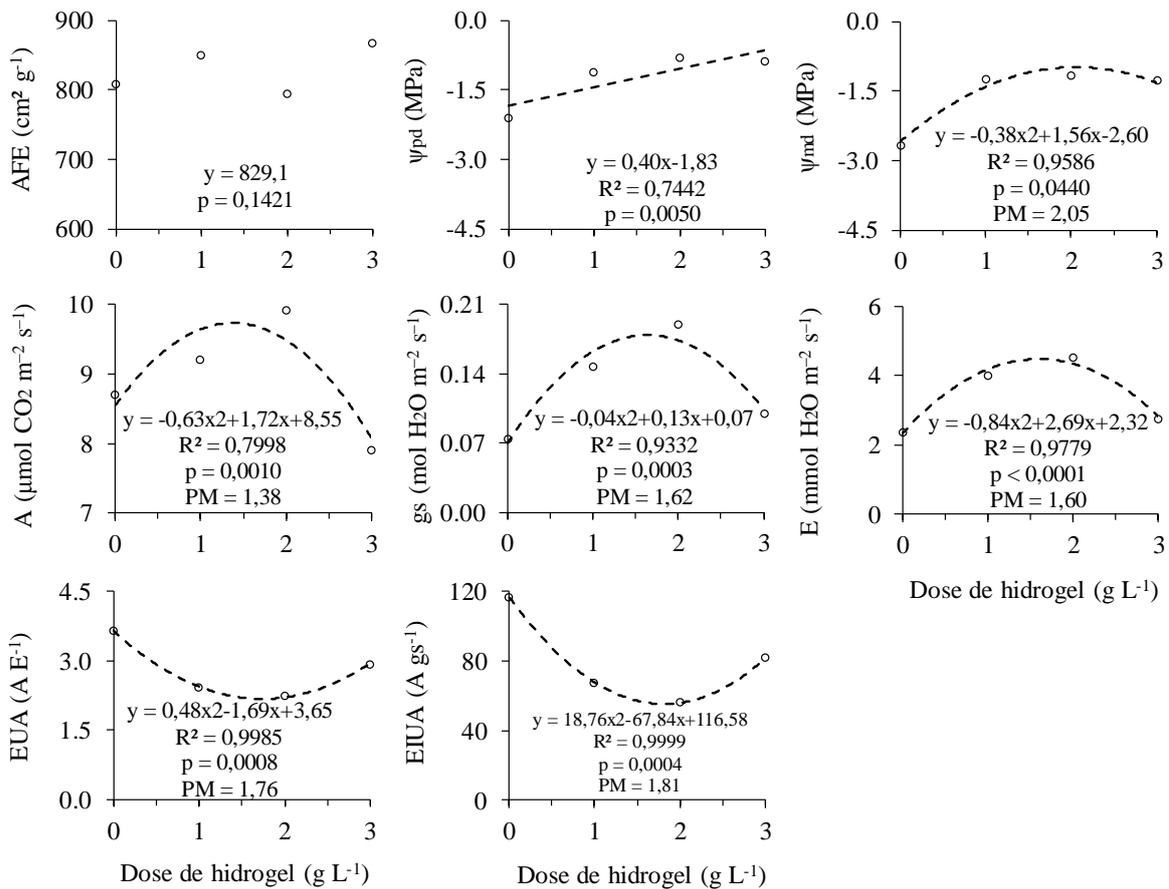


Figura 5. Comportamento das variáveis fisiológicas de mudas de *Swietenia macrophylla* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; e EIUA = eficiência intrínseca do uso da água. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo.

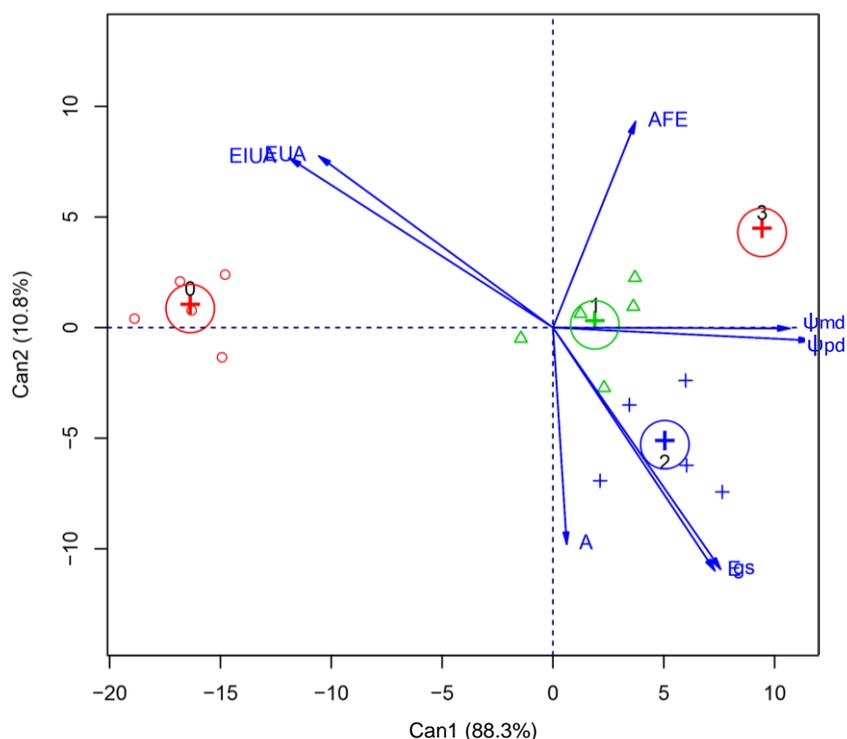


Figura 6. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis fisiológicas de *Swietenia macrophylla*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L^{-1}); AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; e EIUA = eficiência intrínseca do uso da água.

Dentre todas as variáveis analisadas, as que apresentaram alta correlação positiva ($r_i \geq 0,7$) com as doses de hidrogel incorporadas ao substrato foram MSR, ψ_{pd} , ψ_{md} , K, Ca, Mg, S e Zn (Figura 7). Apenas D apresentou correlação negativa alta ($r_{ij} \leq -0,7$) com as doses de hidrogel. Além das variáveis morfológicas, fisiológicas e nutricionais das mudas, as doses de hidrogel também influenciaram os atributos dos substratos, apresentando fortes correlações negativas com pH e EA e positivas com CE, PT, AFD, AR, CRA10 e CRA100 (Figura 7), indicando um efeito do hidrogel sobre o aumento da acidez e quantidade de água no solo

As correlações indicam que os atributos do substrato influenciaram as variáveis analisadas nas mudas. As variáveis morfológicas mais correlacionadas com o substrato foram H, D, NF, MSR e IQD, sendo que a última apresentou correlações fortes com um maior número de atributos do substrato (Figura 7A). De forma geral, todas as variáveis nutricionais e fisiológicas apresentaram correlações fortes com os atributos do substrato (Figura 7B e 7C), sendo as maiores correlações observadas com pH, PT, EA, AR, CRA10, CRA50 e CRA100.

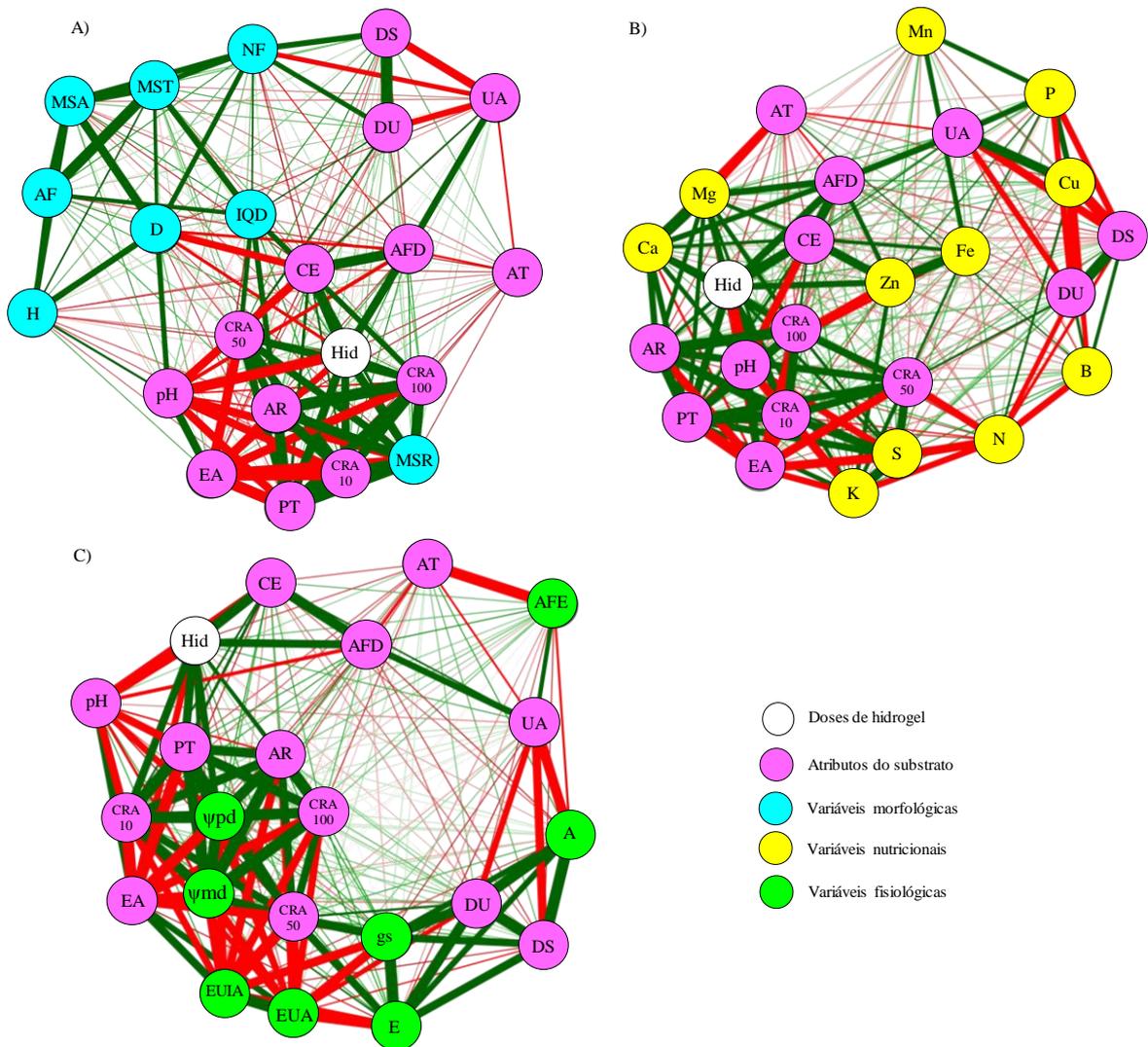


Figura 7. Redes de correlações entre as doses de hidrogel, atributos do substrato e variáveis obtidas em mudas de *Swietenia macrophylla* com hidrogel incorporado ao substrato. O comprimento das linhas indica a intensidade das correlações. Linhas verdes indicam correlações positivas e linhas vermelhas negativas. Hid = doses de hidrogel; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; UA = umidade atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, CRA50 e CRA100 = capacidade de retenção de água a 10, 50 e 100 cm, respectivamente. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro; AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUIA = eficiência do uso da água; EIUA = eficiência intrínseca do uso da água.

3.2 *Genipa americana* (JENIPAPO)

A incorporação das doses de hidrogel ao substrato de produção das mudas de jenipapo modificou as variáveis analisadas. De acordo a análise de variância, dentre as variáveis morfológicas, apenas H e D foram influenciadas pelas doses de hidrogel. A primeira apresentou comportamento linear crescente e a segunda, quadrático negativo, com menor valor estimado na dose de 1,23 g L⁻¹. Os maiores valores para essas variáveis foram observados na dose de 3 g L⁻¹ (Figura 8).

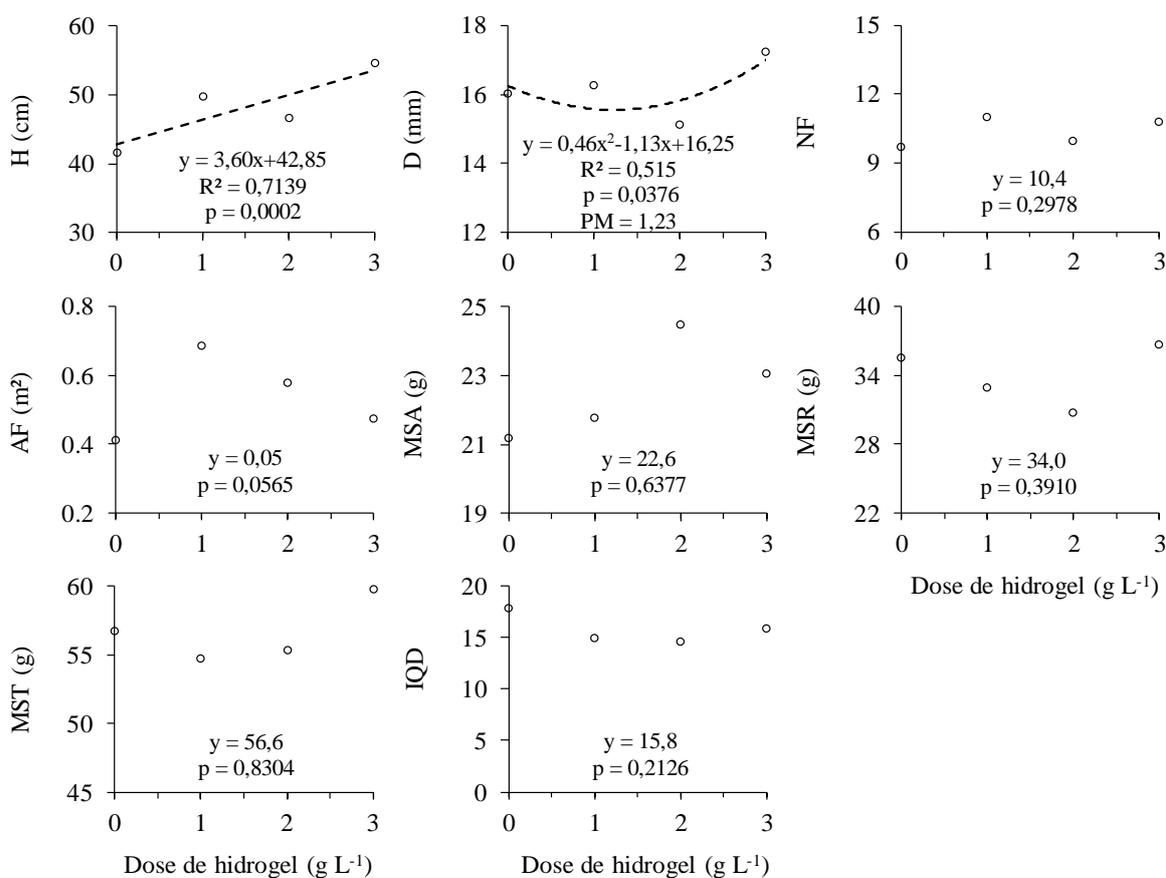


Figura 8. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Genipa americana* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo.

A análise de variáveis canônicas foi eficiente para explicar a variação total do conjunto das variáveis morfológicas em resposta às doses de hidrogel (Figura 9). As duas primeiras

variáveis canônicas foram estatisticamente significativas ($p < 0,0188$) e explicaram 98,2% da variação total dos dados. Essa análise indicou que a dose de 3 g L^{-1} de hidrogel apresentou maior influência sobre as variáveis H e NF, que proporcionou incrementos nessas variáveis de 31,4% e 13,4%, respectivamente, em relação à não utilização do hidrogel. As doses de 2 g L^{-1} e 1 g L^{-1} foram mais relevantes para MSA e NF, respectivamente, proporcionando incrementos de 15,5% e 66,8%, em relação à não utilização do hidrogel. Já a presença do hidrogel prejudicou MSR e, conseqüentemente, o IQD.

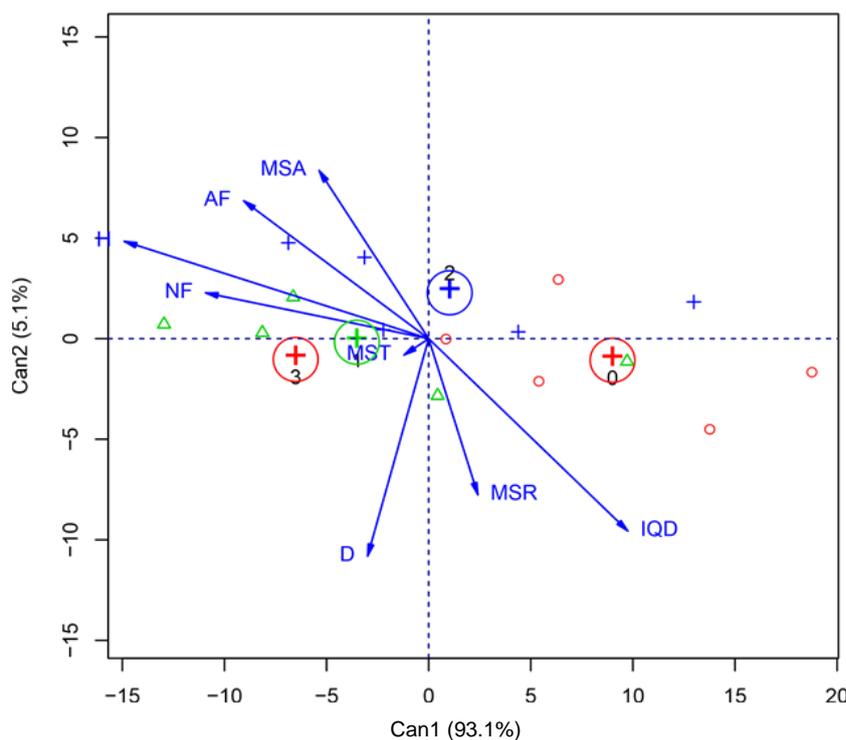


Figura 9. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas de *Genipa americana*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L^{-1}); H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson.

As doses de hidrogel também apresentaram influência sobre os teores de macro e micronutrientes foliares (Figura 10 e 11). De acordo a análise de variância, N, S e Cu apresentaram comportamento quadrático positivo, com seus valores máximos obtidos nas doses de 0,99, 1,61 e 2,03 g L^{-1} , respectivamente. Por outro lado, K, Ca e Mg apresentaram comportamento quadrático negativo, com valores mínimos nas doses de 0,80, 1,70 e 1,54 g L^{-1} , respectivamente. Já o B apresentou comportamento linear decrescente, conforme o aumento das doses.

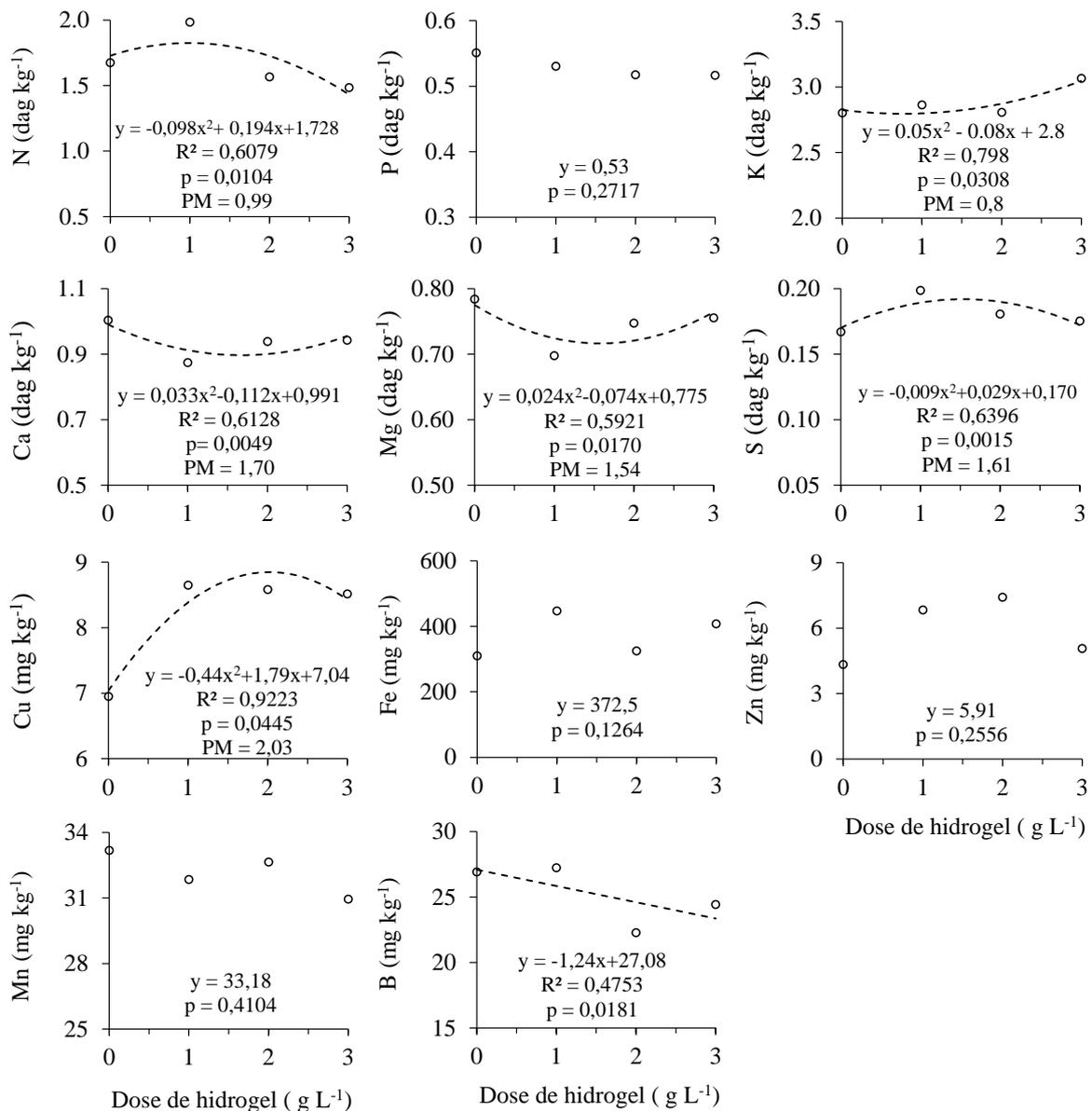


Figura 10. Comportamento das variáveis nutricionais de mudas de *Genipa americana* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo.

As análises de variáveis canônicas (Figura 11) indicaram que K foi mais relevante para a dose de 3 g L⁻¹, com incremento de 9,4%, em relação ao tratamento sem hidrogel. Na dose de 1 g L⁻¹ os teores de N e S foram mais relevantes, com incrementos de 18,4% e 19,0%, respectivamente. Os teores de B foram associados às doses de 0 g L⁻¹ e 1 g L⁻¹, enquanto a ausência do hidrogel favoreceu os teores de Ca e Mg, com redução de seus valores quando incorporado o hidrogel ao substrato (redução máxima de 12,9% e 11,0%, respectivamente). As duas primeiras variáveis canônicas foram estatisticamente significativas para macro e micronutrientes ($p < 0,0369$) e acumularam mais de 96% da variação total dos dados, indicando a eficiência dessa análise para explicar a variação dos dados.

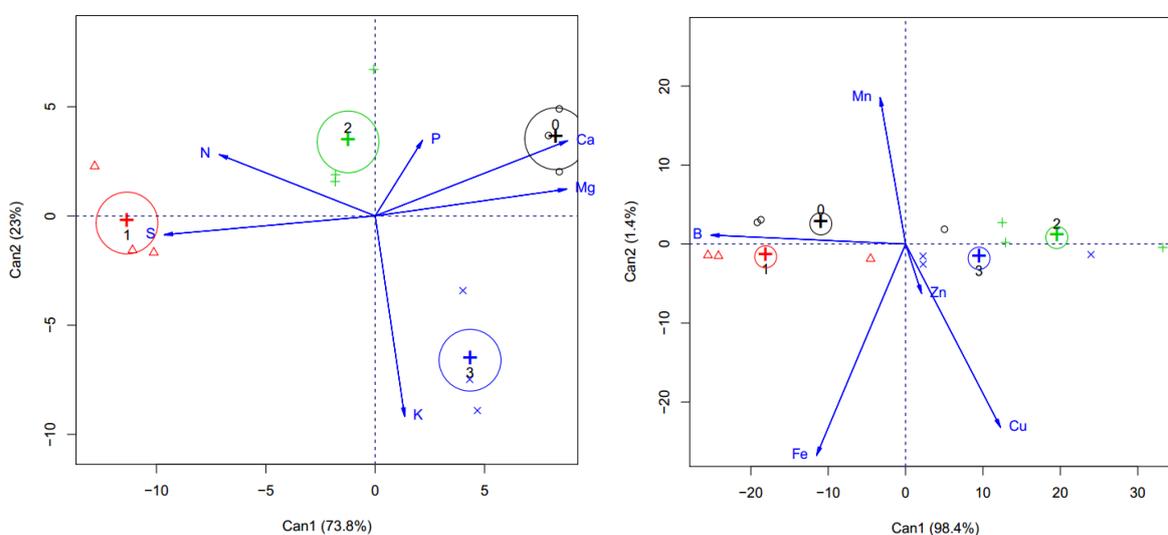


Figura 11. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais de *Genipa americana*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L⁻¹); N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro.

De acordo a análise de variância, dentre as variáveis fisiológicas, apenas ψ_{pd} foi influenciado pelas doses de hidrogel (Figura 12), com comportamento quadrático positivo e o seu valor máximo obtido na dose de 1,62 g L⁻¹. Já a análise dessas variáveis em conjunto, através da análise de variáveis canônicas, demonstrou a maior resposta das variáveis fisiológicas em relação às doses de hidrogel (Figura 13). A dose de 3 g L⁻¹ influenciou principalmente A, com incremento de 4,8%, em relação à não utilização do hidrogel. A dose de 2 g L⁻¹ foi mais relevante para as variáveis gs e E com incrementos de 36,5% e 26,5%, respectivamente. A dose de 1 g L⁻¹ foi mais relevante para o ψ_{pd} , que obteve incremento de 35,4% nessa dose. Apesar das variáveis AFE e ψ_{md} não terem sido fortemente associadas a um determinado tratamento, as doses de 1 e 2 g L⁻¹ proporcionaram maiores valores para

essas variáveis, com incrementos superiores a 17%. As duas primeiras variáveis canônicas foram estatisticamente significativas ($p < 0,0039$) e captaram 98,4% da variação total dos dados, indicando que essa análise foi eficiente para explicar a variação total das variáveis fisiológicas.

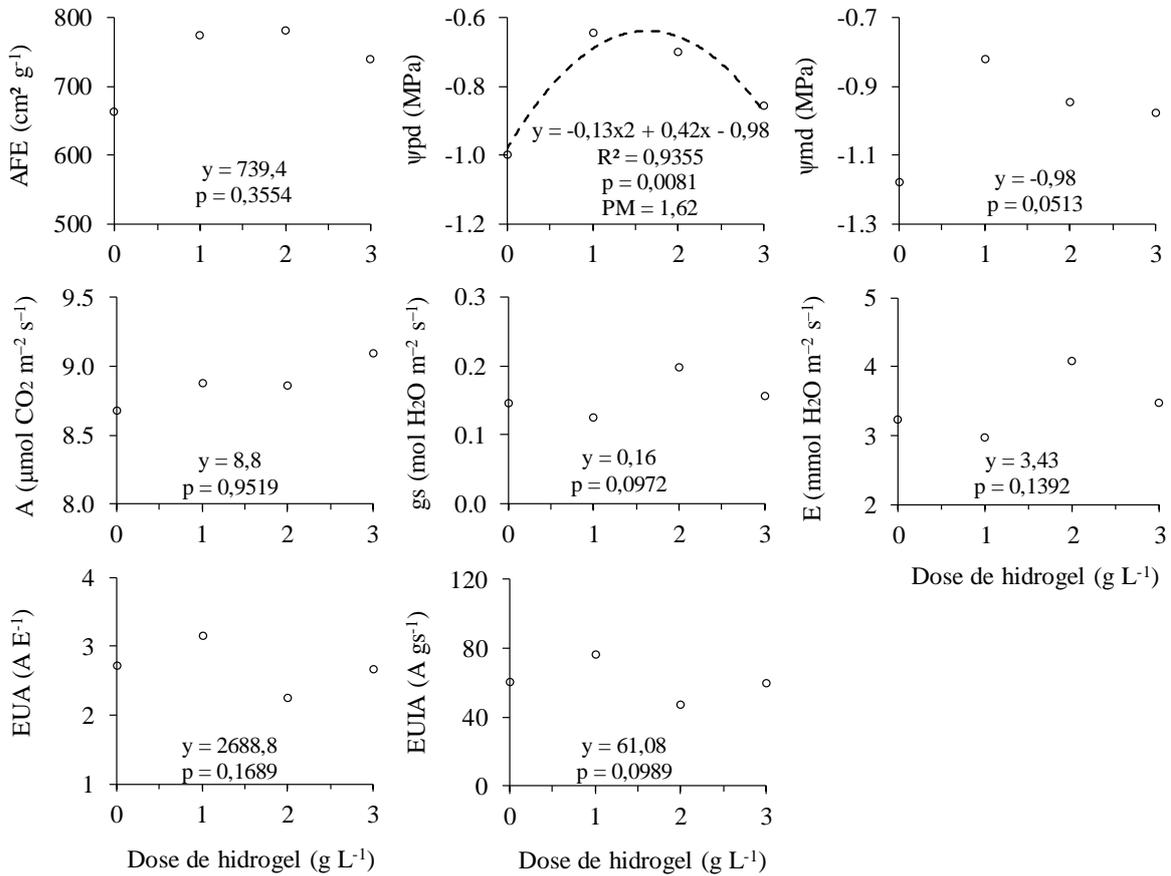


Figura 12. Comportamento das variáveis fisiológicas de mudas de *Genipa americana* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; EIUA = eficiência intrínseca do uso da água. As linhas de tendências e equações foram apresentadas apenas para as variáveis com diferenças significativas entre os tratamentos. Valores precedidos de y indicam a média das variáveis não influenciadas pelos tratamentos. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova para as variáveis não influenciadas pelos tratamentos ou p-valor da análise de variância da regressão para as variáveis influenciadas pelos tratamentos. PM = ponto de máximo ou de mínimo.

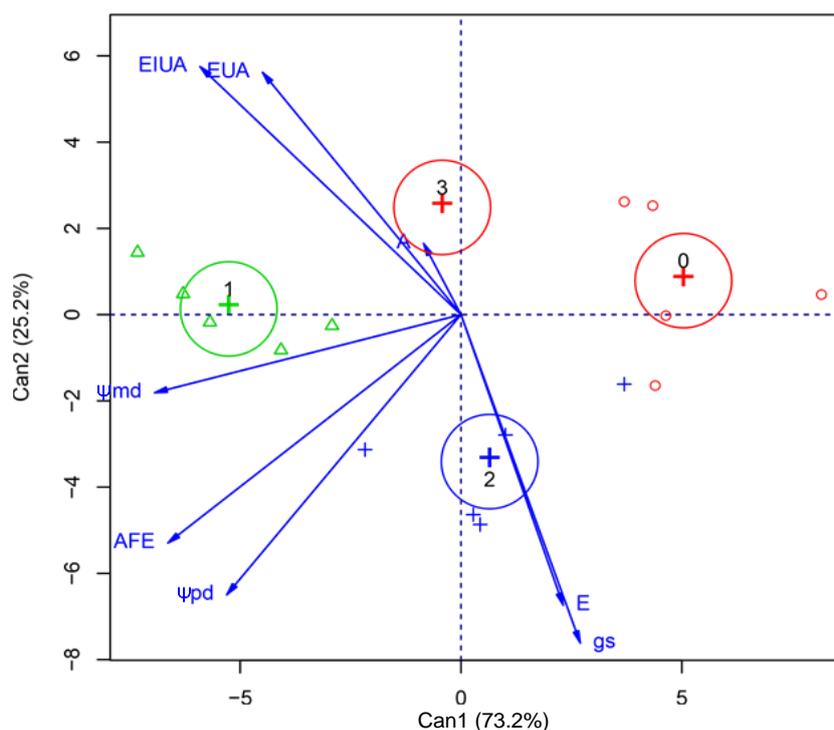


Figura 13. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis fisiológicas de *Genipa americana*, com diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. 0, 1, 2 e 3 = doses de hidrogel (g L^{-1}); AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; EIUUA = eficiência intrínseca do uso da água.

Dentre todas as variáveis analisadas, as que apresentaram correlações fortes ($r_{ij} \leq |0,7|$) com as doses de hidrogel incorporadas ao substrato foram H, MSA, A, P, K, Cu e Mn (Figura 14), sendo as correlações com P e Mn negativas. As variáveis morfológicas, nutricionais e fisiológicas das mudas também foram influenciadas pelos atributos do substrato (Figura 14). Todas as variáveis morfológicas e os teores de nutrientes, exceto S e IQD, apresentaram correlações positivas fortes com pelo menos um atributo do substrato (Figuras 14A e 14C). Dentre as variáveis fisiológicas, apenas AFE, A, E, ψ_{pd} e ψ_{md} apresentaram correlações fortes com os atributos do substrato (Figura 14B).

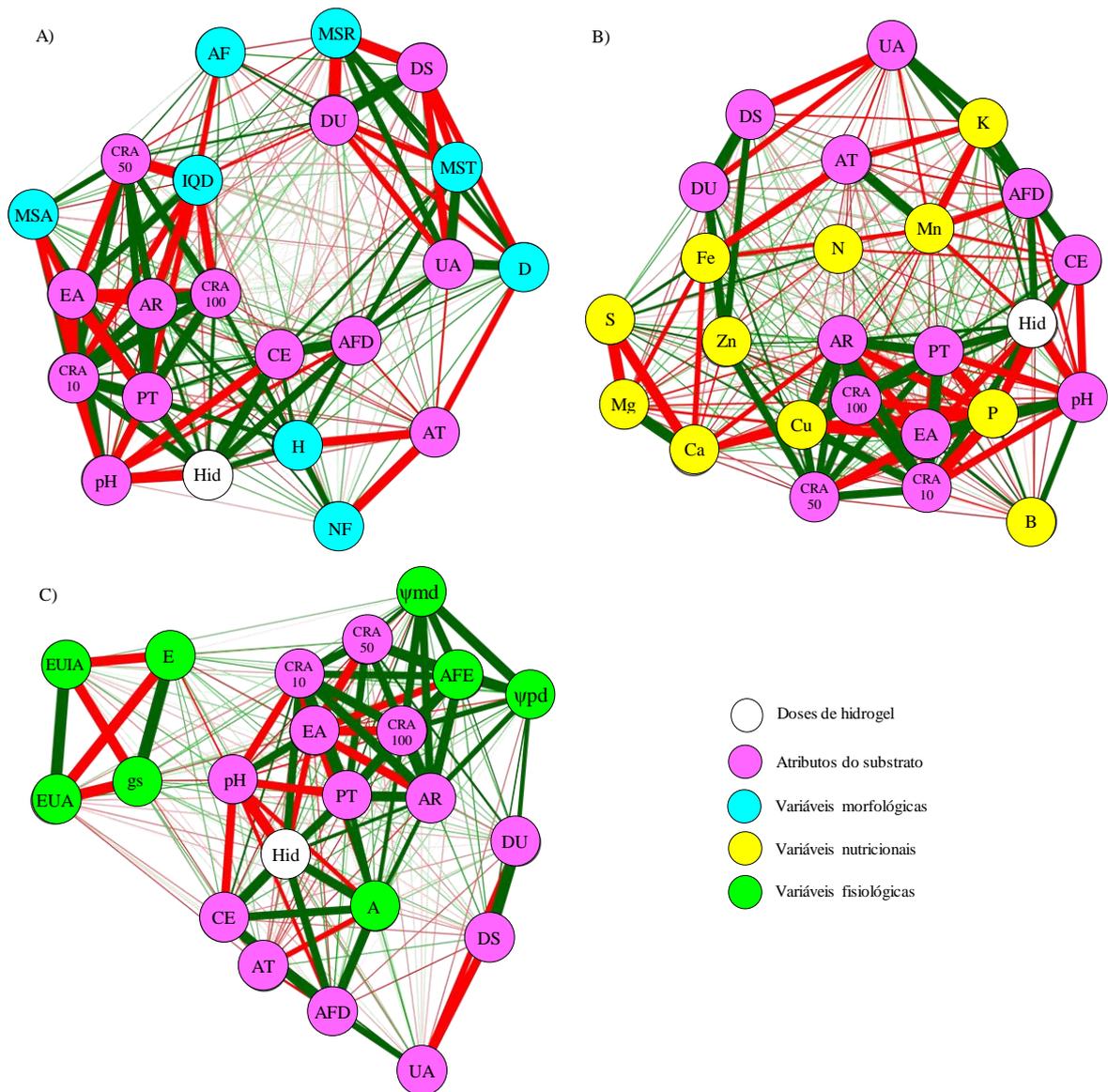


Figura 14. Redes de correlações entre as doses de hidrogel, atributos do substrato e variáveis obtidas em mudas de *Genipa americana* com hidrogel incorporado ao substrato. O comprimento das linhas indica a intensidade das correlações. Linhas verdes indicam correlações positivas e linhas vermelhas negativas. Hid = doses de hidrogel; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; UA = umidade atual; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10, CRA50 e CRA100 = capacidade de retenção de água a 10, 50 e 100 cm, respectivamente; H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; AF = área foliar total; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro; AFE = área foliar específica; ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã; ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia; A = taxas de assimilação líquida de carbono; gs = condutância estomática; E = transpiração; EUA = eficiência do uso da água; EUIA = eficiência intrínseca do uso da água.

4. DISCUSSÃO

A incorporação do hidrogel ao substrato proporcionou aumentos na qualidade das mudas de mogno e jenipapo. As espécies responderam de forma diferenciada às doses de hidrogel, sendo a dose de 1 g L⁻¹ mais eficiente para a maioria das variáveis morfológicas no mogno e a dose de 3 g L⁻¹ para o jenipapo. Na literatura ainda não há relatos de uso do hidrogel na produção de mudas dessas espécies, porém outros estudos também comprovaram ganhos na qualidade de mudas em outras espécies florestais, como *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus citriodora*, *Pinus caribaea*, *Araucaria cunninghamii*, *Melia volkensii*, *Grevillea robusta*, *Azadirachta indica*, *Maesopsis eminii* e *Terminalia superba* (ORIKIRIZA et al., 2009), *Picea abies*, *Pinus sylvestris* e *Fagus sylvatica* (ORIKIRIZA et al., 2013), *Corymbia citriodora* (BERNARDI et al., 2012; AZEVEDO et al., 2016), *Pinus pinaster* (LIU et al., 2013), *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* (AZEVEDO et al., 2015), *Handroanthus ochraceus* (MEWS et al., 2015), *Eucalyptus dunnii* (NAVROSKI et al., 2015a, 2015b, 2016a, 2016c), *Aspidosperma parvifolium* (MENEGATTI et al., 2017), *Ulmus pumila* e *Acer saccharinum* (KARGAR et al., 2017).

A maioria desses autores atribuiu a melhoria da qualidade das mudas às mudanças promovidas pelo hidrogel nas características físicas e químicas dos substratos. No presente estudo, as alterações do substrato em respostas às doses de hidrogel foram semelhantes às observadas por outros autores (MARTYN; SZOT, 2001; NAVROSKI et al., 2015a, 2015b, 2016a, 2016b). Esse produto reduziu o espaço de aeração e aumentou a porosidade do substrato permitindo o maior armazenamento e disponibilidade de água às mudas (Tabela 1).

O aumento de PT (até 8,5%) e redução de EA (até 22,9%) em função das doses de hidrogel, provavelmente ocorreu devido ao preenchimento dos maiores poros no substrato com a expansão dos grânulos do hidrogel após a sua hidratação (NAVROSKI et al., 2015a, 2016a, 2016b). As alterações desses atributos em função das doses de hidrogel foram benéficas às mudas de ambas as espécies (Figuras 7A e 14A).

O aumento das doses de hidrogel aumentou a retenção (até 28,7%) e disponibilidade de água no substrato (até 23,0%) para as mudas, possibilitando o incremento da MSR do mogno, enquanto que no jenipapo esses atributos promoveram melhorias em uma quantidade maior de variáveis (H, NF, AF e MSA) (Figuras 7A e 14A). Esses resultados demonstram que o efeito do hidrogel sobre o crescimento das mudas varia de acordo com as necessidades específicas de cada espécie e pode ser reflexo de suas estratégias de adaptação às condições

hídricas (ORIKIRIZA et al., 2009, 2013; AZEVEDO et al., 2016). Em geral, o jenipapo ocorre naturalmente em formações florestais situadas em várzeas úmidas ou encharcadas (VALERI; PUERTA; CRUZ, 2003; LORENZI, 2008), enquanto que, o mogno ocorre em áreas bem drenadas, de terra firme (LORENZI, 2008). Isso explica que o jenipapo tolera melhor solos encharcados, como os promovidos pela dose de hidrogel mais elevada. Porém, nessa espécie, o IQD indicou que a utilização do hidrogel reduziu a qualidade das mudas, não sendo um índice adequado para representar a qualidade das mesmas, uma vez que as demais variáveis foram maiores na presença do hidrogel.

A adição do hidrogel também alterou o pH (redução de 5% na maior dose) e a CE (aumento de 33% na maior dose) do substrato (Tabela 1), refletindo no crescimento das mudas (Figuras 7A e 14A). Os efeitos dos hidrogéis sobre o pH e a CE dos solos são diferentes e podem variar em função do tipo, dos materiais sintéticos, da estrutura química do hidrogel e das características físicas e químicas dos solos (BAI et al., 2010; SHAHID et al., 2012; FAN et al., 2015). Esses atributos do substrato estão diretamente relacionados à disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas (BERNERT et al., 2015), o que pode ter refletido nos teores foliares de macro e micronutrientes das espécies estudadas.

Os teores de nutrientes foliares das mudas estão relacionados às mudanças promovidas pelo hidrogel no substrato (Figura 7B e 14B). Para ambas as espécies, K foi o nutriente com maior teor foliar em todas as doses de hidrogel e seus valores aumentaram conforme foram acrescidas as doses (aumento máximo de 11,6% para o mogno e 9,4% para o jenipapo). Isso pode ter sido favorecido pela composição do hidrogel utilizado no presente trabalho. A substituição do Na pelo K na molécula polimérica dos hidrogéis agrícolas comercializados atualmente traz vantagens nutricionais às plantas (AZEVEDO et al., 2006). Para Taylor e Halfacre (1986), o aumento dos níveis de K em plantas de *Ligustrum lucidum* cultivadas com hidrogel foi atribuído ao aumento da absorção do K que constituía a molécula do hidrogel.

Outro fator, que pode ter contribuído com o aumento dos teores foliares de K e de outros nutrientes, foi a redução da lixiviação dos nutrientes do substrato com a presença do hidrogel. Ao avaliar o efeito do hidrogel na redução das perdas de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo, Fagundes et al. (2015) observaram que a lixiviação de N, K, Ca e Mg nos substratos, diminuiu conforme o aumento das doses de hidrogel, não influenciando porém, na lixiviação de P. Esses autores sugerem que a não influência das doses do hidrogel, para esse nutriente, pode ser devido ao fato do P ser um nutriente pouco móvel, ou seja, mesmo sem o hidrogel ele fica aderido ao substrato até que

seja disponibilizado para a planta. Isso justifica a não influência do hidrogel sobre os teores de P em ambas as espécies avaliadas no presente estudo.

Para os demais nutrientes, as espécies responderam de forma diferenciada às doses de hidrogel. De forma geral, as doses de 2 g L⁻¹ e 3 g L⁻¹ promoveram ganhos na maioria dos teores de nutrientes foliares no mogno (Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e B). Apenas N e Mn apresentaram redução dos seus teores na presença do hidrogel (Figuras 3 e 4). Já para o jenipapo, o hidrogel promoveu redução nos teores de Ca, Mg e Mn, enquanto que os demais nutrientes apresentaram teores mais elevados, principalmente nas doses de 1 g L⁻¹ e 2 g L⁻¹. Cabe ressaltar que, nem sempre, o aumento dos teores de nutrientes foliares com a incorporação do hidrogel aos substratos, foi refletida no crescimento das mudas.

Na literatura, poucos trabalhos avaliaram a influência de doses de hidrogel nos teores nutricionais de mudas de espécies florestais. Navroski et al. (2015b) constataram que, de uma forma geral, o hidrogel proporcionou maiores teores de macronutrientes em mudas de *Eucalyptus dunnii*, refletindo em sua maior qualidade. Porém, esses autores observaram que a utilização do hidrogel reduziu os teores de micronutrientes. Liu et al. (2013) verificaram que o hidrogel associado à adubação, promoveu maior absorção de N, P e K, refletindo no aumento da biomassa aérea e radicular de mudas de *Pinus pinaster*. Bartieres et al. (2016) verificaram que o hidrogel aumentou a disponibilidade de P e K no solo, promovendo maior altura e diâmetro do caule, bem como a elevação dos teores de P e K na parte aérea de mudas clonais de eucalipto em campo. As diferentes respostas dos teores de macro e micronutrientes, em relação às doses de hidrogel, podem estar relacionadas às necessidades nutricionais intrínsecas de cada espécie e ao sistema de produção adotado (AZEVEDO et al., 2016). Assim, se as condições de cultivo são adequadas, sem que ocorram estresses às plantas, cada espécie irá responder conforme sua necessidade e estágio de desenvolvimento.

Quando as mudas de ambas as espécies foram submetidas à suspensão da irrigação, as propriedades físicas do substrato com a incorporação do hidrogel, permitiram minimizar o estresse hídrico de ambas as espécies, mantendo os potenciais hídricos do substrato (ψ_{pd}), da planta (ψ_{md}) e as trocas gasosas mais elevados (Figuras 7 C e 14 C). Esse comportamento também foi verificado para mudas de outras espécies arbóreas (ARBONA et al., 2005; CHIRINO; VILAGROSA; VALLEJO, 2011; JAMNICKÁ et al., 2013; FERREIRA et al., 2014). Esses resultados podem ser explicados pelo retardo na perda de água do substrato ocasionado pela adição do hidrogel, o que permite elevar a capacidade de campo e reduzir o ponto de murcha permanente, amenizando assim os efeitos do déficit hídrico (AKHTER et al., 2004; ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; COELHO JUNIOR et al., 2008;

CHIRINO; VILAGROSA; VALLEJO, 2011; JAMNICKÁ et al., 2013; MONTESANO et al., 2015; FELIPPE et al., 2016).

A escassez de água no solo faz com que as plantas estabeleçam estratégias para minimizar as necessidades fisiológicas, como transpiração e fotossíntese, para sobreviver com perda mínima do conteúdo de água (TAIZ et al., 2017). Na literatura há relatos da ausência de efeito do hidrogel sobre o potencial hídrico e as trocas gasosas em situações com alta disponibilidade hídrica (ARBONA et al., 2005; JAMNICKÁ et al., 2013; FERREIRA et al., 2014).

Quanto à EUA e EIUA, as espécies se comportaram de forma diferenciada. O mogno apresentou a maior eficiência na ausência do hidrogel, ou seja, na menor disponibilidade hídrica. Quanto menor a disponibilidade de água menor também será o grau de abertura estomática para reduzir a perda de água, conseqüentemente, a EUA é maior mantendo o mínimo de equilíbrio hídrico, mesmo com a limitação da assimilação do CO₂ (KERBAUY, 2008). Esses resultados são contrários aos obtidos em mudas de *Fagus sylvatica* sob déficit hídrico, que mantiveram a EUA mais elevada com a presença do hidrogel no substrato (0,3%) (JAMNICKÁ et al., 2013).

Já para o jenipapo, a maior deficiência hídrica no substrato com a diminuição das doses de hidrogel não causou redução para EUA e EIUA, mesmo as trocas gasosas sendo menores. Isso indica que essa espécie apresentou maior regulação das perdas de água em função do ganho de carbono em diferentes situações hídricas. Esses resultados corroboram os de Silva et al. (2004), que verificaram que a EUA em mudas de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*, praticamente, não variou, quando submetidas a três diferentes quantidades de água no solo, indicando ser uma característica das espécies.

Os resultados do presente estudo demonstraram que a incorporação do hidrogel promoveu alterações nos atributos do substrato, principalmente daqueles relacionados à retenção e disponibilidade de água. De forma geral, isso refletiu na maior qualidade morfológica e teores de macro e micronutrientes foliares das mudas de ambas as espécies. Além disso, em situações de restrição hídrica, o hidrogel foi capaz de amenizar os efeitos do estresse hídrico, mantendo os processos fisiológicos mais adequados, em comparação com a não utilização do hidrogel.

Portanto, do ponto de vista silvicultural, a incorporação do hidrogel ao substrato de produção de mudas florestais mostrou resultados bastante promissores. Além de ganhos no crescimento e qualidade das mudas, o hidrogel pode contribuir para amenizar os efeitos de eventuais estresses hídricos, como por exemplo, em situações em que ocorre falta de água

durante o processo produtivo das mudas, ou até mesmo no período pós-plantio em campo, permitindo que as plantas mantenham uma turgescência mais elevada por alguns dias, até que as condições hídricas voltem a ser favoráveis.

5. CONCLUSÕES

As alterações promovidas no substrato pela incorporação do hidrogel promoveram maior qualidade morfológica e teores de macro e micronutrientes foliares de mudas de *Swietenia macrophylla* e *Genipa americana*.

As espécies responderam de forma diferenciada ao hidrogel, sendo que as mudas de *Swietenia macrophylla* obtiveram melhores respostas entre as doses de 1 a 2 g L⁻¹ e mudas de *Genipa americana* entre 2 e 3 g L⁻¹.

O uso do hidrogel incorporado ao substrato permitiu que as mudas de ambas as espécies mantenham os processos fisiológicos mais adequados, reduzindo assim os danos provocados pelo estresse hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEDI-KOUPAI, J.; ASADKAZEMI, J. Effects of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. **Iranian Polymer Journal**, v. 15, n. 9, p. 715–725, 2006.
- AKHTER, J.; MAHMOOD, K.; MALIK, K. A.; MARDAN, A.; AHMAD, M.; IQBAL, M. M. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. **Plant Soil Environment**, v. 50, n. 10, p. 463–469, 2004.
- ARBONA, V.; IGLESIAS, D. J.; JACAS, J.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M.; GÓMEZ-CADENAS, A. Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. **Plant and Soil**, v. 270, n. 1, p. 73–82, 2005.
- AZEVEDO, G. T. O. S.; AZEVEDO, G. B.; SOUZA, A. M.; MEWS, C. L.; SOUSA, J. R. L. Effect of hydrogel doses in the quality of *Corymbia citriodora* Hill & Johnson Seedlings. **Nativa**, v. 4, n. 4, p. 244–248, 2016.
- AZEVEDO, G. T. O. S.; SOUZA, A. M.; AZEVEDO, G. B.; CERQUEIRA, P. H. A. Enraizamento de miniestacas de eucalipto com diferentes doses de polímero hidrorretentor incorporado ao substrato. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 773–780, 2015.
- AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; DALLACORT, R.; BERTONHA, L. C. Retenção de soluções de sulfatos por hidrogel de poliacrilamida. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 8, n. 1995, p. 287–290, 2006.

- BAI, W.; ZHANG, H.; LIU, B.; WU, Y.; SONG, J. Q. Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. **Soil Use and Management**, v. 26, p. 253–260, 2010.
- BARTIERES, E. M. M.; CARNEVALI, N. H. de S.; LIMA, E. D. S.; CARNEVALI, T. O.; MALLMANN, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 145, 2016.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M.; TEIXEIRA, J. P. F.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de planta**. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, 1983.
- BERNARDI, M. R.; SPEROTTO JUNIOR, M.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 67–74, 2012.
- BERNERT, M. R.; ESCHEMBAK, V.; JADOSKI, S. O.; LIMA, A. S.; MAGGI, M. F. Características do pH e condutividade elétrica no manejo de fertirrigação. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 8, n. 1, p. 80–87, 2015.
- BHERING, L. L. Rbio : A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187–190, 2017.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. New York, USA: Springer-Verlag, 1979.
- CHIRINO, E.; VILAGROSA, A.; VALLEJO, V. R. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. **Plant and Soil**, v. 344, n. 1, p. 99–110, 2011.
- COELHO JUNIOR, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; CORREA, M. M.; WANDERLEY, R. A.; COELHO JÚNIOR, J. M.; FIGUEREDO, J. L. C. Efeito do polímero hidratassolo sobre propriedades físico-hídricas de três solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 253–259, 2008.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa-MG: Imprensa Universitária - UFV, 1994.
- CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 507–516, 2005.
- DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. Emergência e crescimento inicial da canafístula em diferentes substratos e métodos de superação de dormência. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 65–71, 2012.
- EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEIMEN, F. E. Polymer Applications in Agriculture. **Biokemistri**, v. 23, n. 2, p. 81–89, 2011.
- EL-ASMAR, J.; JAAFAR, H.; BASHOUR, I.; FARRAN, M. T.; SAOUD, I. P. Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 45, n. 7, p. 1–9, 2017.
- EPSKAMP, S.; CRAMER, A. O. J.; WALDORP, L. J.; SCHMITTMANN, V. D.; BORSBOOM, D. qgraph : Network Visualizations of Relationships in Psychometric Data. **Journal of Statistical Software**, v. 48, n. 4, p. 1–18, 2012.
- FAGUNDES, M. C. P.; CRUZ, M. C. M. D. C. M.; DE CARVA-LHO, R. P.; DE OLIVEIRA, J.; SOARES, B. C.; CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, J.; SOARES, B. C. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas

de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 121–129, 2015.

FAN, R.; LUO, J.; YAN, S.; ZHOU, Y.; ZHANG, Z. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. **Pedosphere**, v. 25, n. 5, p. 737–748, out. 2015.

FELIPPE, D.; NAVROSKI, M. C.; SAMPIETRO, J. A.; FRIGOTTO, T.; ALBUQUERQUE, J. A.; MOTA, C. S.; PEREIRA, M. O. Efeito do hidrogel no crescimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* submetidas a diferentes frequências de irrigação. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 215–225, 2016.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos**. 2003. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

FERREIRA, E. A.; SILVA, V. A.; SILVA, E. A.; SILVEIRA, H. de Re. O. Eficiência do hidrogel e respostas fisiológicas de mudas de cultivares apirênicas de citros sob déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 158–165, 2014.

FRUCHTERMAN, T. M. J.; REINGOLD, E. M. Graph drawing by force-directed placement. **Software: Practice and Experience**, v. 21, n. 11, p. 1129–1164, 1991.

HAN, Y.; YU, X.; YANG, P.; LI, B.; XU, L.; WANG, C. Dynamic study on water diffusivity of soil with super-absorbent polymer application. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 1, p. 289–296, 2013.

JAMNICKÁ, G.; DITMAROVÁ, L.; KURJAK, D.; KMEŤ, J.; PŠIDOVÁ, E.; MACKOVÁ, M.; GÖMÖRY, D.; STŘELCOVÁ, K. The soil hydrogel improved photosynthetic performance of beech seedlings treated under drought. **Plant, Soil and Environment**, v. 59, n. 10, p. 446–451, 2013.

KARGAR, M.; SURESH, R.; LEGRAND, M.; JUTRAS, P.; CLARK, O. G.; PRASHER, S. O. Reduction in Water Stress for Tree Saplings Using Hydrogels in Soil. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 5, n. 1, p. 27–39, 2017.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

LANDIS, T. D.; HAASE, D. L. Applications of Hydrogels in the Nursery and During Outplanting. **Forest and Conservation Nursery Associations-2011**, n. PMRS-P-68, p. 53–58, 2012.

LIU, F.; MA, H.; XING, S.; DU, Z.; MA, B.; JING, D. Effects of super-absorbent polymer on dry matter accumulation and nutrient uptake of *Pinus pinaster* container seedlings. **Journal of Forest Research**, v. 18, n. 3, p. 220–227, 2013.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Vol.1, 5ª ed. [s.l.] Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2008.

MALDONADO-BENITEZ, K. R.; ALDRETE, A.; LÓPEZ-UPTON, J.; VAQUERA-HUERTA, H.; CETINA-ALCALÁ, V. M. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. **Agrociencia**, v. 45, n. 3, p. 389–398, 2011.

MAPA. **Instrução Normativa SDA Nº 17. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.

MARTYN, W.; SZOT, P. Influence of superabsorbents on the physical properties of horticultural substrates. **International agrophysics**, v. 15, p. 87–94, 2001.

- MENEGATTI, D. R.; NAVROSKI, M. C.; GUOLLO, K.; FIOR, C. S.; SOUZA, A. G.; POSSENTI, J. C. Formação de mudas de guatambu em substrato com hidrogel e fertilizante de liberação controlada. **Revista Espacios**, v. 38, n. 22, p. 35, 2017.
- MEWS, C. L.; SOUSA, J. R. L.; AZEVEDO, G. T. O. S.; SOUZA, A. M. Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 107–116, 2015.
- MILANI, P.; FRANÇA, D.; BALIEIRO, A. G.; FAEZ, R. Polymers and its applications in agriculture. **Polímeros**, v. 27, n. 3, p. 256–266, 2017.
- MONTEIRO NETO, J. L. L.; ARAÚJO, W. F.; CHAGAS, E. A.; DA SILVA SIQUEIRA, R. H.; OLIVEIRA, G. A.; RODRIGUEZ, C. A. Hydrogels in brazilian agriculture. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 4, p. 347, 3 out. 2017.
- MONTESANO, F. F.; PARENTE, A.; SANTAMARIA, P.; SANNINO, A.; SERIO, F. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 451–458, 2015.
- MORGADO, I. F.; CARNEIRO, J. G. A.; LELES, P. S. S.; BARROSO, D. G. Nova metodologia de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden utilizando resíduos prensados como substrato. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p. 27–35, 2000.
- NARJARY, B.; AGGARWAL, P.; SINGH, A.; CHAKRABORTY, D.; SINGH, R. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. **Geoderma**, v. 187–188, p. 94–101, 2012.
- NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Influência do polímero hidrotentor na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes manejos hídricos. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 108–113, 2014.
- NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, Á. L. P.; PEREIRA, M. O. Redução da adubação e melhoria das características do substrato na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1155–11–65, 2016a.
- NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; FIOR, C. S.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, Á. L. P.; PEREIRA, M. O. Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 467–476, 2015a.
- NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M. H.; PEREIRA, M. O.; FIOR, C. S.; DE OLIVEIRA PEREIRA, M.; FIOR, C. S. Influência do polímero hidrotentor nas características do substrato comercial para produção de mudas florestais. **Interciencia**, v. 41, n. 5, p. 357–361, 2016b.
- NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; REINIGER, L. R. S.; FIOR, C. S.; SCHAFER, G.; PEREIRA, M. de O. Initial growth of seedlings of *Eucalyptus dunnii* maiden as influenced by the addition of natural polymer and farming substrates. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 627–637, 2016c.
- NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; REINIGER, L. R. S.; MUNIZ, M. F. B.; PEREIRA, M. O.; ARAÚJO, M. M.; REININGER, L. R. S.; MUNIZ, M. F. B.; PEREIRA, M. O. Influencia do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 315–328, 2015b.
- ORIKIRIZA, L. J. B.; AGABA, H.; EILU, G.; KABASA, J. D.; WORBES, M.; HÜTTERMANN, A. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils

- before and after water stress. **Journal of Environmental Protection**, v. 4, n. 1, p. 713–721, 2013.
- ORIKIRIZA, L. J. B.; AGABA, H.; TWEHEYO, M.; EILU, G.; KABASA, J. D.; HÜTTERMANN, A. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 37, n. 8, p. 615–620, 2009.
- SHAHID, S. A.; QIDWAI, A. A.; ANWAR, F.; ULLAH, I.; RASHID, U. Improvement in the water retention characteristics of sandy loam soil using a newly synthesized poly(acrylamide-co-acrylic acid)/AlZnFe 2O₄ superabsorbent hydrogel nanocomposite material. **Molecules**, v. 17, n. 8, p. 9397–9412, 2012.
- SHOOSHTARIAN, S.; ABEDI-KUPAI, J.; TEHRANIFAR, A. Evaluation of application of superabsorbent polymers in green space of Arid and Semi-Arid regions with emphasis on Iran. **Int. J. Forest, Soil and Erosion**, v. 1, n. 4, p. 258–269, 2012.
- SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; CARDOSO, A. A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 325–335, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6^a ed. [s.l.] Artmed, 2017.
- TAYLOR, K. C.; HALFACRE, R. G. The effect of hydrophylic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. **Horticulture Science**, v. 21, n. 5, p. 1159–1161, 1986.
- TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus**. 1995. Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- VALERI, S. V.; PUERTA, R.; CRUZ, M. C. P. Efeitos do fósforo do solo no desenvolvimento inicial de *Genipa americana* L. **Scientia Forestalis**, v. 1, n. 64, p. 69–77, 2003.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por estaquia e miniestaquia. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (Ed.). **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 50–60.
- YU, J.; SHI, J. G.; MA, X.; DANG, P. F.; YAN, Y. L.; MAMEDOV, A. I.; SHAINBERG, I.; LEVY, G. J. Superabsorbent polymer properties and concentration effects on water retention under drying conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 4, p. 889–901, 2017.

CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DE NÍVEIS DE ADUBAÇÃO E DOSES DE HIDROGEL EM MUDAS DE TAMBORIL E IPÊ ROXO

RESUMO

A demanda por desenvolvimento de tecnologias que envolvam a redução dos custos de produção e tempo necessário para formação das mudas florestais com qualidade tem levado pesquisadores a avaliarem as melhores alternativas de manejo. Dentre estas, o uso do hidrogel incorporado ao substrato têm mostrado resultados promissores na redução da adubação utilizada no processo produtivo. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de níveis de adubação e doses de hidrogel incorporados ao substrato para a produção de mudas de duas espécies florestais nativas (*Enterolobium contortisiliquum* e *Handroanthus heptaphyllus*). Foram produzidas mudas via sementes em tubetes de 55 cm³ preenchidos com o substrato comercial Tropstrato Florestal®. Ao substrato foram incorporados diferentes níveis da adubação de base comumente utilizada no viveiro (100%, 50% e 0%) e diferentes doses do hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹ de substrato), constituindo assim os tratamentos do experimento. Foram avaliados os atributos físicos e químicos do substrato de cada tratamento. Após 150 dias da semeadura foram avaliadas variáveis morfológicas e conteúdos nutricionais. Partes das mudas foram encaminhadas para laboratório, onde permaneceram sombreadas e com restrição hídrica por um período de 3 dias, sendo avaliado o potencial hídrico e as trocas gasosas. Os dados foram submetidos a análises univariadas, multivariadas e de correlação. A adubação influenciou principalmente os atributos químicos do substrato, enquanto que o hidrogel os atributos físicos, principalmente os relacionados à capacidade de retenção e disponibilidade de água. O uso do hidrogel não permitiu a redução da adubação utilizada no viveiro, porém potencializou seu uso, resultando em mudas de tamboril e ipê com maior crescimento e conteúdos nutricionais. O hidrogel não influenciou os processos fisiológicos das mudas, devido ao período de estresse não ser suficientemente longo. Maiores níveis de adubação proporcionaram maior fotossíntese e eficiência do uso da água em mudas de ipê.

Palavras-chave: produção de mudas; polímero hidroretentor; crescimento; conteúdo nutricional; *Enterolobium contortisiliquum*; *Handroanthus heptaphyllus*.

1. INTRODUÇÃO

A produção de mudas florestais de qualidade é uma atividade essencial para o sucesso de plantios florestais com fins comerciais e de conservação. Com isso, surge a demanda por desenvolvimento de tecnologias que envolvam a redução dos custos de produção no viveiro e garantam seu bom desempenho no campo (BERNARDI et al., 2012; NAVROSKI et al., 2016a). Várias técnicas adotadas no viveiro podem influenciar a qualidade e crescimento das mudas, bem como o tempo necessário para sua formação e os custos de produção.

Embora de caráter oneroso, a adubação constitui um fator indispensável para o crescimento das mudas (BERNARDI et al., 2012). Essa prática pode acelerar ou diminuir o crescimento da planta, alterar a composição nutritiva dos tecidos, tendo efeitos sobre os níveis de reserva, resistência ao estresse hídrico, frio e doenças, afetando todos os atributos de qualidade de uma muda florestal (OLIET et al., 1999). Sua eficiência depende de fatores como doses e fontes dos adubos utilizados, características físicas e químicas do substrato, disponibilidade hídrica, entre outros (NAVROSKI et al., 2016a).

Na produção de mudas florestais, geralmente os recipientes utilizados possuem volume limitado, o que contribui para a maior lixiviação de nutrientes do substrato devido ao maior fornecimento de água para manter a turgidez das mudas. Uma alternativa que permite a redução da lixiviação dos nutrientes é o uso do hidrogel incorporado ao substrato de produção das mudas (FAGUNDES et al., 2015).

Também conhecido como polímero hidroretentor, os hidrogéis são macromoléculas reticuladas com segmentos de grupos hidrofílicos que podem absorver e reter líquidos (BAI et al., 2010; LANDIS; HAASE, 2012; MONTEIRO NETO et al., 2017). Uma vez incorporado ao solo ou substrato, melhora suas propriedades físicas e químicas, principalmente na aeração e retenção e disponibilidade de água e nutrientes solúveis (BAI et al., 2010; NARJARY et al., 2012; JAMNICKÁ et al., 2013; NAVROSKI et al., 2015, 2016a; EL-ASMAR et al., 2017). Como resultado, o hidrogel reduz os efeitos do déficit hídrico (AKHTER et al., 2004; ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; CHIRINO; VILAGROSA; VALLEJO, 2011; JAMNICKÁ et al., 2013; NAVROSKI et al., 2014) e promove a maior absorção de nutrientes pelas plantas (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; LIU et al., 2013; FAGUNDES et al., 2015; BARTIERES et al., 2016; NAVROSKI et al., 2016d), contribuindo assim para o melhor crescimento das mesmas (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; LIU et al., 2013; ORIKIRIZA et al., 2013;

AZEVEDO et al., 2016). O uso do hidrogel também contribui para a redução das adubações adotadas no viveiro florestal (BERNARDI et al., 2012; NAVROSKI et al., 2016a).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de níveis de adubação e doses de hidrogel incorporados ao substrato para a produção de mudas de duas espécies florestais nativas (*Enterolobium contortisiliquum* e *Handroanthus heptaphyllus*). A hipótese deste trabalho foi que a utilização do hidrogel incorporado ao substrato altera seus atributos químicos e físicos e permite a redução da adubação utilizada no viveiro, sem afetar a qualidade das mudas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O experimento foi realizado no viveiro florestal da empresa Paisagem Nativa, localizada em Planaltina-DF, na rodovia DF 230, km 4,5, nas coordenadas 16°12'31" S e 48°44'26" W. O clima é do tipo Aw, segundo classificação de Köppen, caracterizado por duas nítidas estações: uma seca que dura de cinco a sete meses e outra úmida, com período chuvoso. A precipitação varia de 1.300 a 2.000 mm. As temperaturas médias oscilam entre 22 e 26 °C. Nos meses mais frios a média é de 20 °C, enquanto nos mais quentes chegam a atingir 36 °C. O experimento foi conduzido do período de dezembro de 2015 a maio de 2016.

2.2 PRODUÇÃO DAS MUDAS

Foram produzidas mudas via sementes de duas espécies florestais, o tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) e o ipê roxo (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos). Para a quebra de dormência, as sementes de tamboril foram mergulhadas em água quente (80 °C) por um minuto. Já as sementes de ipê foram mantidas em água a temperatura ambiente por 10 minutos antes de serem semeadas, para facilitar a embebição. Após esses procedimentos, as sementes foram semeadas em tubetes de 55 cm³, preenchidos com o substrato comercial Tropstrato Florestal®. Antes do preenchimento dos tubetes, ao substrato foram incorporados diferentes níveis da adubação de base comumente utilizada no viveiro e diferentes doses do hidrogel, constituindo assim os tratamentos do experimento.

A adubação de base comumente utilizada no viveiro foi composta por: 1,5 kg de Forthcote (adubo de liberação lenta N-P-K 15-9-12); 2,0 kg de superfosfato simples com yoorin; e 4,0 kg de composto orgânico (cama de frango), para cada 200 kg de substrato. Essa

composição foi considerada o nível de adubação de 100%, sendo utilizado também os níveis de 50% (metade da adubação comumente utilizada no viveiro) e 0% (sem adubação). As doses de hidrogel utilizadas foram 0, 1, 2 e 3 g L⁻¹ de substrato, incorporadas ao substrato em sua forma desidratada. Assim, o experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, composto por 12 tratamentos em esquema fatorial 3 x 4 (três níveis de adubação e quatro doses de hidrogel) e 4 blocos, sendo cada parcela composta por 10 mudas cada.

Após a semeadura, os tubetes foram acondicionados em bancadas suspensas de tela, com proteção tipo sombrite com 50% de sombreamento e irrigação por microaspersão quatro vezes ao dia, totalizando 12 mm. As mudas permaneceram nessas condições até completarem 150 dias após a semeadura (DAS), quando foram realizadas as avaliações finais do experimento.

2.3 COLETA DE DADOS

2.3.1 Atributos físico-químicos do substrato

Após a incorporação dos níveis de adubação e doses de hidrogel ao substrato foi coletada uma amostra para cada tratamento, para análise de seus atributos físicos e químicos. Os atributos avaliados foram: densidade em base úmida (DU), em kg m⁻³; densidade em base seca (DS), em kg m⁻³; porosidade total (PT), em %; espaço de aeração (EA), em %; água facilmente disponível (AFD), em %; água tamponante (AT), em %; água remanescente (AR), em %; capacidade de retenção de água a 10 e 50 cm (CRA10 e CRA50), em %; potencial hidrogeniônico (pH); e condutividade elétrica (CE), em mS cm⁻¹.

As análises foram realizadas no Laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, segundo metodologia estabelecida pela Instrução Normativa nº 17 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (FERMINO, 2003; MAPA, 2007).

2.3.2 Variáveis morfológicas

A qualidade morfológica das mudas foi avaliada aos 150 DAS, através das variáveis: altura da parte aérea (H), em cm; diâmetro do coleto (D), em mm; número de folhas (NF); massas secas da parte aérea (MSA), das raízes (MSR) e total (MST), em g; e Índice de Qualidade de Dickson (IQD = MST/[H/D+MSA/MSR]). As variáveis H, D e NF foram obtidas em todas as 10 mudas de cada parcela e as massas secas em 4 mudas.

A altura da parte aérea foi obtida com auxílio de uma régua, medindo-se desde a base da muda até a gema apical. O diâmetro do coleto foi medido com auxílio de um paquímetro digital, da marca Eletronic Digital Caliper, com precisão de 0,01 mm, na altura do substrato. O número de folhas foi contabilizado através da contagem direta. Os valores de massa seca foram determinados após a lavagem do sistema radicular para a retirada do substrato, sendo as mudas seccionadas na altura do coleto, visando separar o sistema radicular da parte aérea, com posterior secagem do material em estufa à 75°C, até obtenção da massa seca constante, e pesagem do material em balança analítica, com precisão de 0,001 g (BÖHM, 1979).

2.3.3 Conteúdo de macro e micronutrientes foliares

Após a secagem do material em estufa, a parte aérea das mudas, que tiveram a massa seca avaliada nos quatro blocos, foram moídas em moinho tipo Willey, formando uma única amostra por tratamento. Nessas 12 amostras foram determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B), conforme a metodologia proposta por Bataglia et al. (1983). As análises foram realizadas no laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. A partir desses teores, determinou-se o conteúdo dos nutrientes com base na massa seca multiplicada pelo teor do nutriente.

2.3.4 Variáveis fisiológicas

Após a obtenção das variáveis morfológicas no viveiro, duas mudas de cada parcela, em três dos quatro blocos, foram mantidas em condição de laboratório, com irrigações suspensas, por um período de três dias, quando então foram realizadas as avaliações fisiológicas. As respostas fisiológicas das mudas, aos níveis de adubação e às doses de hidrogel, foram avaliadas através das variáveis: potencial hídrico na antemanhã (PHAM), em MPa; potencial hídrico ao meio dia (PHMD), em MPa; assimilação líquida de carbono (A), em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; condutância estomática (gs), em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; transpiração (E), em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; e eficiência do uso da água (EUA), em $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$.

O potencial hídrico da muda na antemanhã e ao meio dia foram obtidos com o auxílio de uma bomba de pressão tipo Scholander. Essas análises foram realizadas em duas mudas distintas, uma vez que foi necessário seccioná-las na altura do coleto. As trocas gasosas (A, gs e E) foram quantificadas das 8:00 h às 11:00 h, com o auxílio de analisador de gás a infravermelho (IRGA) portátil (LICOR 6400XT, LiCOR, Nebraska, USA), em uma folha

completamente expandida, contada a partir do ápice, na muda em que foi avaliado o PHMD. O IRGA foi ajustado para trabalho com fluxo de $500 \mu\text{mol s}^{-1}$, concentração de CO_2 dentro da câmara de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$, temperatura ambiente e luz saturante artificial, com irradiância de $1.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tamboril e $1.500 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o ip\u00ea (determinadas pela curva de resposta \u00e0 luz para cada esp\u00e9cie). De posse desses dados, foi quantificada a efici\u00eancia do uso da \u00e1gua ($\text{EUA} = \text{A E}^{-1}$).

2.3.5 Procedimentos estat\u00edsticos

Para avaliar o efeito dos tratamentos sobre os atributos f\u00edsico-qu\u00edmicos do substrato e os conte\u00fados de macro e micronutrientes na parte a\u00e9rea das mudas foi utilizada an\u00e1lise multivariada de componentes principais, considerando-se os dados padronizados. O objetivo b\u00e1sico da an\u00e1lise de componentes principais \u00e9 obter vari\u00e1veis latentes que representam combina\u00e7\u00f5es lineares de um grupo de vari\u00e1veis sob estudo que s\u00e3o, por sua vez, correlacionadas (CHATFIELD; COLLINS, 1995; FERREIRA, 2008). Por meio da dispers\u00e3o dos escores das componentes principais consideradas foi poss\u00edvel avaliar a similaridade ou dissimilaridade dos tratamentos e assim agrup\u00e1-los em subgrupos definidos, ou seja, os mais semelhantes pertencem ao mesmo grupo e os tratamentos que s\u00e3o heterog\u00eanos entre si, pertencem a grupos distintos (FERREIRA, 2008; MINGOTI, 2008; LOB\u00c3O et al., 2010).

Depois de verificada a homogeneidade e normalidade dos dados, as vari\u00e1veis morfol\u00f3gicas e fisiol\u00f3gicas das mudas foram submetidas \u00e0 an\u00e1lise de vari\u00e2ncia ($\alpha=0,05$). Os n\u00edveis de aduba\u00e7\u00e3o foram considerados como fator qualitativo, sendo as m\u00e9dias comparadas pelo teste de Skott-Knott ($\alpha=0,05$). As doses de hidrogel foram consideradas fator quantitativo, sendo realizada a an\u00e1lise de vari\u00e2ncia da regress\u00e3o polinomial ($\alpha=0,05$) e selecionada a regress\u00e3o significativa de mais alto grau ($p<0,05$).

De forma complementar, os tratamentos foram agrupados, por meio da an\u00e1lise de vari\u00e1veis can\u00f4nicas. Essa an\u00e1lise \u00e9 um procedimento estat\u00edstico multivariado, que avalia o grau de similaridade entre elementos amostrais (tratamentos), levando em considera\u00e7\u00e3o a matriz de covari\u00e2ncia residual, ou seja, a varia\u00e7\u00e3o entre as repeti\u00e7\u00f5es, al\u00e9m da m\u00e9dia das vari\u00e1veis. O objetivo principal dessa an\u00e1lise foi simplificar a estrutura dos dados, de forma que a dispers\u00e3o entre os tratamentos representados por um conjunto p-dimensional (onde p representa o n\u00famero de vari\u00e1veis avaliadas), possa ser avaliada por um conjunto bidimensional de f\u00e1cil interpreta\u00e7\u00e3o, permitindo o agrupamento entre os tratamentos

(CRUZ; REGAZZI, 1994; TRUGILHO, 1995). Essa análise foi realizada separadamente para cada grupo de variáveis (morfológicas e fisiológicas).

Os níveis de adubação e doses de hidrogel foram correlacionados com as médias ou valores das variáveis analisadas em cada tratamento (atributos dos substratos e variáveis morfológicas, fisiológicas e nutricionais das mudas). A correlação de Pearson $|r_{ij}|$ entre esses elementos foi representada por redes de correlações (FRUCHTERMAN; REINGOLD, 1991). Nestas redes, as variáveis (nós) são conectadas por linhas, que possuem espessura proporcional ao valor absoluto da correlação entre as mesmas. O comprimento das linhas indica a intensidade das correlações, de maneira que, linhas mais curtas representam correlações mais fortes (EPSKAMP et al., 2012). A espessura das linhas foi controlada aplicando um valor de corte igual 0,7, o que significa que apenas $|r_{ij}| \geq 0,7$ têm as suas arestas em destaque. As correlações positivas foram destacadas na cor verde, enquanto as negativas foram representadas em vermelho. As redes de correlações foram apresentadas separadamente, entre grupos de variáveis, a fim de permitir uma melhor visualização dos resultados.

Todas as análises foram realizadas com auxílio do *software* Rbio (BHERING, 2017), sendo cada espécie avaliada separadamente.

3. RESULTADOS

3.1 SUBSTRATO

A incorporação de diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel ao substrato modificaram seus atributos químicos e físicos (Tabela 1 e Figura 1A e 1B). Quando considerados os atributos químicos do substrato, a análise de componentes principais revelou que a adubação foi o fator determinante na formação dos três grupos de tratamentos (Figura 1A). Os tratamentos sem adubação foram agrupados de forma distinta aos demais tratamentos e influenciaram positivamente os valores de pH. Já os tratamentos compostos pelos níveis de adubação de 50% e 100% favoreceram a CE. O efeito do hidrogel sobre essa variável foi verificado apenas em sua maior dose, em combinação com 100% da adubação, sendo este tratamento isolado dos demais.

Tabela 1. Análise física e química do substrato Tropstrato Florestal® com incorporação de diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel.

NA	H	pH	CE	DU	DS	PT	EA	AFD	AT	AR	CRA ₁₀	CRA ₅₀
0	0	5,9	0,5	434,1	195,2	89,5	39,8	18,2	3,0	28,5	49,7	31,5
0	1	5,9	0,6	436,2	197,3	89,6	33,8	20,2	3,0	32,6	55,8	35,6
0	2	5,9	0,7	440,2	195,4	84,7	32,4	16,5	0,9	34,9	52,3	35,9
0	3	6,0	0,7	426,5	189,6	81,2	34,5	8,5	1,3	37,0	46,7	38,2
50	0	5,7	1,1	459,8	200,3	90,1	41,1	17,7	2,7	28,5	49,0	31,2
50	1	5,7	1,0	447,5	194,9	90,1	35,2	20,7	2,9	31,3	54,9	34,2
50	2	5,7	1,0	449,4	193,1	87,4	33,2	18,0	1,6	34,5	54,2	36,2
50	3	5,6	1,2	430,1	203,7	81,1	35,9	8,5	0,3	36,4	45,2	36,7
100	0	5,7	1,2	442,5	198,0	90,5	41,0	17,4	2,9	29,2	49,5	32,1
100	1	5,5	1,3	435,1	190,6	91,2	38,4	17,7	2,4	32,8	52,9	35,2
100	2	5,5	1,3	440,1	195,6	83,5	33,1	14,5	0,4	35,6	50,4	35,9
100	3	5,4	1,9	441,1	215,0	79,4	34,6	9,5	1,3	34,0	44,8	35,3
Média dos atributos para os níveis de cada fator												
0		5,9	0,6	434,3	194,3	86,2	35,1	15,8	2,1	33,2	51,1	35,3
50		5,6	1,1	446,7	198,0	87,2	36,4	16,2	1,9	32,7	50,8	34,6
100		5,5	1,4	439,7	199,8	86,2	36,8	14,8	1,7	32,9	49,4	34,6
	0	5,8	0,9	445,4	197,8	90,0	40,6	17,8	2,9	28,7	49,4	31,6
	1	5,7	0,9	439,6	194,3	90,3	35,8	19,5	2,7	32,2	54,5	35,0
	2	5,7	1,0	443,2	194,7	85,2	32,9	16,3	1,0	35,0	52,3	36,0
	3	5,6	1,3	432,6	202,8	80,6	35,0	8,8	1,0	35,8	45,6	36,7

NA = nível de adubação (%); H = dose de hidrogel (g L⁻¹); pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica (mS cm⁻¹); DU = densidade em base úmida (kg m⁻³); DS = densidade em base seca (kg m⁻³); PT = porosidade total (%); EA = espaço de aeração (%); AFD = água facilmente disponível (%); AT = água tamponante (%); AR = água remanescente (%); CRA₁₀ e CRA₅₀ = capacidade de retenção de água a 10 e 50 cm, respectivamente (%).

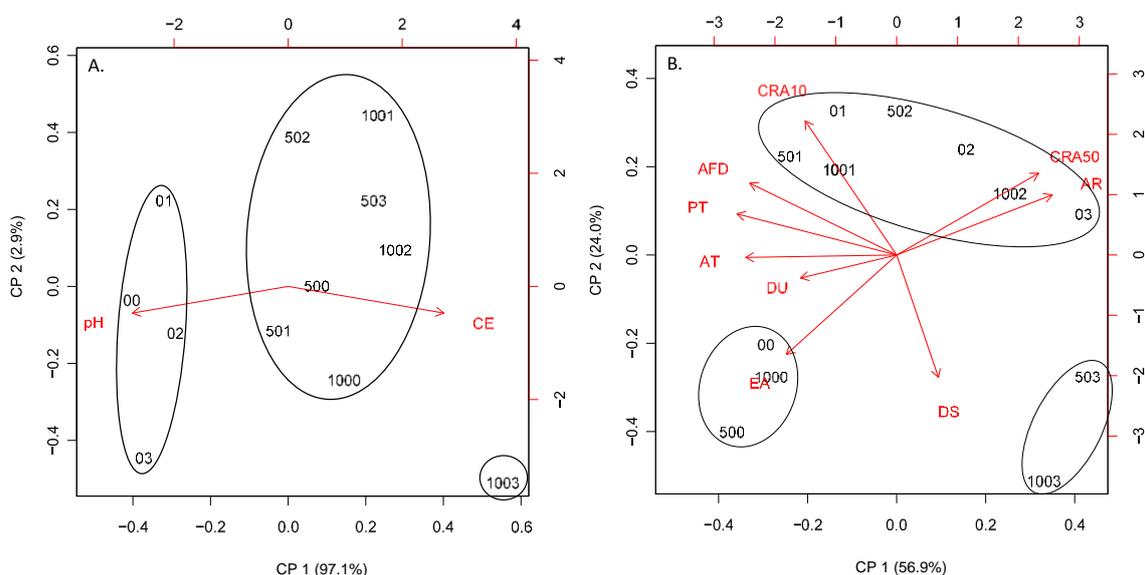


Figura 1. Diagrama de ordenação (*biplot*) produzido pela análise de componentes principais com base nos atributos químicos (A) e físicos (B) do substrato Tropstrato Florestal® com incorporação de diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).

Ao contrário do observado para os atributos químicos do substrato, o hidrogel foi o fator determinante no agrupamento dos tratamentos quanto aos seus atributos físicos (Figura 1B). O primeiro grupo foi formado pelos tratamentos sem hidrogel, que favoreceram o EA. Os tratamentos compostos pelas doses de hidrogel de 1 e 2 g L⁻¹, independentemente do nível de adubação, e pela dose de 3 g L⁻¹, sem adubação, favoreceram principalmente os atributos relacionados à retenção de água no substrato (CRA10, CRA50 e AR). Já os tratamentos com 3 g L⁻¹ associados a 50% e 100% da adubação formaram um grupo distinto e influenciaram principalmente a DS.

Quando avaliada a correlação entre os fatores níveis de adubação e doses de hidrogel com os atributos físico-químicos dos substratos (Figura 2), são confirmados os resultados obtidos nas análises de componentes principais, em que a adubação exerceu maior influência nos atributos químicos, enquanto que o hidrogel influenciou as propriedades físicas. Os níveis de adubação apresentaram correlações fortes negativas com o pH e positivas com a CE, não apresentando correlações fortes com os atributos físicos dos substratos. Por sua vez, as doses de hidrogel apenas apresentaram correlações fortes e positivas com AR e CRA50 e negativas com EA, PT, AFD e AT.

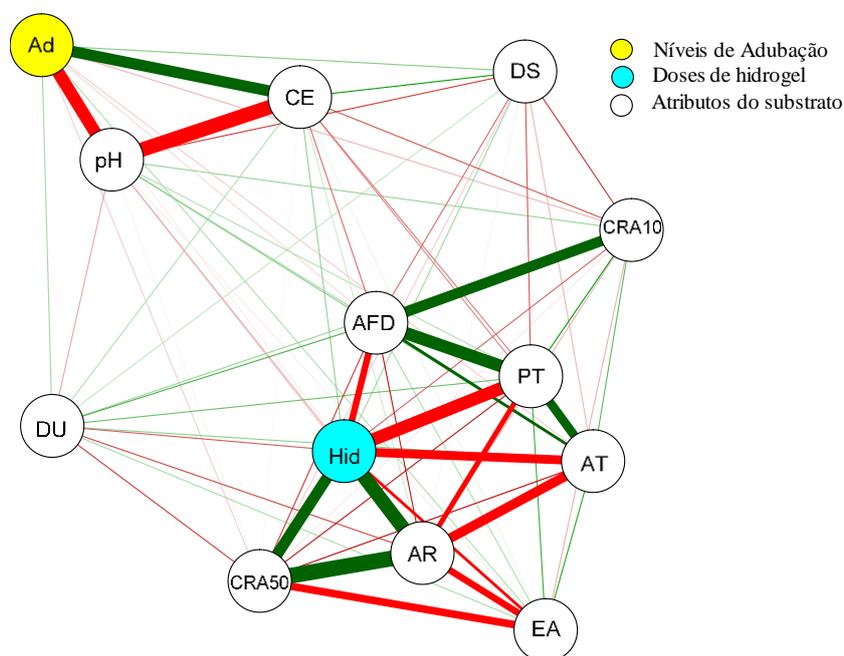


Figura 2. Rede de correlações entre níveis de adubação, doses de hidrogel e atributos químicos e físicos do substrato Tropstrato Florestal®. Ad = níveis de adubação; Hid = doses de hidrogel; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10 e CRA50 = capacidade de retenção de água a 10 e 50 cm, respectivamente.

3.2 *Enterolobium contortisiliquum* (TAMBORIL)

Todas as variáveis morfológicas das mudas de tamboril foram influenciadas pelos níveis de adubação isoladamente e as doses de hidrogel exerceram efeito apenas nas variáveis H, MSR e MST. Não foram observadas interações significativas entre os fatores. Todas as variáveis morfológicas apresentaram pior desempenho na ausência da adubação e, na maioria das variáveis, a adubação de 50% e 100% não se diferenciaram (Tabela 3). A presença do hidrogel no substrato também melhorou as características das mudas de tamboril (Figura 3). A MSR e MST apresentaram comportamento linear crescente conforme o aumento das doses de hidrogel, com incrementos médios de 30,5% e 28,2% na maior dose, em relação à não utilização do hidrogel. Já a H apresentou comportamento quadrático positivo, com valor máximo obtido na dose 2,1 g L⁻¹, com incremento de 18,5% nessa dose. Mesmo que as demais variáveis não tenham apresentado diferenças significativas, o uso do hidrogel promoveu incrementos médios de até 6,9%, 21,2%, 16,2% para NF, MSA e IQD, respectivamente.

Tabela 2. Variáveis morfológicas de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas com diferentes níveis de adubação.

Nível de adubação	H (cm)	D (mm)	NF	MSA (g)	MSR (g)	MST(g)	IQD
0%	14,81b	3,19c	3,57b	0,65c	1,94b	2,58b	0,54b
50%	15,99a	3,37b	4,64a	0,86b	2,97a	3,83a	0,72a
100%	16,31a	3,57a	4,53a	0,97a	2,86a	3,83a	0,81a

H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferenciam pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

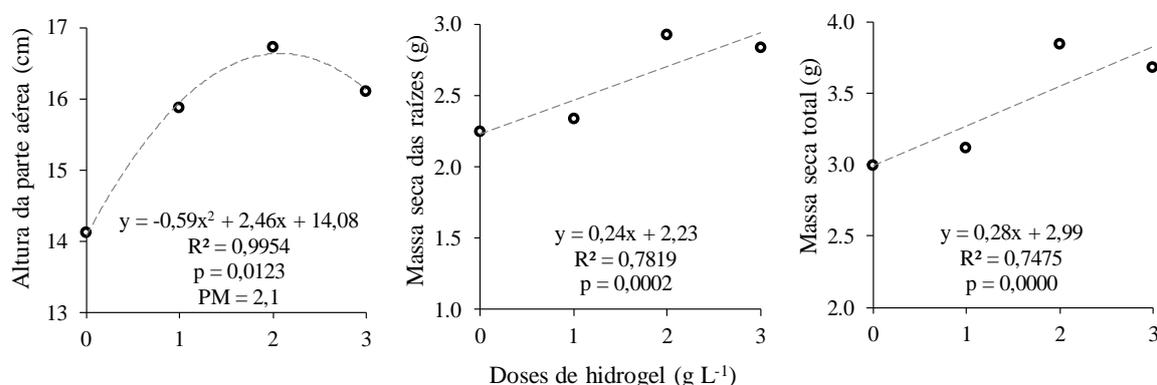


Figura 3. Comportamento de variáveis morfológicas de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* às diferentes doses de hidrogel incorporadas ao substrato. Os pontos representam a média dos valores observados e as linhas indicam a média obtida pela equação. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da análise de variância da regressão. PM = ponto de máximo.

Quando analisado o efeito dos tratamentos sobre as variáveis morfológicas em conjunto, através das variáveis canônicas (Figura 4), verifica-se que os tratamentos com o maior nível de adubação, nas doses de 2 e 3 g L⁻¹, exerceram maior influência nas variáveis morfológicas das mudas. Os incrementos proporcionados por estes tratamentos, em relação ao tratamento sem adubação e sem hidrogel, variaram de 10,26% a 82,0%. As duas primeiras variáveis canônicas foram estatisticamente significativas ($p < 0,0001$) e explicaram 78,4% da variação total dos dados. Portanto, essa análise permite representar e explicar melhor a variação conjunta das variáveis morfológicas em relação aos tratamentos.

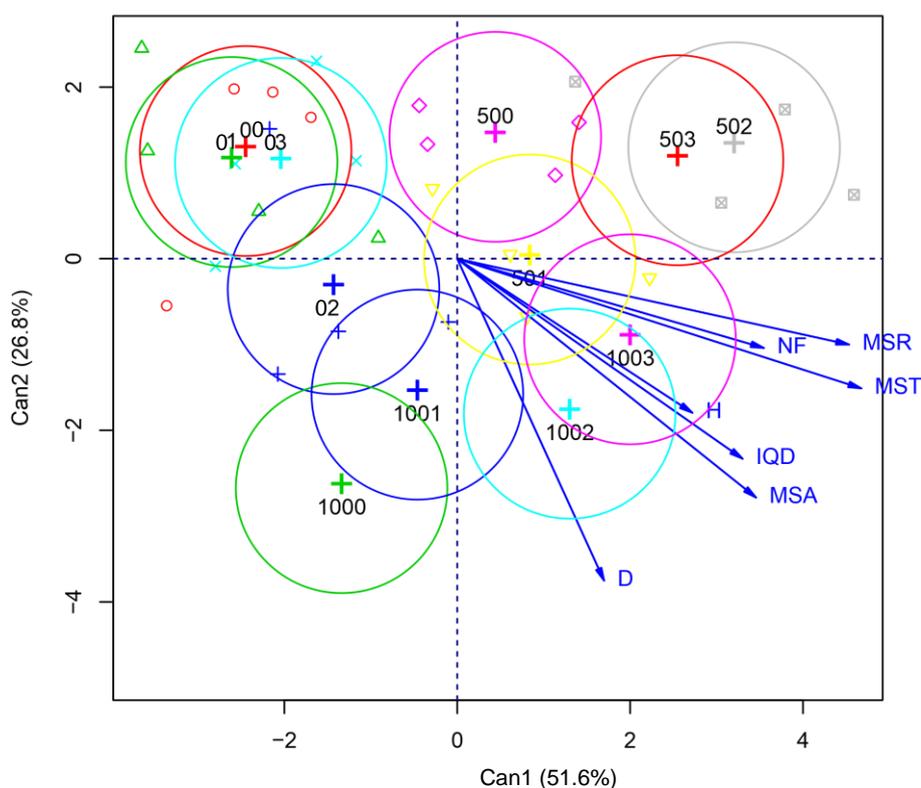


Figura 4. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).

Os conteúdos de macro e micronutrientes da parte aérea das mudas de tamboril foram influenciados pelos diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporados ao substrato (Tabela 3 e Figura 5). A análise de componentes principais revelou a formação de três grupos distintos de tratamentos. De forma geral, os tratamentos com 100% da adubação e o tratamento com 50% de adubação na dose de hidrogel de 1 e 3 g L⁻¹, favoreceram os

conteúdos nutricionais. Na adubação de 100%, a adição de doses de hidrogel de 2 e 3 g L⁻¹, proporcionou os maiores incrementos no conteúdo da maioria dos nutrientes, com incrementos médios de 11,2%, 23,4%, 37,3%, 20,6%, 39,8%, 6,2%, 24,3% e 23,0% para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e B, respectivamente, em relação à não utilização do hidrogel, na mesma adubação.

Tabela 3. Conteúdos de macro e micronutrientes (mg/muda) da parte aérea de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato.

NA	H	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
0	0	8,58	1,38	1,81	6,45	4,20	0,27	0,0014	0,0495	0,0133	0,0235	0,0133
0	1	7,60	1,58	2,20	6,90	4,09	0,34	0,0016	0,0661	0,0141	0,0229	0,0152
0	2	9,77	1,65	2,76	9,05	5,32	0,35	0,0021	0,0679	0,0210	0,0321	0,0183
0	3	8,85	1,20	2,08	6,49	3,93	0,27	0,0015	0,1265	0,0198	0,0241	0,0133
50	0	13,33	1,91	2,59	10,04	6,28	1,02	0,0020	0,1083	0,0208	0,0346	0,0255
50	1	13,93	2,15	2,88	11,31	6,89	1,32	0,0032	0,1394	0,0205	0,0410	0,0246
50	2	6,76	1,89	2,53	11,10	5,74	0,83	0,0028	0,1071	0,0178	0,0340	0,0218
50	3	15,59	2,13	2,93	11,13	6,44	0,89	0,0026	0,1363	0,0279	0,0407	0,0210
100	0	16,42	2,77	3,28	12,38	6,94	1,51	0,0033	0,1500	0,0276	0,0477	0,0317
100	1	14,13	2,57	3,53	12,37	5,71	1,60	0,0034	0,1485	0,0318	0,0440	0,0271
100	2	17,44	3,14	4,10	16,87	7,33	2,07	0,0035	0,1315	0,0273	0,0531	0,0336
100	3	16,68	3,03	3,98	17,14	9,42	2,16	0,0036	0,1502	0,0300	0,0654	0,0445
Média dos conteúdos para os níveis de cada fator												
0		8,70	1,45	2,21	7,22	4,38	0,31	0,0016	0,0775	0,0171	0,0257	0,0150
50		12,40	2,02	2,73	10,90	6,34	1,02	0,0026	0,1228	0,0218	0,0376	0,0232
100		16,17	2,88	3,72	14,69	7,35	1,84	0,0035	0,1450	0,0292	0,0525	0,0342
	0	12,78	2,02	2,56	9,62	5,81	0,93	0,0023	0,1026	0,0206	0,0353	0,0235
	1	11,89	2,10	2,87	10,19	5,56	1,09	0,0027	0,1180	0,0221	0,0360	0,0223
	2	11,32	2,23	3,13	12,34	6,13	1,08	0,0028	0,1022	0,0221	0,0398	0,0245
	3	13,71	2,12	3,00	11,59	6,59	1,11	0,0026	0,1377	0,0259	0,0434	0,0263

NA = nível de adubação (%); H = dose de hidrogel; N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = manganês; B = boro.

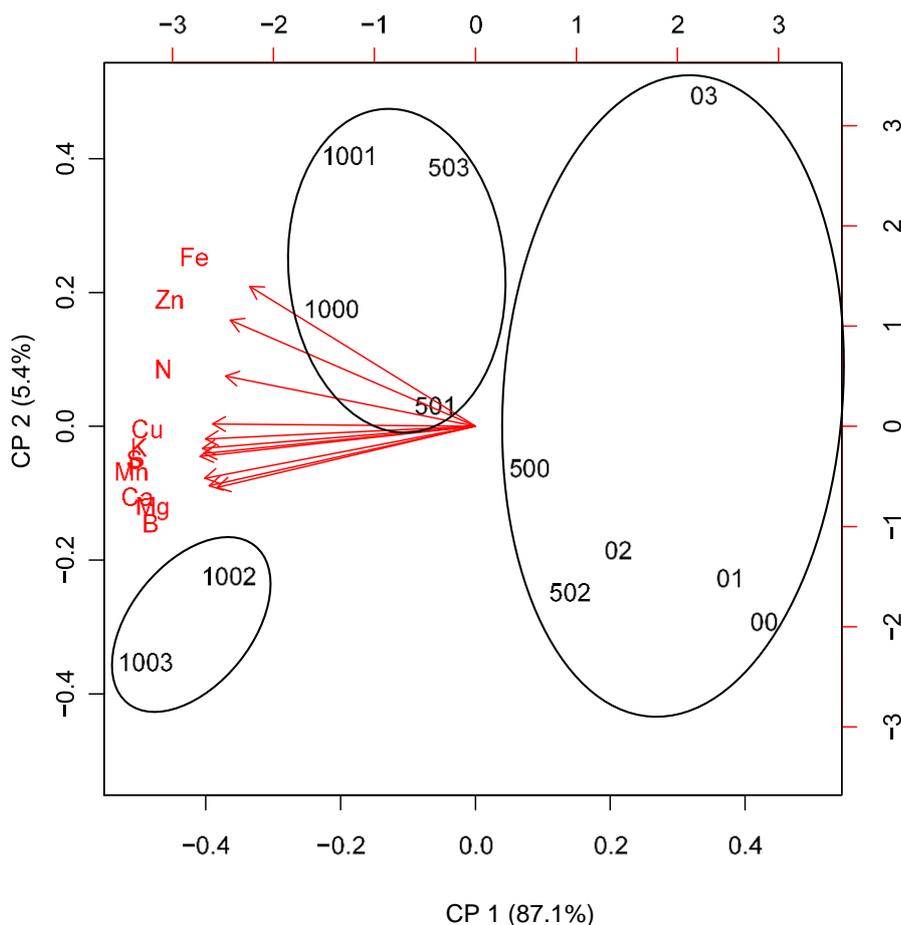


Figura 5. Diagrama de ordenação (*biplot*) produzido pela análise de componentes principais com base nos conteúdos nutricionais da parte aérea de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).

Os conteúdos nutricionais apresentaram correlações positivas fortes com a maioria das variáveis morfológicas, exceto H que apresentou correlação forte com Cu. Não foram observadas correlações fortes negativas entre as variáveis nutricionais e as variáveis morfológicas (Figura 6). Quando avaliada a correlação dessas variáveis com os atributos do substrato, foram observadas correlações fortes negativas com o pH e positivas com a CE, para a maioria das variáveis morfológicas e nutricionais. Os demais atributos do substrato não apresentaram correlações fortes com as variáveis.

Tabela 4. Variáveis fisiológicas de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas com diferentes níveis de adubação.

Nível de adubação	PHAM	PHMD	A	gs	E	EUA
0%	-1,13ns	-1,45ns	1,43 b	0,03ns	0,65ns	2,72ns
50%	-0,99	-1,59	2,32 a	0,03	0,68	3,70
100%	-1,09	-1,63	1,76 b	0,02	0,48	3,68

PHAM = potencial hídrico na antemanhã, em MPa; PHMD = potencial hídrico ao meio dia, em MPa; A = taxas de assimilação líquida de carbono, em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; gs = condutância estomática, em $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; E = transpiração, em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; EUA = eficiência do uso da água, em $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$; Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferenciam pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

3.3 *Handroanthus heptaphyllus* (IPÊ ROXO)

Entre as variáveis morfológicas avaliadas nas mudas de ipê roxo, a ANOVA apontou que apenas H apresentou interação significativa entre os fatores níveis de adubação e doses de hidrogel. As demais variáveis foram influenciadas pelos níveis de adubação isoladamente, não sendo verificado efeito das doses de hidrogel. Em todas as doses de hidrogel, os níveis de adubação proporcionaram médias de H diferentes entre si, com maiores valores observados no nível de 100% (Figura 7). No nível de adubação de 0% não foram observadas diferenças entre as doses de hidrogel. Nos demais níveis de adubação, H se comportou de forma quadrática quanto às doses de hidrogel, com pontos de máximos nas doses de 1,8 e 1,3 g L^{-1} , para os níveis de 50% e 100% de adubação, respectivamente (Figura 7). Quando avaliado o efeito isolado dos níveis de adubação sobre as variáveis D, NF, MSA, MSR e IQD verificou-se que os níveis apresentaram diferença entre si, com maiores médias observadas para o nível de 100% (Tabela 5).

A análise de variáveis canônicas permitiu representar e explicar a variação conjunta das variáveis morfológicas em relação aos tratamentos (Figura 8). As duas primeiras variáveis canônicas foram estatisticamente significativas ($p < 0,0009$) e explicaram 94,6% da variação total dos dados. Nessa análise verificou-se que os tratamentos sem adubação não favoreceram essas variáveis. Os tratamentos que mais influenciaram o conjunto de variáveis morfológicas foram os tratamentos compostos por 0, 1 e 2 g L^{-1} de hidrogel na adubação de 100%. NF foi favorecido principalmente pelo tratamento sem hidrogel. D e MSA foram favorecidos pela dose de 1 g L^{-1} , com incrementos de 4,4% e 26,5%, respectivamente, em relação à não utilização do hidrogel nessa adubação. Já as variáveis H, MSR, MST e IQD foram favorecidos pela dose de 2 g L^{-1} , com incrementos de 5,8%, 42,7%, 31,8% e 30,9%, respectivamente.

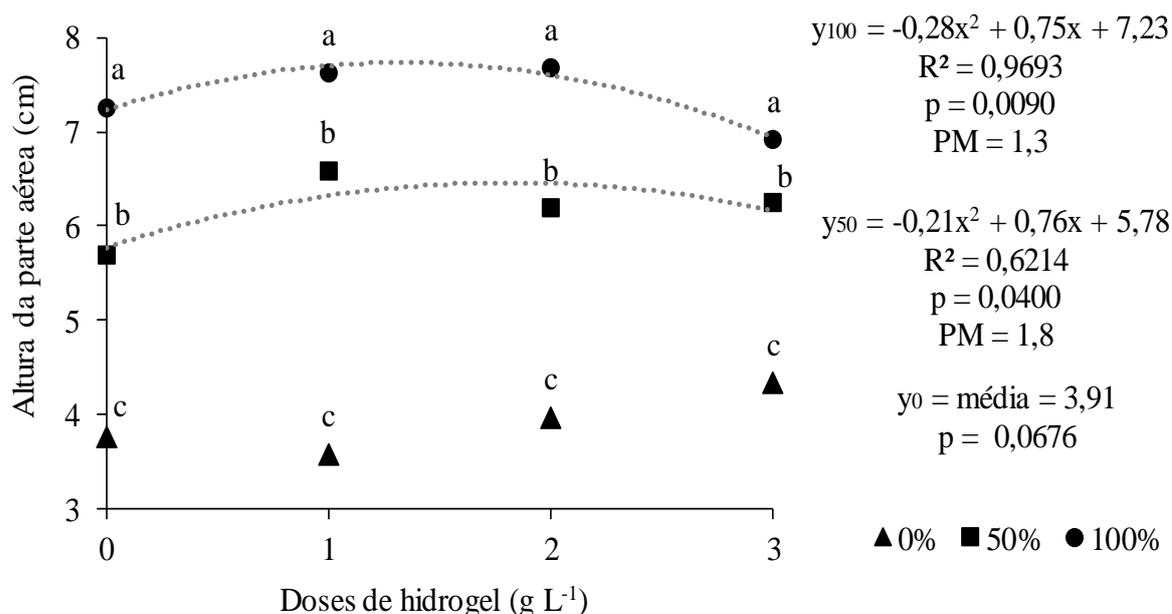


Figura 7. Comportamento da altura de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* aos diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. Os pontos representam a média dos valores observados e as linhas indicam a média obtida pela equação. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da análise de variância da regressão. PM = ponto de máximo. Marcadores seguidos pela mesma letra na mesma dose de hidrogel não se diferenciam pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Variáveis morfológicas de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes níveis de adubação.

Nível de adubação	D (mm)	NF	MSA (g)	MSR (g)	MST(g)	IQD
0%	2,16c	2,20c	0,09c	0,16c	0,25c	0,11c
50%	3,81b	7,74b	0,69b	0,72b	1,40b	0,53b
100%	4,95a	9,46a	0,99a	1,17a	2,15a	0,92a

D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferenciam pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

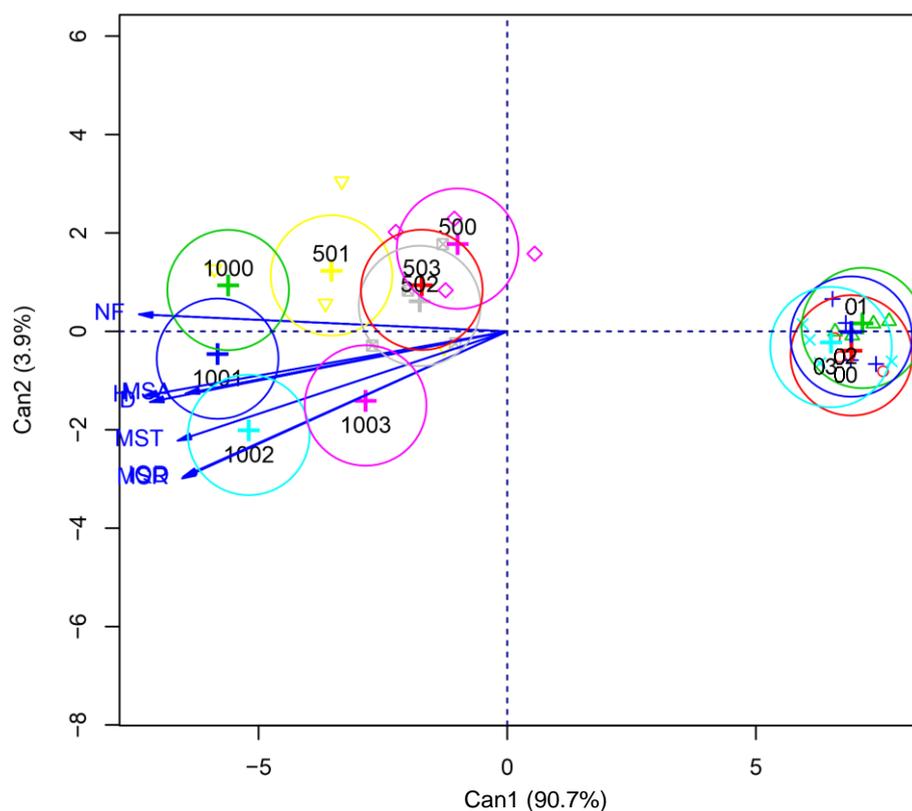


Figura 8. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).

Os níveis de adubação e doses de hidrogel incorporados ao substrato também influenciaram os conteúdos de macro e micronutrientes da parte aérea das mudas de ipê roxo (Tabela 6 e Figura 9). A análise de componentes principais permitiu agrupar os tratamentos em três grupos. Os maiores conteúdos nutricionais foram favorecidos pelos tratamentos com 100% da adubação e pelo tratamento com hidrogel na dose de 1 g L⁻¹ na adubação de 50%. Entre os tratamentos com adubação de 100%, a adição do hidrogel não proporcionou ganhos expressivos nos conteúdos nutricionais. Na adubação de 50% a dose de 1 g L⁻¹ proporcionou incrementos variando de 68% a 121,9% nos conteúdos dos nutrientes avaliados. O nitrogênio não foi incluído na análise de componentes principais, uma vez que a matéria seca dos tratamentos sem adubação não foi suficiente para análise de seus teores.

Tabela 6. Conteúdos (mg/muda) de macro e micronutrientes da parte aérea de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato.

NA	H	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
0	0	-	0,14	0,57	0,34	0,18	0,02	0,0004	0,0056	0,0015	0,0008	0,0017
0	1	-	0,12	0,78	0,55	0,25	0,04	0,0004	0,0073	0,0021	0,0010	0,0023
0	2	-	0,14	0,73	0,55	0,25	0,03	0,0004	0,0082	0,0021	0,0014	0,0028
0	3	-	0,18	1,11	0,76	0,34	0,05	0,0008	0,0127	0,0034	0,0016	0,0035
50	0	4,30	0,58	3,53	4,54	1,87	0,70	0,0030	0,0584	0,0105	0,0071	0,0151
50	1	8,12	0,99	6,05	10,08	3,94	1,21	0,0055	0,1119	0,0177	0,0135	0,0261
50	2	4,84	0,68	3,72	5,51	2,35	0,86	0,0054	0,0589	0,0123	0,0082	0,0165
50	3	4,44	0,60	3,50	5,84	2,17	0,90	0,0043	0,0653	0,0123	0,0089	0,0161
100	0	7,06	1,00	5,57	9,31	3,33	1,40	0,0068	0,1097	0,0173	0,0126	0,0286
100	1	8,75	1,17	6,09	10,81	3,72	1,39	0,0084	0,1282	0,0193	0,0110	0,0275
100	2	8,79	1,02	5,63	10,85	3,97	1,14	0,0059	0,1085	0,0206	0,0122	0,0277
100	3	7,03	0,95	5,37	8,73	3,35	1,27	0,0068	0,1009	0,0189	0,0132	0,0241
Média dos conteúdos para os níveis de cada fator												
0		-	0,14	0,80	0,55	0,26	0,04	0,0005	0,0085	0,0023	0,0012	0,0026
50		5,43	0,71	4,20	6,49	2,58	0,92	0,0045	0,0736	0,0132	0,0094	0,0185
100		7,91	1,03	5,66	9,92	3,59	1,30	0,0070	0,1118	0,0190	0,0122	0,0270
	0	5,68	0,57	3,22	4,73	1,79	0,71	0,0034	0,0579	0,0098	0,0069	0,0151
	1	8,44	0,76	4,31	7,15	2,64	0,88	0,0048	0,0824	0,0130	0,0085	0,0187
	2	6,81	0,61	3,36	5,64	2,19	0,68	0,0039	0,0585	0,0117	0,0072	0,0157
	3	5,74	0,58	3,33	5,11	1,95	0,74	0,0040	0,0596	0,0115	0,0079	0,0146

NA = nível de adubação (%); H = dose de hidrogel (g L⁻¹); N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = manganês; B = boro.

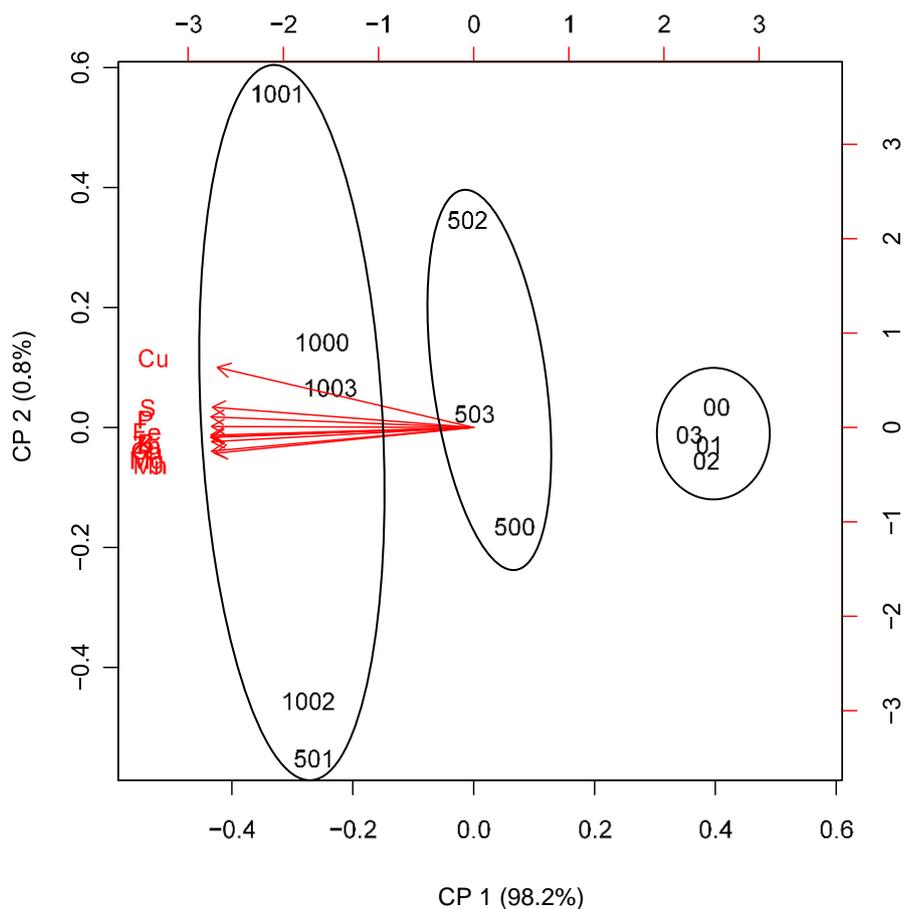


Figura 9. Diagrama de ordenação (*biplot*) produzido pela análise de componentes principais com base nos conteúdos nutricionais da parte aérea de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes níveis de adubação e doses de hidrogel incorporadas ao substrato. Os números representam os tratamentos, em que o último algarismo indica a dose de hidrogel (0, 1, 2 e 3 g L⁻¹) e os algarismos anteriores indicam o nível de adubação (0%, 50% e 100%).

Os conteúdos nutricionais apresentaram correlações positivas fortes com todas as variáveis morfológicas (Figura 10). Os únicos atributos do substrato que apresentaram correlações fortes com as variáveis morfológicas e nutricionais foram pH e CE. O primeiro se correlacionou negativamente e o segundo positivamente com todas as variáveis morfológicas. Os demais atributos do substrato não apresentaram correlações fortes com esse grupo de variáveis.

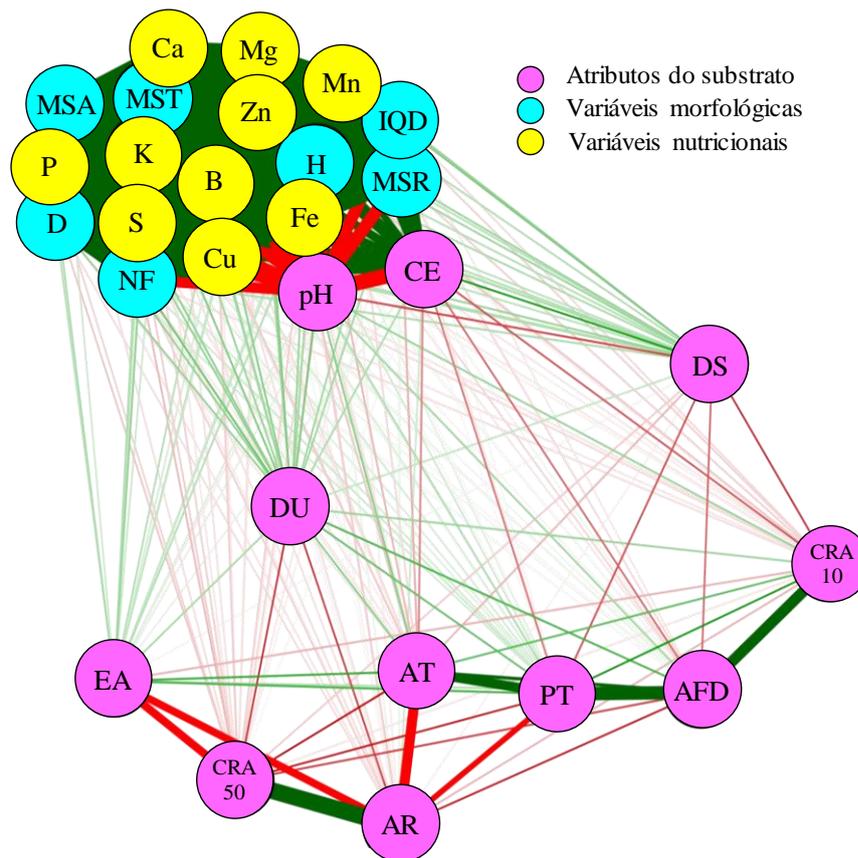


Figura 10. Rede de correlações entre os atributos do substrato e variáveis morfológicas e nutricionais obtidas em mudas de *Handroanthus heptaphyllus*. pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; DU = densidade em base úmida; DS = densidade em base seca; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente; CRA10 e CRA50 = capacidade de retenção de água a 10 e 50 cm, respectivamente. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; N= nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = magnésio; B = boro.

Dentre as variáveis fisiológicas, segundo a ANOVA, não houve interações significativas entre os fatores níveis de adubação e doses de hidrogel e deste isoladamente, em nenhuma variável. Apenas o fator nível de adubação influenciou as variáveis PHMD, A e EUA. As maiores médias de PHMD foram observados nos níveis de 0% e 50% da adubação, que se diferenciaram do maior nível. As maiores médias de A, EUA e foram observadas no nível de adubação de 100% que se diferenciaram apenas do nível de 0%.

A análise de variáveis canônicas não conseguiu captar a variação conjunta das variáveis fisiológicas, não sendo significativa ($p > 0,1855$), apesar das duas primeiras variáveis canônicas terem explicado 85,9% da variação total dos dados. Também não foram observadas correlações fortes entre as variáveis fisiológicas e os atributos do substrato.

Tabela 7. Variáveis fisiológicas de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes níveis de adubação.

Nível de adubação	PHAM	PHMD	A	gs	E	EUA
0%	-0,99ns	-0,56a	2,00b	0,03ns	0,001ns	2558,27b
50%	-1,03	-0,64a	2,88a	0,03	0,001	3384,73a
100%	-0,94	-1,35b	3,91a	0,03	0,001	3850,28a

PHAM = potencial hídrico na antemanhã, em MPa; PHMD = potencial hídrico ao meio dia, em MPa; A = taxas de assimilação líquida de carbono, em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; gs = condutância estomática, em $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; E = transpiração, em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ EUA = eficiência do uso da água, em $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$; Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferenciam pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

4. DISCUSSÃO

Os atributos químicos do substrato estão diretamente relacionados à disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas (BERNERT et al., 2015). Esses atributos são mais fáceis de serem manejados pelo viveirista mediante o uso de adubações, irrigação e fertirrigação (KÄMPF, 2005). Embora o aumento dos níveis de adubação tenha ocasionado a redução do pH do substrato (Tabela 1 e Figura 1A), todos os tratamentos apresentaram valores dentro da faixa considerada ideal para o desenvolvimento de mudas, ou seja, de 5,5 a 6,5 (VALERI; CORRADINI, 2005).

A não influência da utilização do hidrogel nesse atributo do substrato diverge de resultados encontrados na literatura, os quais reportam o aumento (VICHATO; VICHATO; SILVA, 2004; NAVROSKI et al., 2015, 2016b, 2016c) ou a redução (BAI et al., 2010; SHAHID et al., 2012; FAN et al., 2015) do pH do solo/substrato conforme o aumento das doses. O tipo de solo ou substrato, suas características físicas e químicas e a estrutura química do hidrogel podem influenciar seus efeitos sobre o pH (BAI et al., 2010; SHAHID et al., 2012; FAN et al., 2015).

O aumento da CE do substrato com o aumento do nível de adubação é reflexo principalmente da concentração de sais provocada pelo adubo, sendo um indicativo da salinidade do substrato (KÄMPF, 2005). Os valores mais elevados de CE podem danificar as raízes e os pelos radiculares, impedindo a absorção de água e nutrientes, afetando a atividade fisiológica e favorecendo a incidência e a severidade de alguns patógenos (RODRIGUES, 2002). O efeito do hidrogel sobre a CE do substrato foi verificado apenas na maior dose associada a um maior nível de adubação. Na literatura, o hidrogel é reportado por aumentar os valores desse atributo, conforme o aumento de suas doses incorporadas ao substrato (BAI et al., 2010; SHAHID et al., 2012; NAVROSKI et al., 2015, 2016b). Esse

efeito pode ser resultante da composição química do hidrogel e de características do substrato (BAI et al., 2010; SHAHID et al., 2012).

As propriedades físicas do substrato foram influenciadas principalmente pelas doses de hidrogel. Na literatura vários trabalhos apontam o benefício da incorporação do hidrogel ao substrato, principalmente na capacidade de armazenamento e disponibilidade de água para as plantas (MARTYN; SZOT, 2001; NAVROSKI et al., 2015, 2016a, 2016b, 2016d), corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho. É importante destacar que, em todos os níveis de adubação, a maior disponibilidade de água para as mudas (AFD) foi obtida na dose de hidrogel de 1 g L⁻¹. A partir dessa dose, o hidrogel proporcionou uma maior retenção de água, porém com maior quantidade de AR, ou seja, água dificilmente disponível para as plantas, sendo necessário um maior gasto de energia para as plantas aproveitá-la.

Dessa forma, o hidrogel funciona como reservatório de água no substrato, pelo fato de reter água em elevados potenciais matriciais, impedindo ou reduzindo as perdas por percolação quando houver um aporte de água que ultrapasse sua capacidade de retenção (OLIVEIRA et al., 2004). Corroborando com a maior retenção de água no substrato, os valores de EA foram menos elevados na presença do hidrogel. Isso ocorreu provavelmente pelo preenchimento dos maiores poros no substrato com a expansão dos grânulos do hidrogel após a sua hidratação sendo estes resultados semelhantes aos obtidos por outros autores (NAVROSKI et al., 2015, 2016a).

A capacidade de retenção de água pelo hidrogel pode ser influenciada por diversos fatores, como sua composição física e química, tamanho de suas partículas, textura, densidade e pH do solo, bem como os sais solúveis presentes na solução do meio (AKHTER et al., 2004; COELHO JUNIOR et al., 2008; LANDIS; HAASE, 2012; SHAHID et al., 2012; HAN et al., 2013). No presente trabalho, apesar do aumento dos níveis de adubação terem promovido aumentos na CE do substrato, esse aumento não foi suficiente para afetar de forma expressiva a retenção de água promovida pelo hidrogel, divergindo dos resultados obtidos por Azevedo et al. (2006). Esses autores observaram que, além da CE da solução de nutrientes, os diferentes fertilizantes interferiram na capacidade de retenção da solução nutritiva pelo hidrogel.

As mudanças nos atributos químicos e físicos do substrato, promovidas pelos níveis de adubação e doses de hidrogel, influenciaram o crescimento e a absorção de nutrientes pelas mudas de ambas as espécies avaliadas. De forma geral, a maior qualidade das mudas e o maior conteúdo de nutrientes da parte aérea foram observados no maior nível de adubação na presença do hidrogel. Assim, a hipótese inicial de que a utilização do hidrogel

incorporado ao substrato pudesse permitir a redução da adubação utilizada no viveiro não foi confirmada no presente trabalho, uma vez que a utilização de 100% da adubação aumentou a qualidade das mudas de ambas as espécies (Figuras 4 e 8, Tabelas 2 e 5).

Esses resultados divergem dos obtidos por outros autores, que comprovaram que o uso do hidrogel no substrato permitiu a redução da adubação na produção de mudas de *Corymbia citriodora* (redução de pelo menos 20% da adubação de base e de cobertura na dose de hidrogel de 6 g L⁻¹ de substrato) (BERNARDI et al., 2012) e de *Eucalyptus dunnii* (redução de pelo menos 25% da adubação convencional na dose de hidrogel de 6 g L⁻¹) (NAVROSKI et al., 2016a), sem afetar sua qualidade. No presente trabalho, essa constatação não ocorreu devido à grande amplitude dos níveis de redução de adubação avaliados (50%), que provavelmente estão além da capacidade do hidrogel em manter os nutrientes em quantidades adequadas no substrato, através da redução da lixiviação.

No entanto, a utilização do hidrogel incorporado ao substrato de produção das mudas potencializou o uso da adubação de base, permitindo ganhos na qualidade e nos conteúdos nutricionais das mudas de tamboril e ipê (Figuras 4 e 8). Esses resultados também foram observados na produção de mudas de outras espécies florestais (LIU et al., 2013; MEWS et al., 2015) e até mesmo no desenvolvimento de mudas após o plantio em campo (BARTIERES et al., 2016). Liu et al. (2013) observaram que o hidrogel isoladamente não promoveu melhorias na biomassa aérea e radicular e na absorção de nutrientes (N, P e K) em mudas de *Pinus pinaster*, mas quando combinado o hidrogel e adubação, os incrementos nessas variáveis superaram a adubação isolada. Para Mews et al., (2015), o uso do hidrogel associado à adubação nitrogenada de cobertura influenciou positivamente o crescimento e a qualidade de mudas de *Handroanthus ochraceus*.

Apesar do efeito benéfico do hidrogel nas variáveis morfológicas e nutricionais, seu uso não influenciou o potencial hídrico e as trocas gasosas das mudas de ambas as espécies após o período de suspensão da irrigação. Esses resultados divergem de outros trabalhos, que apontam que o uso do hidrogel reduz o estresse hídrico de mudas de outras espécies florestais (AKHTER et al., 2004; ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; CHIRINO; VILAGROSA; VALLEJO, 2011; JAMNICKÁ et al., 2013; NAVROSKI et al., 2014). Isso provavelmente ocorreu devido ao fato de que as mudas se encontravam sob mesma disponibilidade hídrica no viveiro e o período de três dias, sem irrigação, não foi suficiente para provocar o estresse hídrico das mudas, uma vez que estas estavam em condição de laboratório.

As variáveis fisiológicas foram influenciadas pelos níveis de adubação apenas no ipê roxo (Tabela 7). Em relação ao potencial hídrico, o PHMD foi inferior nos tratamentos com 100% de adubação, provavelmente devido à maior quantidade de sais presentes no substrato, que reduz o potencial osmótico, dificultando a absorção de água por parte da planta (TESTER; DAVENPORT, 2003; ZHU, 2003). As maiores médias de A e, conseqüentemente, da EUA nos maiores níveis de adubação podem ser explicados pela maior disponibilidade de nutrientes às mudas, corroborando com seu maior crescimento. A nutrição mineral em condições ambientais adequadas garante níveis ideais de fotossíntese, permitindo à planta um acréscimo em sua produção vegetal (GUARDA; CAMPOS, 2014).

Apesar do hidrogel não ter apresentado influência nas variáveis fisiológicas das mudas de ambas as espécies, seu uso pode ser uma alternativa de manejo a ser adotado nos viveiros florestais. Seu uso permite potencializar os efeitos da adubação, uma vez que retém e libera nutrientes em sincronia com a demanda das mudas, melhorando assim o aproveitamento dos nutrientes. Isso reflete no crescimento e absorção de nutrientes pelas mudas, contribuindo assim para o aumento da sua qualidade.

5. CONCLUSÕES

A adubação influenciou principalmente os atributos químicos do substrato, enquanto que o hidrogel os atributos físicos, principalmente os relacionados à capacidade de retenção e disponibilidade de água.

O uso do hidrogel não permitiu a redução da adubação utilizada no viveiro, porém potencializou seu uso, com efeito aditivo, resultando em mudas de tamboril e ipê com maior crescimento e conteúdos nutricionais.

O hidrogel não influenciou os processos fisiológicos das mudas. Maiores níveis de adubação proporcionaram maior fotossíntese e eficiência do uso da água em mudas de ipê.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDI-KOUPAI, J.; ASADKAZEMI, J. Effects of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. **Iranian Polymer Journal**, v. 15, n. 9, p. 715–725, 2006.

AKHTER, J.; MAHMOOD, K.; MALIK, K. A.; MARDAN, A.; AHMAD, M.; IQBAL, M. M. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and

- seedling growth of barley, wheat and chickpea. **Plant Soil Environment**, v. 50, n. 10, p. 463–469, 2004.
- AZEVEDO, G. T. O. S.; AZEVEDO, G. B.; SOUZA, A. M.; MEWS, C. L.; SOUSA, J. R. L. Effect of hydrogel doses in the quality of *Corymbia citriodora* Hill & Johnson Seedlings. **Nativa**, v. 4, n. 4, p. 244–248, 2016.
- AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; DALLACORT, R.; BERTONHA, L. C. Retenção de soluções de sulfatos por hidrogel de poliacrilamida. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 8, n. 1995, p. 287–290, 2006.
- BAI, W.; ZHANG, H.; LIU, B.; WU, Y.; SONG, J. Q. Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. **Soil Use and Management**, v. 26, p. 253–260, 2010.
- BARTIERES, E. M. M.; CARNEVALI, N. H. de S.; LIMA, E. D. S.; CARNEVALI, T. O.; MALLMANN, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 145, 2016.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M.; TEIXEIRA, J. P. F.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de planta**. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, 1983.
- BERNARDI, M. R.; SPEROTTO JUNIOR, M.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 67–74, 2012.
- BERNERT, M. R.; ESCHEMBACK, V.; JADOSKI, S. O.; LIMA, A. S.; MAGGI, M. F. Características do pH e condutividade elétrica no manejo de fertirrigação. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 8, n. 1, p. 80–87, 2015.
- BHERING, L. L. Rbio : A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187–190, 2017.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. New York, USA: Springer-Verlag, 1979.
- CHATFIELD, C.; COLLINS, A. J. **Introduction to multivariate analysis**. 7^a ed. London: Chapman & Hall, 1995.
- CHIRINO, E.; VILAGROSA, A.; VALLEJO, V. R. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. **Plant and Soil**, v. 344, n. 1, p. 99–110, 2011.
- COELHO JUNIOR, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; CORREA, M. M.; WANDERLEY, R. A.; COELHO JÚNIOR, J. M.; FIGUEREDO, J. L. C. Efeito do polímero hidratassolo sobre propriedades físico-hídricas de três solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 253–259, 2008.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa-MG: Imprensa Universitária - UFV, 1994.
- EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEIMEN, F. E. Polymer Applications in Agriculture. **Biokemistri**, v. 23, n. 2, p. 81–89, 2011.
- EL-ASMAR, J.; JAAFAR, H.; BASHOUR, I.; FARRAN, M. T.; SAOUD, I. P. Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 45, n. 7, p. 1–9, 2017.

- EPSKAMP, S.; CRAMER, A. O. J.; WALDORP, L. J.; SCHMITTMANN, V. D.; BORSBOOM, D. qgraph : Network Visualizations of Relationships in Psychometric Data. **Journal of Statistical Software**, v. 48, n. 4, p. 1–18, 2012.
- FAGUNDES, M. C. P.; CRUZ, M. C. M. D. C. M.; DE CARVA-LHO, R. P.; DE OLIVEIRA, J.; SOARES, B. C.; CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, J.; SOARES, B. C. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 121–129, 2015.
- FAN, R.; LUO, J.; YAN, S.; ZHOU, Y.; ZHANG, Z. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. **Pedosphere**, v. 25, n. 5, p. 737–748, out. 2015.
- FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos**. 2003. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Lavras: UFLA, 2008.
- FRUCHTERMAN, T. M. J.; REINGOLD, E. M. Graph drawing by force-directed placement. **Software: Practice and Experience**, v. 21, n. 11, p. 1129–1164, 1991.
- GUARDA, V. D. A.; CAMPOS, L. J. M. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014.
- HAN, Y.; YU, X.; YANG, P.; LI, B.; XU, L.; WANG, C. Dynamic study on water diffusivity of soil with super-absorbent polymer application. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 1, p. 289–296, 2013.
- JAMNICKÁ, G.; DITMAROVÁ, L.; KURJAK, D.; KMEŤ, J.; PŠIDOVÁ, E.; MACKOVÁ, M.; GÖMÖRY, D.; STŘELCOVÁ, K. The soil hydrogel improved photosynthetic performance of beech seedlings treated under drought. **Plant, Soil and Environment**, v. 59, n. 10, p. 446–451, 2013.
- KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. (Ed.). **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2.ed ed. Guaíba: Agrolivros, 2005. p. 45–72.
- LANDIS, T. D.; HAASE, D. L. Applications of Hydrogels in the Nursery and During Outplanting. **Forest and Conservation Nursery Associations-2011**, n. PMRS-P-68, p. 53–58, 2012.
- LIU, F.; MA, H.; XING, S.; DU, Z.; MA, B.; JING, D. Effects of super-absorbent polymer on dry matter accumulation and nutrient uptake of *Pinus pinaster* container seedlings. **Journal of Forest Research**, v. 18, n. 3, p. 220–227, 2013.
- LOBÃO, M. S.; CHAGAS, M. P.; COSTA, D. D. S. P.; FERREIRA, A. T. B.; SETTE JUNIOR, C. R.; CARVALHO, I. L.; FO, M. T. Grouping of forest species by similarity of physical-anatomical characteristics and uses of wood. **Cerne**, v. 16, n. Suplemento, p. 97–105, 2010.
- MAPA. **Instrução Normativa SDA Nº 17. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.
- MARTYN, W.; SZOT, P. Influence of superabsorbents on the physical properties of horticultural substrates. **International agrophysics**, v. 15, p. 87–94, 2001.
- MEWS, C. L.; SOUSA, J. R. L.; AZEVEDO, G. T. O. S.; SOUZA, A. M. Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 107–116, 2015.

- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2008.
- MONTEIRO NETO, J. L. L.; ARAÚJO, W. F.; CHAGAS, E. A.; DA SILVA SIQUEIRA, R. H.; OLIVEIRA, G. A.; RODRIGUEZ, C. A. Hydrogels in brazilian agriculture. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 4, p. 347, 3 out. 2017.
- NARJARY, B.; AGGARWAL, P.; SINGH, A.; CHAKRABORTY, D.; SINGH, R. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. **Geoderma**, v. 187–188, p. 94–101, 2012.
- NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Influência do polímero hidroretentor na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes manejos hídricos. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 108–113, 2014.
- NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, Á. L. P.; PEREIRA, M. O. Redução da adubação e melhoria das características do substrato na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1155-11–65, 2016a.
- NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; FIOR, C. S.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, Á. L. P.; PEREIRA, M. O. Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 467–476, 2015.
- NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M. H.; PEREIRA, M. O.; FIOR, C. S.; DE OLIVEIRA PEREIRA, M.; FIOR, C. S. Influência do polímero hidroretentor nas características do substrato comercial para produção de mudas florestais. **Interciencia**, v. 41, n. 5, p. 357–361, 2016b.
- NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; REINIGER, L. R. S.; FIOR, C. S.; SCHAFER, G.; PEREIRA, M. de O. Initial growth of seedlings of *Eucalyptus dunnii* maiden as influenced by the addition of natural polymer and farming substrates. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 627–637, 2016c.
- NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; REINIGER, L. R. S.; FIOR, C. S.; SCHAFER, G.; PEREIRA, M. O. Initial growth of seedlings of *Eucalyptus dunii* Maiden as influenced by the addition of natural polymer and farming substrates. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 627–637, 2016d.
- OLIET, J.; SEGURA, M. .; MARTÍN, F.; BLANCO, E.; SERRADA, R.; LÓPEZ, M.; ARTERO, F. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la produccion de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* mill. **Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales**, v. 8, n. 1, p. 207–222, 1999.
- OLIVEIRA, R. A.; REZENDE, L. S.; MARTINEZ, M. A.; MIRANDA, G. V. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 160–163, 2004.
- ORIKIRIZA, L. J. B.; AGABA, H.; EILU, G.; KABASA, J. D.; WORBES, M.; HÜTTERMANN, A. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. **Journal of Environmental Protection**, v. 4, n. 1, p. 713–721, 2013.
- RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: FUNEP, 2002.

SHAHID, S. A.; QIDWAI, A. A.; ANWAR, F.; ULLAH, I.; RASHID, U. Improvement in the water retention characteristics of sandy loam soil using a newly synthesized poly(acrylamide-co-acrylic acid)/AlZnFe 2O₄ superabsorbent hydrogel nanocomposite material. **Molecules**, v. 17, n. 8, p. 9397–9412, 2012.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, n. 5, p. 503–527, 1 abr. 2003.

TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 1995. Universidade Federal de Viçosa, 1995.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 167–190.

VICHIATO, M.; VICHIATO, M. R. M.; SILVA, C. R. R. Crescimento e composição mineral do porta-enxerto tangerineira cleópatra cultivado em substrato acrescido de polímero hidrorretentor. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 4, p. 748–756, ago. 2004.

ZHU, J.-K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 5, p. 441–445, out. 2003.

APÊNDICE

QUADROS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

CAPÍTULO 1

Quadro A.1. Resumo da análise de variância para as variáveis morfológicas de mudas de *Swietenia macrophylla* produzidas com diferentes doses de hidrogel (DH) incorporadas ao substrato.

FV	GL	Quadrado médio						
		H (cm)	D (mm)	NF	MSA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD
DH	3	27,02ns	1,42ns	11,47*	79,57ns	6,33ns	80,70ns	0,90
Resíduo	12	24,37	0,46	2,39	63,92	6,20	92,50	1,31
CV (%)		7,14	4,84	9,85	22,07	17,24	18,98	16,75
Média Geral		69,15	13,99	15,70	36,22	14,44	50,66	6,8

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro A.2. Resumo da análise de variância para os teores nutricionais foliares de mudas de *Swietenia macrophylla* produzidas com diferentes doses de hidrogel (DH) incorporadas ao substrato.

FV	GL	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
DH	3	0,018*	0,001ns	0,032**	0,014**	0,001ns	0,004**
Resíduo	6	0,004	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
CV (%)		3,99	4,58	2,41	1,72	4,10	2,80
Média Geral		1,50	0,14	2,03	1,77	0,19	0,59
FV	GL	Cu	Fe	Zn	Mn	B	
DH	3	2,53ns	1011,89ns	6,45*	30,19**	362,07**	
Resíduo	6	1,14	628,64	0,94	0,71	11,14	
CV (%)		9,71	10,03	9,63	3,07	4,85	
Média Geral		11,00	250,04	10,08	27,54	68,87	

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; N = nitrogênio (dag kg⁻¹); P = fósforo (dag kg⁻¹); K = potássio (dag kg⁻¹); Ca = cálcio (dag kg⁻¹); Mg = magnésio (dag kg⁻¹); S = enxofre (dag kg⁻¹); Cu = cobre (mg kg⁻¹); Fe = ferro (mg kg⁻¹); Zn = zinco (mg kg⁻¹); Mn = magnésio (mg kg⁻¹); B = boro (mg kg⁻¹); ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro A.3. Resumo da análise de variância para as variáveis fisiológicas de mudas de *Swietenia macrophylla* produzidas com diferentes doses de hidrogel (DH) incorporadas ao substrato e submetidas a um período de 6 dias sem irrigação.

FV	GL	Quadrado médio							
		AFE	Ψ_{pd}	Ψ_{md}	A	gs	E	EUA	EUIA
DH	3	5957,4ns	1,76*	2,59*	3,58*	0,013**	5,06**	2,03*	3459,7**
Resíduo	12	2720,3	0,33	0,566	0,85	0,001	0,43	0,24	3053,9
CV (%)		6,29	46,84	47,68	10,30	28,73	19,25	17,40	21,23
Média Geral		829,1	-1,23	-1,58	8,94	0,127	3,41	2,81	80,48

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; AFE = área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$); Ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã (MPa); Ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia (MPa); A = taxas de assimilação líquida de carbono ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$); gs = condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); E = transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); EUA = eficiência do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$); EUIA = eficiência intrínseca do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mol H}_2\text{O})^{-1}$); ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro A.4. Resumo da análise de variância para as variáveis morfológicas de mudas de *Genipa americana* produzidas com diferentes doses de hidrogel (DH) incorporadas ao substrato.

FV	GL	Quadrado médio						
		H (cm)	D (mm)	NF	MSA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD
DH	3	151,00**	3,74*	1,99ns	10,72ns	34,55ns	25,31ns	10,76ns
Resíduo	12	11,93	0,77	1,44	18,40	31,72	86,66	6,19
CV (%)		7,16	5,43	11,57	18,95	16,58	16,45	15,79
Média Geral		48,24	16,16	10,40	22,64	33,96	56,6	15,77

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro A.5. Resumo da análise de variância para os teores nutricionais foliares de mudas de *Genipa americana* produzidas com diferentes doses de hidrogel (DH) incorporadas ao substrato.

FV	GL	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
DH	3	0,144**	0,0008ns	0,046**	0,0084**	0,0039*	0,0005**
Resíduo	6	0,008	0,0005	0,038	0,0007	0,0006	0,00003
CV (%)		5,49	4,07	2,13	2,84	3,35	3,24
Média Geral		1,68	0,53	2,89	0,94	0,75	0,18
FV	GL	Cu	Fe	Zn	Mn	B	
DH	3	2,01*	12943,8*	6,32ns	2,85ns	16,18*	
Resíduo	6	0,36	1400,4	3,61	2,52	2,22	
CV (%)		7,39	10,04	32,11	4,95	5,91	
Média Geral		8,18	372,55	5,91	32,16	25,22	

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; N = nitrogênio (dag kg⁻¹); P = fósforo (dag kg⁻¹); K = potássio (dag kg⁻¹); Ca = cálcio (dag kg⁻¹); Mg = magnésio (dag kg⁻¹); S = enxofre (dag kg⁻¹); Cu = cobre (mg kg⁻¹); Fe = ferro (mg kg⁻¹); Zn = zinco (mg kg⁻¹); Mn = magnésio (mg kg⁻¹); B = boro (mg kg⁻¹); ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro A.6. Resumo da análise de variância para as variáveis fisiológicas de mudas de *Genipa americana* produzidas com diferentes doses de hidrogel (DH) incorporadas ao substrato e submetidas a um período de 6 dias sem irrigação.

FV	GL	Quadrado médio							
		AFE	ψ_{pd}	ψ_{md}	A	gs	E	EUA	EUIA
DH	3	14784ns	0,127*	0,110ns	0,146ns	0,0048ns	1,148ns	0,687ns	713,06ns
Resíduo	12	12440	0,032	0,032	1,32	0,0018	0,519	0,345	272,28
CV (%)		15,08	22,37	18,18	12,92	27,3	20,97	21,84	27,02
Média Geral		739,41	-0,80	-0,98	8,88	0,16	3,43	2,69	61,08

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; AFE = área foliar específica (cm² g⁻¹); ψ_{pd} = potencial hídrico na antemãhã (MPa); ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia (MPa); A = taxas de assimilação líquida de carbono ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); gs = condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); E = transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); EUA = eficiência do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$); EUIA = eficiência intrínseca do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mol H}_2\text{O})^{-1}$); ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

CAPÍTULO 2

Quadro A.7. Resumo da análise de variância para as variáveis morfológicas de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas com diferentes níveis de adubação (NA) e doses de hidrogel (DH) incorporados ao substrato.

FV	GL	Quadrado médio						
		H (cm)	D (mm)	NF	MSA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD
NA	2	9,95**	0,58**	5,50**	0,44**	5,13**	8,30**	0,32**
DH	3	14,86**	0,03ns	0,25ns	0,06ns	1,42**	2,03**	0,04ns
NAxDH	6	2,74ns	0,04ns	0,59ns	0,02ns	0,19ns	0,18ns	0,01ns
Resíduo	33	2,46	0,03	0,38	0,02	0,19	0,21	0,02
CV (%)		9,99	5,45	14,57	17,62	16,74	13,49	20,3
Média Geral		15,70	3,37	4,24	0,82	2,59	3,41	0,68

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro A.8. Resumo da análise de variância para as variáveis fisiológicas de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas com diferentes níveis de adubação (NA) e doses de hidrogel (DH) incorporados ao substrato.

FV	GL	Quadrado médio					
		Ψ_{pd}	Ψ_{md}	A	gs	E	EUA
NA	2	0,07ns	0,11ns	2,43*	0,0003ns	0,13ns	3,81ns
DH	3	0,06ns	0,02ns	0,80ns	0,0001ns	0,03ns	0,22ns
NAxDH	6	0,04ns	0,02ns	0,36ns	0,0002ns	0,11ns	0,47ns
Resíduo	22	0,03	0,10	0,53	0,0001	0,07	1,11
CV%		16,91	20,67	39,63	45,72	43,48	31,32
Média		-1,07	-1,56	1,84	0,02	0,60	3,37

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; Ψ_{pd} = potencial hídrico na antemanhã (MPa); Ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia (MPa); A = taxas de assimilação líquida de carbono ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); gs = condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); E = transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); EUA = eficiência do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$); ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro A.9. Resumo da análise de variância para as variáveis morfológicas de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes níveis de adubação (NA) e doses de hidrogel (DH) incorporados ao substrato.

FV	GL	Quadrado médio						
		H (cm)	D (mm)	NF	MSA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD
NA	2	49,20**	31,58**	230,75**	3,37**	4,02**	14,68**	2,65**
DH	3	0,37ns	0,35ns	1,45ns	0,16ns	0,07ns	0,39ns	0,05ns
NAxDH	6	0,57**	0,18ns	1,18ns	0,07ns	0,05ns	0,21ns	0,03ns
Resíduo	33	0,16	0,12	0,68	0,06	0,05	0,20	0,03
CV%		6,89	6,89	9,65	12,76	43,03	31,69	35,1
Média Geral		5,82	5,82	3,63	6,46	0,58	0,68	1,26

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; MST = massa seca total; IQD = índice de qualidade de Dickson; ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro A.10. Resumo da análise de variância para as variáveis fisiológicas de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes níveis de adubação (NA) e doses de hidrogel (DH) incorporados ao substrato.

FV	GL	Quadrado médio					
		Ψ_{pd}	Ψ_{md}	A	gs	E	EUA
NA	2	0,02ns	2,24**	16,10**	0,0001ns	0,13ns	5×10^6 *
DH	3	0,05ns	0,20ns	0,95ns	0,0001ns	0,08ns	2×10^6 ns
NAxDH	6	0,05ns	0,11ns	2,44ns	0,0002ns	0,17ns	8×10^3 ns
Resíduo	22	0,05	0,07	1,71	0,0001	0,15	1×10^6
CV%		22,55	30,91	40,68	40,10	38,5	31,39
Média Geral		-0,99	-0,85	2,93	0,03	0,001	3264,43

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação experimental; Ψ_{pd} = potencial hídrico na antemãhã (MPa); Ψ_{md} = potencial hídrico ao meio dia (MPa); A = taxas de assimilação líquida de carbono ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); gs = condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); E = transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); EUA = eficiência do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$); ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.