



**EFEITO DO HIDROGEL EM PLANTIOS DE MUDAS
NATIVAS DO CERRADO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA PELA MINERAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL**

MARINA MORAIS MONTEIRO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

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

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

**EFEITO DO HIDROGEL EM PLANTIOS DE MUDAS
NATIVAS DO CERRADO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA
DEGRADADA PELA MINERAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL**

MARINA MORAIS MONTEIRO

ORIENTADOR: Dr. ALCIDES GATTO

COORIENTADOR: Dr. FÁBIO VENTUROLI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM – 241/2014
BRASÍLIA – DF: 2014**

Monteiro, Marina Moraes.
M775e Efeito do hidrogel em plantios de mudas nativas do cerrado para recuperação de área degradada pela mineração no Distrito Federal / Marina Moraes Monteiro. -- 2014.
xi, 90 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, 2014.

Inclui bibliografia.
Orientação: Alcides Gatto.

1. Solos - Umidade - Distrito Federal (Brasil). 2. Plantas - Efeito da umidade do solo - Distrito Federal (Brasil). 3. Solos - Degradação. I. Gatto, Alcides. II. Título.

CDU 631.6.02

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MONTEIRO, M. M. 2014. Efeito do hidrogel em plantios de mudas nativas do cerrado para recuperação de área degradada pela mineração no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM – 241/2014. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 90 f.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Marina Moraes Monteiro

TÍTULO: Efeito do hidrogel em plantios de mudas nativas do cerrado para recuperação de área degradada pela mineração no Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2014

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

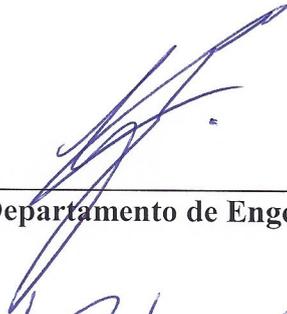
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“EFEITO DO HIDROGEL EM PLANTIOS DE MUDAS NATIVAS DO
CERRADO NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA
MINERAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL”

MARINA MORAIS MONTEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 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 MESTRE.

APROVADA POR:



Profº Dr. ALCIDES GATTO (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Orientador)



Profº Dr. JOSÉ ROBERTO RODRIGUES PINTO (Departamento de Engenharia
Florestal, UnB);
(Examinador Interno)



Profª Dra. IRIS ROITMAN (EMBRAPA/Instituto de Biologia, UnB);
(Examinador Externo)

Profº Dr. MAURO ELOI NAPPO (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 27 de junho de 2014.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília (UnB) pela oportunidade de cursar o mestrado em Ciências Florestais e aos funcionários e professores do Departamento de Engenharia Florestal pelo contínuo aprendizado que me foi oferecido.

À CAPES pela bolsa de estudo.

À mineradora BRACAL e a seus funcionários pela parceria no projeto.

Ao meu orientador, Professor Dr. Alcides Gatto, por me conduzir pelos caminhos da ciência de forma a buscar o conhecimento e o crescimento profissional e por ter me apresentado aos estudos da ciência do solo, um campo até então inexplorado por mim.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Fábio Venturoli, pela contínua paciência e disponibilidade com que me transmitiu seus conhecimentos, e pela confiança em me incluir em seus projetos. Graças ao senhor, me aventurei pelos estudos em recuperação de áreas degradadas e hoje posso dizer que encontrei um caminho pelo qual desejo promover avanços na ciência e dedicar a minha vida profissional.

À professora da Universidade Federal de Goiás (UFG), Dra. Vlândia Correchel, pelo empenho em me ajudar sempre que precisei e pelo essencial auxílio em oferecer parceria quanto à análise de solos. Em conjunto, agradeço também ao Laboratório de Análise de Solo e Foliar da Escola de Agronomia da UFG e a seus funcionários pelo serviço de análise de solo prestado a esta pesquisa.

Ao professor do Departamento de Engenharia Florestal da UnB, Dr. José Roberto Rodrigues Pinto, por ter sido sempre solícito e paciente nas incontáveis vezes em que lhe pedi ajuda. Seus ensinamentos foram decisivos para o andamento desta pesquisa e, com certeza, contribuíram imensamente para meu crescimento profissional.

Aos alunos e professores do curso de graduação em Engenharia Florestal da UFG que comigo conduziram essa pesquisa, Denys Melo, Daniel Vieira, Mayara Cristina Gomes, Isis Resende, José Patrício Nunes, Thalles Martins, Carlos Eduardo Batista, Dr. Jácomo Divino Borges e Dra. Francini Calil, por terem me recebido com tanto respeito nessa equipe da qual me orgulho muito de fazer parte.

Ao viveiro Mata Virgem e ao engenheiro agrônomo Sílvio Venturoli pela parceria no projeto e por sempre se mostrar disponível para responder meus questionamentos.

Aos meus colegas de mestrado pelas companhias, discussões construtivas e pelo respeito com que me trataram. Foi um prazer conhecê-los e caminhar com vocês durante esses dois anos. Em especial, agradeço a meus amigos e colegas Milton Serpa, pelas

“A ignorância gera confiança com mais frequência do que o conhecimento: são aqueles que sabem pouco, e não aqueles que sabem muito, que tão positivamente afirmam que esse ou aquele problema jamais será resolvido pela ciência.”

Charles Darwin.

inúmeras vezes em que me ajudou com as análises estatísticas, e Cândida Mews, Glauce Tais e Luduvico de Sousa pela parceria em estudos com hidrogel.

Aos meus amigos companheiros de profissão, os biólogos, Amanda Branquinho, Bruno Bastos, Carlos Melo, Elisa Barreto, Fernanda Fernandes e Pedro Henrique Braga pela amizade, companheirismo e pelas diversas vezes em que, de alguma forma, ajudaram-me a desenvolver esse trabalho.

Aos meus amigos da época do Colégio Porto Seguro, que estão sempre presentes em meu coração.

Por último, e com o coração emocionado, agradeço ao meu namorado e à minha família. Ao meu namorado, Vitor Alves, que, desde a escolha do curso, na época do vestibular, vem me apoiando e caminhando comigo atrás dos meus sonhos; que trocou o hospital pelo areial e suou muito na coleta de solos; que, com todo carinho, ditou para mim 3.630 dados de coletas a cada período de avaliação para que eu pudesse transferi-los para o Excel e que, por incontáveis vezes, enxugou minhas lágrimas quando eu achei que não conseguiria chegar até aqui.

Aos meus pais, Marinondes e Nilva, pelo simples privilégio da vida, por terem me oferecido oportunidades de estudos e por terem me mostrado o que é respeito e amor incondicional. Aos meus irmãos por todo amor, paciência e amizade a mim dedicados - minha irmã, Mariana, pelos constantes conselhos em redação e pelos chocolates que sempre me acalmaram em momentos de desespero; meu irmão, Murilo, pelas inúmeras ajudas nos aspectos agronômicos e pelo esforço na coleta de solos. Ao lado de vocês, cresci e fiz as escolhas que hoje me completam.

Às minhas tias Jesilene e Elza e às minhas primas Lara e Luiza pelo amor a mim dedicado.

À minha família de Brasília, tia Auria, tio Jamil, Lô, Jú, Paulo, Alexandre Lucas, Gi, Arthur e, em especial à tia Irda, por terem me acolhido com todo o amor e carinho. Sem a participação de vocês, eu não teria chegado até aqui.

A todos vocês ofereço os meus mais sinceros agradecimentos!

RESUMO

EFEITO DO HIDROGEL EM PLANTIOS DE MUDAS NATIVAS DO CERRADO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA MINERAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL

O hidrogel pode atuar como condicionador do solo, contribuindo na retenção de umidade no solo e no fornecimento de água às plantas, especialmente em ocasiões de déficit hídrico, facilitando a sobrevivência e desenvolvimento de espécies vegetais. Sendo assim, o hidrogel pode contribuir para o sucesso de projetos de recuperação de áreas degradadas. O Modelo Nativas do Bioma visa através do plantio misto, de espécies florestais e savânicas, facilitar a recuperação de áreas degradadas. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do hidrogel e nas propriedades edáficas, na sobrevivência e no crescimento de 11 espécies nativas do Cerrado, em área degradada pela mineração de areia no bioma Cerrado. Realizou-se o plantio de 1.210 mudas de 11 espécies nativas do Cerrado (*Acacia tenuifolia*, *Ceiba speciosa*, *Copaifera langsdorffii*, *Cybistax antisiphilitica*, *Dalbergia miscolobium*, *Dipteryx alata*, *Handroanthus serratifolius*, *Inga laurina*, *Eugenia dysenterica*, *Sterculia striata* e *Tabebuia roseoalba*) seguindo o Modelo Nativas do Bioma. O experimento foi instalado em 12 parcelas, seis pertencentes ao grupo controle e seis ao grupo tratamento, porém, uma das parcelas do grupo tratamento foi perdida por erosão, ficando o experimento com o total de 11 parcelas. O tratamento consistiu em aplicação 400 ml de hidrogel hidratado por cova de plantio. Durante 28 meses, em quatro ocasiões (aos 2, 8, 22 e 28 meses após o plantio) foram coletados dados de altura (H), diâmetro a altura do coleto (DAC) e sobrevivência das plantas. Analisou-se o crescimento das mudas através de dados de incremento em DAC e em H e a sobrevivência por contagem de indivíduos vivos em cada ocasião de coleta. Após 32 meses do plantio ocorreu coleta de amostras de solo indeformadas, para estudo da física do solo e deformadas compostas para estudo da química do solo. Essas amostras foram coletadas nas covas de indivíduos aleatórios da espécie *C. langsdorffii* do grupo controle e do grupo tratamento e fora das covas de plantio. Foi realizada análise de componentes principais (PCA) e testes não paramétrico de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney. Os testes não revelaram diferença estatisticamente significativa entre os grupos tratamento e controle tanto nas propriedades edáficas quanto no crescimento e sobrevivência, indicando que 400 ml do hidrogel não foram suficientes para promover efeito nas variáveis estudadas. Mas encontrou-se diferença estatisticamente significativa entre as 11 espécies utilizadas no plantio, demonstrando que as mesmas se comportaram de maneiras diferentes entre si, independente do uso do hidrogel. Além disso, Mann-Whitney indicou que o parâmetro pelo qual as espécies mais se diferenciaram foi a sobrevivência. As espécies florestais apresentaram crescimento mais rápido que as savânicas, conforme previsto pelo Modelo Nativas do Bioma, porém, 28 meses não foram suficientes para promover o sombreamento da área e conseqüente eliminação das gramíneas invasoras. A sobrevivência total das mudas no experimento foi 71,6% sendo que, *C. antisiphilitica*, *D. miscolobium* e *E. dysenterica* apresentaram as menores taxas de sobrevivência. Enquanto que *C. langsdorffii* e *I. laurina* apresentaram as maiores taxas para o conjunto das variáveis sobrevivência e incrementos em altura e em diâmetro à altura do coleto. Quanto às propriedades físicas edáficas, a umidade volumétrica apresentou média de 7% e as químicas indicaram solo ácido de baixa fertilidade e baixos teores de matéria orgânica, fósforo, e soma de bases.

Palavras-chave: polímero hidrotentor, umidade do solo, água no solo, Modelo Nativas do Bioma, areial.

ABSTRACT

EFFECT OF HIDROGEL IN NATIVE PLANTING SEEDLINGS OF BRAZILIAN SAVANNAH TO RECOVERY DEGRADED AREA BY MINING IN FEDERAL DISTRICT

The hydrogel can act as a soil conditioner, helping in retaining moisture in the soil and the water supply to plants, especially in times of drought, facilitating the survival and development of plant species. Thus, the hydrogel can contribute to the success of projects of recovery of degraded area. Thus, the present study aimed to evaluate the effect of hydrogel in the soil properties, in the survival and growth of 11 species native to the brazilian savannah, in the area degraded by mining of sand in the brazilian savannah biome. We carried out the planting of 1,210 seedlings of 11 species native to the brazilian savannah (*Acacia tenuifolia*, *Ceiba speciosa*, *Copaifera langsdorffii*, *antisyphilitica* *Cybistax*, *Dalbergia miscolobium* *Dipteryx alata*, *Handroanthus serratifolius*, *Inga laurina*, *Eugenia dysenterica*, *Sterculia striata* and *Tabebuia roseoalba*) following the Native Biome Model. The experiment consisted of 12 plots, six in the control group and six in the treatment group, however, one of the plots of the treatment group was lost by erosion, leaving the experiment with a total of 11 plots. Treatment consisted of applying of 400 ml of hydrated hydrogel for planting hole. During 28 months, on four occasions (at 2, 8, 22 and 28 months after planting) data of height (H), collect height diameter (CAD) and survival of plants were collected. We analyzed seedling growth through increment data in CAD and H and survival by counting living individuals in each sampling. After 32 months of planting occurred collect of undisturbed soil samples to study the physical and deformed soil composed samples for the study of soil chemistry. These samples were collected in the pits of random individuals of the species *C. langsdorffii* of the control group and the treatment group and outside of the planting hole. Principal component analysis (PCA) and non-parametric Kruskal-Wallis and Mann-Whitney test was performed. Tests revealed no statistically significant difference between the treatment and control groups in both soil properties and in the growth and survival, indicating that 400 ml of hydrogel were not sufficient to promote the effect in this variables. But we found a statistically significant difference between the 11 species used in planting, demonstrating that they behave in different ways with each other, independent of the use of the hydrogel. In addition, Mann-Whitney test indicated that the parameter by which themselves differentiate the species was survival. Forest species grew faster than the savanna, as provided by Native Biome Model, however 28 months were not enough to promote the shading of the area and the elimination of invasive grasses. The overall survival in the study was 71.6% and, *C. antisyphilitica*, *D. miscolobium* and *E. dysenterica* had the lowest survival rates. While *C. langsdorffii*. and *I. laurina* rates are higher for the set of variables and survival increments in height and diameter at the collar. As for soil physical properties, soil moisture averaged 7% and the chemical indicated acidic soil of low fertility and low levels of organic matter, phosphorus, and total bases.

Keywords: hidroretentor polymer, soil moisture, soil water, Native Biome Model, sand mining.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Localização da área de estudo com demarcação do polígono que contém a área de plantio do experimento. Fonte: Google Earth® 2014.....25
- Figura 2** - Climatograma apresentando com dados referentes ao tempo do experimento. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, INMET.....26
- Figura 3** - Representação de vista aérea da área de estudo com esquema do delineamento experimental. Fonte: Google Earth® 2014.....28
- Figura 4** - Esquema representativo da coleta de amostras de solo.....30
- Figura 5** - Representação de indivíduo aleatório de *Copaífera langdorffi* do grupo controle com trincheira aberta em sua cova e com anel volumétrico sendo fixado na parede da cova em experimento de recuperação de área degradada pela mineração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....31
- Figura 6** - Diagrama resultante da Análise de Componentes Principais envolvendo os atributos da física do solo.....36
- Figura 7** - Diagrama resultante da Análise de Componentes Principais envolvendo os atributos da química do solo.....39
- Figura 8** - Diagrama da PCA envolvendo o crescimento relativo em altura e em diâmetro à altura do coleto e a sobrevivência de 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, no Distrito Federal.....46
- Figura 9** - Gráficos de dispersão comparando a sobrevivência (%) (A), o incremento em DAC (mm) (B) e em H (cm) (C) entre espécies savânicas e florestais dos grupos tratamento e controle.....52
- Figura 10** - Muda de *Eugenia dysenterica* com pequeno porte, em experimento de recuperação de área degradada pela mineração de areia no Cerrado, no Distrito Federal (Fonte: Fabio Venturoli).....65
- Figura 11** - Muda de *Ceiba speciosa* apresentando ausência de folhas, plantada em experimento de recuperação de área degradada pela mineração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....68
- Figura 12** - Muda de *Handroanthus serratifolius*, plantada em experimento em recuperação de área degradada pela mineração de areia no Cerrado, no Distrito Federal, sendo circundada por gramínea invasora, aos 28 meses após o plantio70

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Espécies arbóreas nativas do Cerrado utilizadas no experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....29
- Tabela 2** - Quantidade de amostras de solo coletadas no experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....31
- Tabela 3** - Média das propriedades físicas do solo de amostras coletadas em duas profundidades, e em de três pontos de coleta em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....35
- Tabela 4** - Médias das propriedades químicas do solo de amostras coletadas em duas profundidades, e em de três pontos de coleta em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....37
- Tabela 5** - Taxa de sobrevivência das 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, em quatro tempos de medições, plantadas em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....41
- Tabela 6** - Incremento mediano (mm) e incremento relativo mediano (%) do diâmetro à altura do coleto das 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, em três intervalos de tempos de medições e no total, plantadas em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....42
- Tabela 7** - Incremento mediano (mm) e incremento relativo mediano (%) de altura das 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, em três intervalos de tempos de medições e no total, plantadas em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....44
- Tabela 8** - Medianas de altura (cm) e de diâmetro a altura do coleto (mm) das 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, ao final do período de avaliação, em abril de 2013, utilizadas em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.....50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo Geral.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. ASPECTOS E CARACTERÍSTICAS DO BIOMA CERRADO.....	4
2.2. TERMOS E CONCEITOS EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	5
2.3. DEGRADAÇÃO AMBIENTAL <i>VERSUS</i> RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA.....	8
2.4. EFEITO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO SOLO.....	11
2.5. ASPECTOS DA MINERAÇÃO.....	13
2.5.1. Recuperação de áreas degradadas pela mineração.....	14
2.6. MODELO NATIVAS DO BIOMA.....	16
2.7. DENIFIÇÕES E ASPECTOS GERAIS DO HIDROGEL.....	18
2.7.1 Histórico e aplicações dos hidrogéis.....	20
2.7.2. Aplicações agrícolas e ambientais dos hidrogéis.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	26
3.3. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO SOLO.....	29
3.3.1. Amostragem de solo.....	29
3.3.2. Caracterização física e química do solo.....	32
3.4. AVALIAÇÃO DE SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO DAS MUDAS.....	33
3.4.1. Coleta de parâmetros sobrevivência e crescimento	33
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
4. RESULTADOS.....	35
4.1. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	35
4.1.1. Caracterização física do solo.....	35

4.1.2. Caracterização química do solo.....	37
4.2. AVALIAÇÃO DE SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO.....	39
5. DISCUSSÃO.....	53
5.1. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	54
5.1.1. Caracterização física do solo.....	54
5.1.2. Caracterização química do solo.....	58
5.2. AVALIAÇÃO DE SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO.....	62
5.2.1. Avaliação de sobrevivência.....	62
5.2.2. Avaliação de crescimento.....	70
6. CONCLUSÕES.....	75
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
REFERÊNCIAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

Desde o século XIX plantações florestais, com espécies nativas e exóticas, têm sido estabelecidas no Brasil com objetivos conservacionistas, como a proteção de mananciais, estabilização de encostas, adequação de habitat para a fauna e recuperação de áreas degradadas (RAD) (KAGEYAMA et al., 2003). Comumente utiliza-se o conceito de área degradada relacionado à resiliência do ambiente. Se o ecossistema não consegue se recuperar, não possui resiliência, considera-se que ele está degradado (ENGEL; PARROTTA, 2003; CARPANEZZI, 2005). Ambientes degradados, em geral, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes, baixa capacidade de retenção de água e alta compactação do solo, características que dificultam o desenvolvimento radicular das plantas e impedem o estabelecimento e desenvolvimento da regeneração natural (CORRÊA, 1998; FELFILI et al., 2008).

No Brasil central a degradação ambiental vem ocorrendo aliada à ocupação antrópica e principalmente ao avanço das fronteiras produtivas do agronegócio que, submetem o bioma Cerrado a altas taxas de desmatamento e de conversão do uso do solo (KLINK; MACHADO, 2005). Além dessa pressão agrária, existe ainda a exploração direta de recursos minerais, que, na maioria das vezes, resulta em intensa degradação ambiental, como por exemplo, a exploração de areia e de rochas calcárias, matéria prima fundamental na construção civil (CORRÊA, 1998). Ações como estas têm levado ao aumento de áreas degradadas que, somadas ao alto valor endêmico do Cerrado tornaram esse bioma um *Hotspot* de diversidade mundial, evidenciando assim o estado de extrema ameaça e a urgente necessidade de ser conservado e restaurado (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER et al., 2005).

Sendo assim, a quantidade de projetos de reflorestamentos visando a conservação da natureza tem aumentado gradativamente. Em consequência, foi gerada grande demanda por estudos que busquem alternativas ecologicamente sustentáveis de diminuir os impactos negativos na natureza. Além disso, prioriza-se que esses estudos possam aperfeiçoar as técnicas já utilizadas, com o objetivo de otimizar a implantação, diminuir os custos, atender à legislação e promover a conservação ambiental (LELES et al., 2011). Dentro dessa linha de estudos, o Hidrogel e o Modelo Nativas do Bioma (FELFILI et al., 2005) se destacam como alternativas em projetos de recuperação de áreas degradadas.

O uso de hidrogéis é frequentemente indicado para regiões áridas e sujeitas a períodos de seca, como o Cerrado (JHURRY, 1997; BAKASS et al., 2002; EKEBAFE et al., 2011; SHOOSHTARIAN et al., 2012), uma vez que o hidrogel, ao ser adicionado à cova de plantio, possui a capacidade de aumentar a retenção de água no solo e fornece-la lentamente às plantas. Dessa forma, ele pode contribuir para o desenvolvimento vegetal, pois, o desempenho da água na vida das plantas é essencial, sendo que sua principal função consiste em atuar como meio de transporte de elementos nutritivos. (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; EKEBAFE et al., 2011; CARVALHO et al., 2013). Ao ser adicionado ao solo, as raízes das plantas se desenvolvem e crescem por dentro dos grânulos do hidrogel, tendo assim, maior superfície de contato entre raízes, água e nutrientes. Dessa forma, em plantios vegetais o hidrogel pode contribuir para minimizar a perda de água por escoamento, minimizar os custos com irrigação, minimizar a mortalidade de mudas e conseqüentemente a mão de obra de replantio (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; EL-REHIM et al., 2004; EKEBAFE et al., 2011).

Os hidrogéis têm sido utilizados ainda para melhorar as propriedades edáficas. Na física do solo acredita-se que ele possa influenciar potencialmente na permeabilidade do solo, na densidade, na estrutura, e nas taxas de infiltração de água nos solos. Com esse efeito espera-se que ocorra a diminuição da tendência de compactação, de erosão e de escoamento de água além de aumentar a aeração do solo e a atividade microbiana. Quanto ao efeito na química do solo acredita-se que os hidrogéis possam auxiliar na redução de perda de nutrientes por lixiviação, escoamento superficial e evaporação, uma vez que parte desses nutrientes estaria retida no interior da rede polimérica, pois ao absorver água o hidrogel também absorve esses nutrientes. (EL-REHIM et al., 2004; ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008; XIE; WANG, 2009; EKEBAFE et al., 2011).

O Modelo Nativas do Bioma, proposto por Felfili et al. (2005), se baseia no princípio de que espécies arbóreas de ambientes florestais tendem a apresentar crescimento inicial mais rápido do que espécies savânicas e conseqüentemente podem recobrir mais rapidamente o solo com o sombreamento das copas. Através desse sombreamento a competição por gramíneas exóticas, por exemplo, pode ser minimizada e o desenvolvimento das espécies de Cerrado sentido restrito pode ser facilitado. Dessa forma, o modelo indica o plantio misto de espécies nativas savânicas e florestais. (FELFILI et al., 2005)

Sendo assim, o presente trabalho visa avaliar o efeito do hidrogel em plantio de recuperação implantado com o uso do Modelo Nativas do Bioma em área degradada pela exploração de areia no bioma Cerrado.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Estudar o efeito do hidrogel sobre as propriedades edáficas e sobre a sobrevivência e crescimento de mudas nativas do bioma Cerrado, em área de Cerrado sentido restrito, degradada pela exploração de areia, no Distrito Federal.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito do hidrogel sobre as propriedades físicas e químicas do solo, em plantio de recuperação de área degradada pela exploração de areia, no bioma Cerrado.
- Avaliar o efeito do hidrogel na sobrevivência e no crescimento em altura e em diâmetro à altura do coleto, de mudas de 11 espécies arbóreas nativas, usadas na recuperação de área de Cerrado sentido restrito, degradada pela exploração de areia.
- Descrever o desempenho, apresentado em 28 meses, de 11 espécies arbóreas, selecionadas de acordo com o Modelo Nativo do Bioma, para a recuperação de área de Cerrado sentido restrito, degradada pela exploração de areia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ASPECTOS E CARACTERÍSTICAS DO BIOMA CERRADO

O bioma Cerrado, também conhecido como savana brasileira se estende por área estimada 203 milhões de hectares, ocupando a região central do país e com predominância no Planalto Central (IBGE, 2004). Apresenta acentuada sazonalidade, com seis meses de seca (abril a setembro) e seis meses de chuva (outubro a março) (MARCUIZZO et al., 2012) e segundo o sistema de classificação climática de Köppen, está inserido na classe Aw (tropical chuvoso), caracterizado pela ocorrência de inverno seco e verão chuvoso.

Quanto às características edáficas, em sua maioria, os solos do Cerrado, como também os do Distrito Federal, são da classe dos Latossolos e se caracterizam por apresentar baixa fertilidade natural e elevada acidez (VARGAS; HUNGRIA, 1997; HARIDASAN; 2008). Porém, segundo Haridassan (2008), deve-se ter cautela ao classificar a fertilidade edáfica do Cerrado como baixa, fato recorrente na literatura técnica e científica. Ainda de acordo com o autor, essa classificação se aplica bem apenas às espécies cultivadas para fins de produção e não às espécies nativas do Cerrado, que são adaptadas a tais condições de fertilidade.

Este bioma apresenta grande endemismo de espécies e ampla diversidade biológica (RIBEIRO; WALTER, 2008), sendo reconhecido como a savana mais rica do mundo (IBAMA, 2011). Em relação à flora, estima-se que o Cerrado abrigue mais de 11.000 espécies de plantas nativas (MENDONÇA et al., 2008), das quais 4.400 são endêmicas (MYERS et al., 2000). Toda essa biodiversidade oferece uma imensa e renovável fonte de alimentos, fibras, plantas medicinais, madeira e energia. No entanto, o aproveitamento desta fonte de recursos muitas vezes ocorre de maneira inconsequente (RIBEIRO; WALTER, 2008).

A savana brasileira pode ser dividida em fitofisionomias, sendo que a do Cerrado sentido restrito era inicialmente caracterizada como a que abrangia a maior extensão (cerca de 70% da área total do bioma) (EITEN, 1972). O Cerrado sentido restrito caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas e arbustos e subarbustos distribuídos sobre o terreno. A maioria das árvores apresenta características xeromórficas, como casca espessa e folhas rígidas e coriáceas (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 2008). Esta fitofisionomia está entre as mais

ameaçadas deste bioma, pois, em geral, ocorrem em áreas de relevo plano com grande potencial de uso em atividades agropecuárias devido a maior facilidade de mecanização (FELFILI et al., 2005; RIBEIRO; WALTER, 2008).

Desde a década de 70 o Cerrado vem sendo explorado para a atividade agropecuária (KLINK; MACHADO, 2005). Nas últimas décadas a pecuária se desenvolveu de forma tão significativa que vem sendo a principal forma de ocupação neste bioma (SANO et al., 2008). Essas atividades, apesar de contribuírem significativamente para a geração de empregos e renda, veem degradando cada vez mais o Cerrado que com isso progressivamente vem perdendo sua fisionomia natural (SOUSA et al., 2013).

Os dados sobre estimativa de degradação do Cerrado são conflitantes, Dias (1994) estimou que 37% do Cerrado estavam alterados, quatro anos depois Montovani e Pereira (1998) encontraram 49% desse bioma antropizado, em 2000 Myers et al., publicaram que restavam 20% da cobertura original do Cerrado (MYERS et al., 2000), porém em 2011 o Ministério de Meio Ambiente divulgou que a área nativa do Cerrado estava reduzida a 50,84% (IBAMA, 2011). Apesar dos conflitos, todos os autores alertam para a gravidade da intensidade com que essa degradação vem ocorrendo. Para o Distrito Federal, em específico, dados de 2002 publicados pelo IBAMA (2009) apontaram que a área remanescente de vegetação nativa era de apenas 37%. Esses resultados mostram que vem ocorrendo evolução da degradação do Cerrado, comprometendo assim, a biodiversidade desse bioma (IBAMA, 2009). Essa perda da cobertura vegetal aliada ao alto valor de diversidade biológica e de espécies endêmicas, colocou o Cerrado na lista dos *Hotspot* mundiais de diversidade (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER et al., 2005). Este fato é um alerta para a urgente necessidade de conservação e recuperação do Cerrado brasileiro.

2.2. TERMOS E CONCEITOS EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Para se estudar a recuperação de áreas degradadas (RAD) é necessário compreender previamente o que é área degradada. O conceito de degradação ambiental vem sendo amplamente discutido nos últimos anos (HALLETT et al., 2013). De uma maneira geral, esse termo está relacionado com alterações do ecossistema natural (CORRÊA, 1998). Porém, alguns autores o relacionam apenas a alterações antrópicas (CARPANEZZI et al., 1990; BROWN; LUGO, 1994) enquanto outros afirmam que essas mudanças podem

também ocorrer por motivos naturais (ENGEL; PARROTTA, 2003; CARPANEZZI, 2005).

Em 1990 o IBAMA publicou no manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração que área degradada compreende aquela que se encontra com a camada de cobertura vegetal, fauna edáfica e camada superficial do solo ausentes e qualidade e vazão do sistema hídrico alteradas. Porém, atualmente o conceito mais utilizado relaciona-se com a capacidade de resiliência do ambiente. Se o ambiente não apresenta resiliência, não consegue se recuperar sozinho por meio dos processos sucessionais naturais, diz-se que ele está degradado e necessita da intervenção humana para se recuperar. Mas, se ele ainda mantém sua capacidade de resiliência, diz-se que o ambiente está perturbado e a ação humana apenas acelera essa recuperação (CORRÊA, 1998; ENGEL; PARROTTA, 2003; CARPANEZZI, 2005).

No campo da recuperação ambiental existem, além do termo “área degradada”, outros que também geram discussões entre os técnicos que atuam na área. Por exemplo, os termos recuperação e restauração, por vezes são usados como sinônimos, outras vezes como ações complementares com finalidades diferentes. Desde o século XIX, muitos termos têm sido utilizados para designar os processos naturais e artificiais de reparação de danos ambientais aos ecossistemas. Porém, somente a partir da década de 80, com o desenvolvimento da ecologia da restauração como ciência, a designação restauração ecológica passou a ser mais claramente definida (KAGEYAMA et al., 2003; RODRIGUES, 2013), porém, ainda hoje existem conflitos no emprego deste termo.

Em muitos casos “restauração” é entendido como sendo a tentativa de retornar ao ambiente degradado o seu estado original. Mas, as condições originais de um ecossistema não são totalmente conhecidas e dificilmente consegue-se alcançá-las em um trabalho de restauração. Como definir, por exemplo, qual o estado original a ser restaurado na Mata Atlântica brasileira, submetida a séculos de intervenções antrópicas? Seriam as condições de 50, 100 ou 1000 anos atrás? Como determinar se os ecossistemas remanescentes, tidos com referência, representam essas condições? Ainda que na América haja um acordo tácito para que as condições originais sejam aquelas pré-descobrimento (Cabral ou Colombo) as populações que previamente ocupavam o continente também podem ter promovido extensas alterações (MINTER, 1990; KAGEYAMA et al., 2003; RODRIGUES, 2013).

Diante disso, sempre houve insatisfação em relacionar o termo restauração com retorno ao estado original (RODRIGUES, 2013). Por isso muitos autores e instituições passaram a criar e adotar diferentes definições. Alguns dizem que restauração seria o

retorno de um ecossistema degradado a condições mais próximas possíveis do que seria conhecido como seu estado original (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1992; SNUC, 2000; MARTINS et al., 2012). E em 2004 a *Society for Ecological Restoration* (SER) propôs que restauração seria o processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado ou destruído (SER, 2004) misturando assim, em uma só definição, dois termos conflituosos na literatura, a restauração e a recuperação. Existe ainda, outra linha de pensamento, que diferentemente, segue o conceito de que restauração seria qualquer melhoria da qualidade ambiental de uma área (RODRIGUES, 2013).

Devido a estes conflitos, no Brasil, emprega-se, mais comumente o termo recuperação ao invés de restauração, tanto é que na Constituição Federal (BRASIL, 1988) é este o termo usado. De forma geral, no Brasil, consolidou o termo “recuperação” como sentido genérico para qualquer ação que vise o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização do solo, fornecendo algum uso para a área em questão (MINTER, 1990; SNUC, 2000). Como essa definição genérica é abrangente, costuma-se subdividir o termo recuperação em três categorias: Redefinição, Reabilitação e Restauração (MAJER, 1989).

Sendo redefinição dar algum uso para um ecossistema degradado não necessitando ter vínculo ou afinidade biológica com o ambiente original (MAJER, 1989), como, por exemplo, a transformação de jazidas de pedreira em ponto para prática de esporte radicais. Reabilitação como sendo o retorno do ecossistema degradado a algum estado biológico apropriado no qual os processos ecológicos são reestabelecidos. Nesse contexto, uma nova função e forma biológica são aceitáveis (MINTER, 1990), como por exemplo, formação de pastagens e agricultura ou a criação de lagos de piscicultura em antigas cavas de mineração (MINTER, 1990; RODRIGUES, 2013). Restauração sendo a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original (MINTER, 1990; SNUC, 2000). Porém, na prática, muitas das técnicas utilizadas na recuperação, reabilitação e restauração são as mesmas, sendo que a diferença entre essas abordagens está na definição de metas e objetivos (KAGEYAMA et al., 2003).

Dentro deste contexto de definições podem-se citar ainda os termos “remediação” e “revegetação”. Remediação difere dos demais por ser aplicado especificamente em situações que envolvem fontes potenciais ou reais contaminantes químicos. Revegetação é um termo genérico que se refere a qualquer tipo de estabelecimento de qualquer vegetação (RODRIGUES, 2013).

Apesar das variadas denominações e do emprego mais frequente da nomenclatura recuperação no Brasil, em escala mundial o termo restauração é o que se encontra em

expansão e é o mais utilizado na literatura internacional. Para tanto, a definição adotada pela *Society for Ecological Restoration* considera que restaurar um ecossistema não é copiar exatamente um modelo na natureza, mas sim recuperar a estabilidade e integridade biológica dos ecossistemas naturais (SER, 2004).

Talvez a justificativa para a persistência dos conflitos com essas definições seja que, de modo geral, se considerarmos que alguns campos da ciência vêm sendo desenvolvidos desde a pré-história, a ecologia da restauração é um campo acadêmico novo (YOUNG et al., 2005). Rodrigues (2013) enfatiza que essa área de estudo é recente dizendo “a restauração é uma prática dinâmica que esta mudando enquanto escrevo estas palavras”.

2.3. DEGRADAÇÃO AMBIENTAL *VERSUS* RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA

A degradação dos recursos naturais pelo homem é tão antiga quanto sua existência (RODRIGUES, 2013) e foi intensificada após a revolução industrial, iniciada no século XVIII, quando o crescimento populacional trouxe diversas consequências prejudiciais ao meio ambiente, como o mau uso do solo (RESENDE; PINTO, 2013). No Brasil, desde o descobrimento em 1500, o desenvolvimento econômico e social foi e continua sendo baseado na intensa exploração dos recursos naturais e consequente degradação do meio ambiente.

De forma geral a degradação ambiental no Brasil começou devido à própria ocupação humana e urbanização. Em 1938 o governo do presidente Getúlio Vargas promoveu a chamada Marcha Para o Oeste, na qual o objetivo era ocupar as áreas a oeste da costa brasileira, expandindo dentro do país a economia, a cultura e a consequente degradação ambiental. Em 1960, com a fundação de Brasília, pelo presidente Juscelino Kubitschek, intensificou a ocupação e consequentemente a degradação do planalto central (VARGAS; HUNGRIA, 1997; PINTO et al., 2011). No Distrito Federal (DF) e entorno, após a década de 70, a expansão da produção agrícola aumentou ainda mais os índices de degradação ambiental, em 1998 já estimava-se que para cada hectare urbanizado no DF havia um hectare degradado (CORRÊA, 1998).

Seja pela ocupação desordenada do solo, pela prática agropecuária ou pela mineração, as atividades antrópicas são responsáveis pelo aumento da vulnerabilidade do ambiente aos fatores destrutivos como processos erosivos e incêndios florestais (SOUTO,

2013). No entorno da cidade de Brasília, em específico, a exploração mineral como a de areia e rochas calcárias expõe as áreas naturais do DF a forte ação de degradação (CORRÊA, 1998; SOUTO, 2013). Juntamente com a mineração, as demais práticas que provocam degradação ambiental fizeram com que, atualmente, os grandes remanescentes de vegetação nativa no DF concentrem-se em áreas protegidas por lei. Dentre essas áreas podemos citar: Parque Nacional de Brasília, Estação Ecológica de Águas Emendadas, Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília, Reserva Ecológica do IBGE e a Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília (PINTO et al., 2011).

A degradação causada pela redução da cobertura vegetal é, geralmente, resultado de ações antrópicas e ocasiona perda da biodiversidade e das funções de um ecossistema acarretando em desequilíbrio para fauna e flora (RESENDE; PINTO, 2013). Dependendo da intensidade do impacto ambiental a regeneração das relações ecológicas e a volta do equilíbrio podem ocorrer de forma natural ou não. Se o ambiente não possuir resiliência para superar o impacto, a recuperação do mesmo poderá ser feita por meio da ação antrópica (CORRÊA, 1998; DUBOC; GUERRINI, 2007; VENTUROLI et al., 2011a; MOREIRA et al., 2013; VENTUROLI et al., 2013).

A regeneração natural decorre da interação de processos naturais de restabelecimento e manutenção do ecossistema. Este processo depende de uma série de fatores, como a chegada dos diásporos e a composição do banco de plântulas e de sementes do solo (MOREIRA et al., 2013). Quando esses fatores não ocorrem ou não alcançam padrões suficientes, a ação humana se faz necessária (ANTEZANA, 2008; VENTUROLI et al., 2011a; VENTUROLI et al., 2013).

Através da intervenção antrópica a RAD é uma atividade que frequentemente vem sendo implantada no Brasil (RESENDE; PINTO, 2013). Segundo Rodrigues (2013) a preocupação em “consertar” ecossistemas degradados sempre existiu em diferentes locais e momentos da história, porém, tem ganhando maiores esforços conforme aumenta o grau de impacto ambiental no planeta. Para que se recuperem ambientes degradados através da intervenção antrópica o plantio de mudas é visto com uma boa alternativa para que se dê início a esse processo (DUBOC; GUERRINI, 2007), priorizando que posteriormente o ambiente consiga se manter em equilíbrio por si só. Nesse sentido, a escolha das espécies vegetais a serem usadas é fundamental para o sucesso de um programa de RAD, devendo-se observar atentamente as características das mesmas, principalmente quanto à dispersão das sementes à atratividade para a fauna e ao fornecimento de recursos de alimento e abrigo (RAO, 2014).

Segundo Pinto et al. (2011), geralmente as ações de RAD passam por três estágios básicos. O primeiro é o diagnóstico da área no qual devem ser analisadas as condições ambientais do local, como o histórico de ocupação, o tipo de degradação e a existência de fontes de propágulos. O segundo consiste na intervenção propriamente dita no qual serão executadas ações como: cessar ou controlar o agente degradante, preparo da área para o plantio e o plantio de mudas. O terceiro estágio é aquele em que será executado o monitoramento das ações já realizadas.

O monitoramento é de suma importância para o sucesso de projetos de RAD (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005; PINTO et al., 2011). Deve-se monitorar tanto as espécies plantadas como aquelas que chegarem por regeneração natural após o início do programa (COSTA et al., 2010). Pinto et al. (2011) indicam que as ações de monitoramento devem-se estender por pelo menos três anos após o plantio.

Para monitorar as mudas que foram plantadas pelo menos duas características devem ser levadas em consideração. A primeira é referente à taxa de crescimento (em altura e diâmetro) e a segunda refere-se à sobrevivência (COSTA et al., 2010; FREITAS, 2012). Existem autores que afirmam que a sobrevivência pode ser considerada o principal parâmetro de seleção das espécies para o plantio (DURIGAN; SILVEIRA, 1999). Porém, para Sturion e Antunes (2000) e Ritchie (2010) o diâmetro do coleto é um dos parâmetros mais expressivos para determinar o sucesso no estabelecimento das mudas, em virtude desta variável estar associada ao desenvolvimento do sistema radicular e a sobrevivência da planta depender da capacidade das raízes de nutrir e sustentar a mesma. Segundo Pinto et al. (2011), outro ponto importante do monitoramento é que devem ser eliminados fatores que possam prejudicar o desenvolvimento das mudas plantadas. A eliminação desses fatores envolve, por exemplo, capina ao redor das mudas (coroamento), aceiro da área em recuperação e combate a pragas e doenças (PINTO et al., 2011).

Segundo Dias e Sánchez (2001), mesmo sendo de vital importância para o sucesso de projetos de recuperação de áreas degradadas, o monitoramento em áreas de mineração de areia, em específico, raramente são implementados de modo sistemático. As razões para a pouca importância atribuída à etapa de monitoramento são múltiplas, uma delas é a dificuldade de estabelecer critérios para a avaliação do desempenho dos profissionais, das empresas e dos órgãos ambientais que trabalham na área, ao executarem a RAD, outra é a falta de avanço na esfera da gestão interna das empresas para os processos de RAD (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005).

É possível então apontar que apesar do contínuo avanço nas práticas de RAD muito ainda deve ser feito na área de fiscalização e de monitoramento de resultados (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005). A partir daí certificaremos que os conhecimentos científicos e técnicos, até então acumulados, estariam sendo aplicados da melhor maneira.

2.4. EFEITO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO SOLO

A importância do solo está incrustada no histórico do desenvolvimento da humanidade, ele é considerado um dos recursos naturais mais importantes para a qualidade de vida do homem atuando em múltiplas funções nos ciclos dos nutrientes e da água e influenciando diretamente na produção de alimentos (LEPSCH, 2010). Sendo assim, o conhecimento dos solos e de suas propriedades edáficas, o manejo adequado e sua conservação tornam-se cada vez mais importantes, tanto para a produção econômica como para as atividades ligadas à conservação e à preservação, sejam elas científicas ou ambientais (VARGAS; HUNGRIA, 1997; LEPSCH, 2010).

Sabe-se que o processo de degradação ambiental afeta severamente a qualidade física e química do solo (DIAS et al., 2007; CORRÊA, 2009; RAO, 2014). A qualidade física do solo foi definida por Kay et al. (1994) como o crescimento das plantas sendo influenciado pela porosidade, densidade e compactação do solo e pela disponibilidade de água. Dentre essas propriedades, a porosidade e a densidade foram também destacadas por Hussain et al. (1997) como indicadores da qualidade edáfica. A estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes para o crescimento das plantas, e pode ser avaliada por meio da porosidade, umidade, densidade e matéria orgânica do solo, aspectos que comumente encontram-se comprometidos em áreas degradadas (FELFILI et al., 2008; CORRÊA, 2009).

Os parâmetros de densidade e de porosidade frequentemente aparecem relacionados com a presença de camadas compactadas do solo, permitindo análises em conjunto para esses atributos (LANZANOVA et al., 2007). Em decorrência da compactação as raízes das plantas podem encontrar dificuldade em penetrar no solo e, por isso, tenderem a concentrar o sistema radicular próximo à superfície, fazendo assim, com que a planta seja mais susceptível a déficits hídricos (NOVAIS; MELO, 2007; LANZANOVA et al., 2007). A compactação pode ainda provocar modificações na estrutura, distribuição e tamanho dos

poros, bem como na retenção, no movimento e na disponibilidade de água no solo (MACHADO et al., 2008).

Quanto à qualidade química, destacam-se os teores de nutrientes, pois expressam a fertilidade do solo, sendo fundamentais para o desenvolvimento e nutrição dos vegetais. Além disso, em ecossistemas nativos a ciclagem de nutrientes é a grande responsável pela manutenção do bom funcionamento do solo e do ecossistema como um todo (LOPES; GUILHERME, 2007). Porém, em ambientes degradados, geralmente, os teores de nutrientes se apresentam em quantidades insuficientes (FELFILI et al., 2008; CORRÊA, 2009), por isso, nestes casos, geralmente, é necessário a aplicação de adubos e fertilizantes para o retorno da qualidade química edáfica (CORRÊA, 2009).

O manejo aplicado ao solo pode então, influenciar severamente as propriedades edáficas, dependendo da intensidade podem ocorrer, por exemplo, alterações na estrutura e no comportamento físico-hídrico (MACHADO et al., 2008; CORRÊA, 2009, ARNOLD et al., 2014). Quando o manejo resulta em degradação ambiental, frequentemente, confia-se à vegetação a função de recuperar as características químicas e físicas do solo, função esta também conferida ao substrato quando a área está intensamente degradadas. As plantas podem exercer papel fundamental para a reestruturação do solo atuando através das raízes e atraindo a fauna edáfica que por sua vez também contribuirá para a qualidade desse ambiente (MUNDIM, 2004; DIAS et al., 2007). Fato semelhante a este foi verificado por Arato et al. (2003) que em estudo com área degradada mostrou que espécies vegetais contribuíram significativamente com a recuperação da fertilidade do solo, principalmente na camada superficial.

Segundo Dias et al. (2007) qualquer tipo de vegetação capaz de recobrir o solo de área degradada pela mineração é mais vantajoso do que a exposição direta ao intemperismo. Apesar disso, o recobrimento do substrato por espécies nativas tem se mostrado ser o mais eficiente para o solo. Maltoni e Valério Filho (2000) observaram que área revegetada por espécies nativas apresentou melhores resultados, em termos de teor de matéria orgânica, do que a proteção conferida por espécie exótica como o eucalipto.

O modo como as espécies plantadas em área degrada irão interagir com as propriedades físicas e químicas edáficas irá depender muito do tipo de solo e de suas características intrínsecas (ARNOLD et al., 2014). O Neossolo Quartzarênico, por exemplo, geralmente, possui baixa capacidade de armazenamento de água, de agregação das partículas minerais, baixo teor de matéria orgânica, facilidade de perda de nutrientes móveis no solo (nitrogênio e potássio) por lixiviação e pode ser muito suscetível à erosão,

fatores estes que são limitantes ao bom desenvolvimento vegetal. Essas características estão relacionadas ao fato de que o principal constituinte da fração sólida desse solo é o grão de areia. Por isso, o Neossolo Quartzarênico é tido como de baixa aptidão agrícola e o uso desse solo deve ser executado com manejo adequado para minimizar as perdas de água e de nutrientes e combater processos erosivos. No Cerrado, os Neossolos Quartzarênicos ocupam cerca de 15% do território e devido as suas características não são tão visados para a agricultura como os Latossolos, mas são utilizados pela mineração para extração de areia quartzosa para a construção civil, atividade que provoca degradação desse solo que segundo Corrêa (2009) é difícil de se recuperar sem a contribuição antrópica (CORRÊA, 2009).

2.5. ASPECTOS DA MINERAÇÃO

A exploração de minérios representa um importante segmento da economia nacional, constituindo fonte de riqueza no Brasil há vários séculos e está incrustada na história e no desenvolvimento do nosso país (LOES, 1998). O Brasil se destaca internacionalmente no mercado da mineração sendo que no mercado nacional, um dos produtos de grande relevância é a areia, principalmente a destinada para a construção civil (LEITE et al., 2013).

A areia é matéria-prima essencial à construção civil e na indústria (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005). Em 2002 existiam no Brasil cerca de 2.000 empresas dedicadas à mineração de areia (DNPM, 2002). O consumo de areia se dá praticamente todo na indústria da construção civil. Logo, grande parcela do mercado desse produto se encontra nos países em desenvolvimento, como Brasil (DNPM, 2013). No Brasil, a areia para construção é produzida em todas as unidades da federação sendo que as duas principais fontes de extração são os leitos de rio (extração por dragagem) e as várzeas (extração em cavas) (DNPM, 2013). Apesar de 70% da produção de areia brasileira ser praticada em leitos de rios, no Distrito Federal é comum a exploração não somente de areia, mas também de cascalho, argila e saibro, em área de Cerrado sentido restrito (CORRÊA, 1998).

Em 1998 estimava-se que 3% da área do DF era ocupada pela exploração mineral (CORRÊA, 1998). Em 2012, o DF foi a unidade da federação com maior preço médio de areia, R\$ 40,00/t, enquanto que o menor preço médio foi R\$ 14,50/t, em Roraima (DNPM, 2013). Apesar da sua importância econômica, da geração de emprego e renda, deve-se

ressaltar que a atividade mineraria está associada a vários tipos de impactos ambientais, incluindo: geração de ruído, contaminação das águas, poluição atmosférica, desmatamento, erosão e alteração na topografia da região pela abertura de cavas, pelo acúmulo de rejeitos e empilhamento de estéreis (LEITE et al., 2013; SONTER et al., 2014). Por isso é importante que após o término da exploração mineral essas áreas sejam recuperadas.

2.5.1. Recuperação de áreas degradadas pela mineração

O processo de mineração envolve a movimentação de grandes volumes de materiais, pois, na maioria das vezes, o produto de interesse encontra-se no subsolo, sendo necessário remover a camada superior do solo (PILLON et al., 2010; RAO, 2014). Sendo assim, a exploração de minérios é uma prática de elevado impacto que tem como consequência imediata a exposição do substrato. Quando é realizada a céu aberto essa exposição se agrava devido ao contato direto com os raios solares e os agentes de erosão hídrica e eólica. Os ciclos de umedecimento e secagem e o impacto de gotas de chuva promovem a desagregação do solo e aceleram a perda da matéria orgânica, facilitando o processo erosivo (DIAS et al., 2007; ARNOLD et al., 2014).

Sem a intervenção antrópica as áreas que sofreram grandes perdas e movimentações das camadas do solo demoram muito tempo para se recuperarem (PILLON et al., 2010). Schafer et al. (1979) constataram tal demora em estudo em área de mineração nos EUA. Os resultados apontaram que para se recuperar a camada superior de cinco centímetros do solo foram necessários cerca de 50 anos. Sendo assim, a interferência humana é necessária para promover a aceleração do processo de regeneração natural nas áreas mineradas (SILVA; CORRÊA, 2008).

Através de práticas de recuperação de áreas mineradas, é possível elevar a fertilidade dessas áreas e minimizar processos erosivos (SOUTO, 2013; ARNOLD, et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014) para favorecer o estabelecimento e desenvolvimento de vegetais. Embora as áreas mineradas sejam ambientes distintos dos naturais pode-se usar o conhecimento de sucessão ecológica para a investigação das melhores espécies a serem utilizadas nos projetos de recuperação (MUNDIM, 2004; OLIVEIRA et al., 2014).

O processo de recuperação de áreas mineradas necessita de profunda intervenção técnica em busca de condições mínimas de estrutura e fertilidade do solo para promover o estabelecimento de uma nova cobertura vegetal (FREITAS, 2012; RAO et al., 2014;

VIRAH-SAWMY et al., 2014). Além disso, existe a preocupação de que os processos de recuperação de áreas mineradas devem ser iniciados antes da abertura da lavra (MINTER, 1990). Pois dessa forma pode-se previamente determinar o uso futuro da área, o planejamento da retirada de cobertura vegetal e da camada superficial do solo (CORRÊA, 1998) e principalmente, promover o levantamento da fauna e flora para que posteriormente tenha-se informações suficientes para devolver o equilíbrio ecológico àquele ambiente (RAO, 2014).

Nas minerações de areia, em geral, há dois tipos de áreas, onde é necessária a revegetação: áreas de mata ciliar e áreas operacionais da mineração. Mata ciliar, segundo o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) é área de preservação permanente (APPs) e deve ser revegetada exclusivamente com espécies nativas. As áreas operacionais da mineração envolvem: margens de cavas, áreas de deposição de rejeitos, locais de estocagem, instalações de beneficiamento, oficinas, escritórios e demais construções. Nestes casos o plantio pode ser feito com espécies não necessariamente nativas, e depende da recuperação planejada e dos objetivos de uso da área após o encerramento da mineração (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005).

Em mineração a céu aberto (caso da maioria das extrações de areia), normalmente, o solo superficial é retirado, armazenado e retornado ao local de origem após a retirada do minério. Como consequência dessa prática ocorre perda da matéria orgânica, redução de atividade biológica, desestruturação e compactação do solo e intensificação de processos erosivos. Em decorrência desses danos ocorrem outros prejuízos como: redução da permeabilidade do solo, da aeração do solo, da disponibilidade de água, da taxa de difusão de nutrientes e do crescimento do sistema radicular vegetal (NOVAIS et al., 2007).

O retorno da camada superficial do solo (CSS) é amplamente utilizado e tem papel fundamental no processo de revegetação, pois possui material orgânico oriundo da vegetação, principalmente propágulos (como sementes e plântulas) e a microbiota do solo, que serão fatores essenciais para a regeneração do ecossistema. A CSS possibilita então maior disponibilidade de nutrientes, além da melhoria de características físicas do solo, sendo por isso, considerada de grande valor ecológico e monetário (DIAS et al., 2007, CORRÊA, 2009; RAO, 2014).

Em estudo de recuperação de área degradada pela mineração, Dias et al. (2007) notaram que na região que foi revegetada com a CSS as mudas apresentaram 90% de sobrevivência aos 34 meses após o plantio, enquanto que a região na qual não foi usada a CSS a sobrevivência foi de 65%. A cobertura com a CSS pode contribuir de maneira tão

efetiva que diferentes órgãos governamentais, ligados ao meio ambiente adotam essa prática como obrigatória em projetos de recuperação de áreas mineradas. Porém, o manejo da CSS é uma etapa crítica que deve ser executada de maneira criteriosa para a preservação da qualidade do material.

Os estudos que selecionam espécies que se adaptam ao ambiente de mineração são escassos, sendo assim, a pesquisa voltada para essas espécies é de extrema importância (PILLON et al., 2010). Silva e Corrêa (2008) em estudo em área minerada no Cerrado mostraram que apesar das dificuldades e peculiaridades que essas áreas apresentam é possível que espécies nativas se desenvolvam nesse ambiente. Esses autores consideraram os resultados por eles encontrados como excelentes no que diz respeito à sobrevivência de determinadas espécies nativas, destacando *Tapirira guianensis*, *Inga marginata* e *Genipa americana*. Porém, os mesmos autores destacam a necessidade de se aprimorar as técnicas de plantio que proporcionem maior sobrevivência e melhor desenvolvimento das espécies, principalmente quando se tratam de espécies nativas em áreas mineradas no Cerrado, pois muitos projetos não têm apresentado resultados satisfatórios.

2.6. MODELO NATIVAS DO BIOMA

Diversas técnicas veem sendo desenvolvidas com o intuito de acelerar a recuperação de áreas degradadas e minimizar os custos financeiros desse processo (FELFILI et al., 2005; FELFILI, 2007). Para as áreas de Cerrado sentido restrito um modelo que se destaca é o Modelo Nativas do Bioma, proposto por Felfili et al. (2005), ele é empregado a partir do plantio misto de espécies de formações florestais e de formações savânicas.

O modelo vem sendo testado por diversos pesquisadores (FELFILI, 2007; PINTO et al., 2007; PINTO et al., 2011) e se baseia no princípio de que devido ao crescimento acelerado das espécies florestais, estas recobrirão o solo de forma mais rápida, promovendo o sombreamento que proporcionará a redução de gramíneas invasoras e consequentemente facilitará a regeneração natural e o desenvolvimento das espécies de savana. Enquanto isso espera-se que, de forma geral, as espécies características de ambientes de savânicos cresçam lentamente na parte aérea ao passo que desenvolvem raízes profundas que muito contribuem para a recuperação do solo (FELFILI et al., 2005). Embora as espécies florestais não ocorram naturalmente no Cerrado sentido restrito,

quando elas são plantadas em covas profundas e com solo corrigido e adubado podem se desenvolver de modo satisfatório (PINTO et al., 2011).

O Modelo Nativas do Bioma prioriza ainda, o plantio de espécies de usos múltiplos, que são aquelas que oferecem ao produtor recursos diversos ao longo do seu ciclo de vida, como *Dipteryx alata* Vogel, vulgarmente conhecida como Baru, que fornece madeira, fruto com polpa e sementes comestíveis tanto em natura quanto em iguarias regionais e óleo que pode ser usado para fabricar sabão caseiro (FELFILI et al., 2005; FELFILI, 2007; PINTO et al., 2007; PINTO et al., 2011). A utilização de espécies de usos múltiplos em recuperação de áreas degradadas pode, além de recuperar a área, preservar a flora e fauna nativas e oferecer ao proprietário uma renda extra a partir da exploração comercial sustentável dessas espécies, dessa forma incentiva-se a preservação e recuperação da vegetação nativa (PINTO et al., 2011).

Segundo Felfili et al. (2005) dentre os atributos do Modelo Nativas do Bioma destacam-se:

- Abrangência: atuação das áreas recuperadas com o modelo como “*stepping stones*” ou trampolins de biodiversidade, oferecendo interligação entre a fauna e a flora circunvizinhas e facilitando o fluxo gênico entre essas “ilhas”;
- Versatilidade: as áreas recuperadas com o modelo podem, posteriormente, serem convertidas em área exclusiva de espécies savânicas ou exclusiva de espécies florestais. A conversão pode ser feita a partir do manejo com desbastes e pela condução da regeneração natural; e
- Retorno sócio-ambiental: além do retorno econômico oferecido pelas espécies de usos-múltiplos o modelo contribui sócio-ambientalmente ao promover a atração da fauna e a readequação da paisagem degradada.

Pinto et al. (2007) usando o Modelo Nativas do Bioma obtiveram 57% de sobrevivência entre as mudas plantadas em pasto abandonado e consideraram esse valor satisfatório para a situação da área de estudo. Também usando o mesmo modelo Giotto (2010), trabalhando em matas de galeria, obteve 59% de sobrevivência das mudas. Souto (2013), com experimento em recuperação de área degradada, no Cerrado sentido restrito, obteve 55% de sobrevivência das mudas plantas de acordo com o modelo. Cortes (2012), também em área degradada, executou plantio de 720 mudas de acordo com o Modelo Nativas do Bioma e encontrou sobrevivência de até 89,58%. Além disso, esse último autor observou ainda 23 espécies advindas de regeneração natural, sendo que todas elas

apresentaram altos valores de sobrevivência, variando de 66,67% a 100%, comprovando a eficiência do modelo. Todos esses autores consideraram que seus resultados sustentaram a viabilidade de uso do Modelo Nativa do Bioma em projetos de recuperação de áreas degradadas, indicando o mesmo como promissor.

2.7. DEFINIÇÕES E ASPECTOS GERAIS DO HIDROGEL

A designação hidrogel pode ser usada como sinônimo para polímero hidroabsorvente, polímero hidrodentor, polímero superabsorventes, polímero hidrofílico ou polímeros formadores de gel, entre outras. O termo polímero tem origem grega, onde *poli* significa muitas e *meros* significa partes, pois ele é uma macromolécula formada por milhares de partes de unidades de repetição denominadas meros (LIMA; SOUZA, 2011; AHMED, 2013).

Trabalhos como os de Kazanskii e Dubrovskii (1992), Fonteno e Bilderback (1993), Jhurry (1997), El-Rehim et al. (2004), Liu et al. (2007), Ekebafé et al. (2011), Lima e Souza (2011) e Ahmed (2013) explicam as sínteses e definem o termo hidrogel. De forma geral esses trabalhos descrevem que o produto se constitui em meros que se organizam em redes poliméricas hidrofílicas tridimensionais formando um composto altamente hidrofílico que é capaz de aumentar seu volume através da absorção de água.

Os mesmos autores explicam que ao entrar em contato com a água as moléculas de H₂O se alojam entre as redes tridimensionais do polímero provocando a expansão dessas redes e o conseqüente aumento de volume da unidade do hidrogel. El-Rehim et al. (2004) e Liu et al. (2007), comentam ainda que a grande capacidade de expansão do volume desse produto pode ultrapassar várias vezes o seu peso inicial.

Em ausência da água a estrutura das moléculas confere aos hidrogéis a forma granular e quebradiça, visualmente semelhante a cristais. Porém, quando hidratados eles apresentam consistência macia e elástica (FONTENO; BILDERBACK, 1993; EKEBAFE et al., 2011) semelhante a uma gelatina.

Segundo Lima e Souza (2011) e Ahmed (2013) os hidrogéis podem ser classificados de diversas formas, por exemplo, pela fonte do qual foi originado, pela composição do polímero, pela configuração, pelo tipo de ligação entre as moléculas, pela aparência física ou com pela rede de carga elétrica. Baseados na classificação pela fonte de matéria prima Zohuriaan-Mehr e Kabiri (2008) comentam sobre duas classes de hidrogéis:

naturais e sintéticos. Os naturais, também chamados de biopolímeros (JHURRY, 1997, XIE; WANG, 2009) derivam de carboidratos como quitina, celulose, amido, e gomas naturais (como xantano). Apesar do nome os hidrogéis naturais frequentemente recebem a adição de compostos sintéticos.

Por outro lado, os sintéticos são, em sua maioria, derivados da indústria petroquímica (LIMA; SOUZA, 2011), sendo o poliacrilato o principal material utilizado na síntese desses hidrogéis. Os trabalhos de Jhurry (1997), Nnadi e Brave (2011) e Ahmed (2013) descrevem as características e propriedades químicas dos hidrogéis e abordam os diversos métodos de síntese do mesmo através de processos de polimerização. Esses autores explicam que o poliacrilato é derivado de subprodutos da produção de etileno e gasolina, sendo, portanto, um material não renovável e dependente da indústria do petróleo.

Apesar de oferecerem matéria prima abundante e barata, os hidrogéis naturais, requerem alto custo para a purificação necessária para maioria das aplicações (ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008; NNADI; BRAVE, 2011). Isso somado ao excelente equilíbrio preço-eficiência dos sintéticos torna-os dominantes no mercado mundial de produção de hidrogéis. (JHURRY, 1997; ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008; NNADI; BRAVE, 2011).

Porém, cada vez mais tem se procurado por alternativas que promovam a sustentabilidade, a facilitação da biodegradação e a não toxicidade (LIMA; SOUZA, 2011). Em decorrência disso a procura por melhorias nos hidrogéis naturais vem crescendo desde o fim da década de 90 (JHURRY, 1997; ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008; XIE; WANG, 2009; NNADI; BRAVE, 2011). Na agricultura a grande maioria dos hidrogéis utilizada ainda é sintética derivada do petróleo (ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008). Mas Nnadi e Brave (2001) testaram quatro diferentes tipos de polímero superabsorvente à base de amido com a cultura do rabanete e obtiveram resultados positivos mostrando que essa pode ser uma alternativa ao uso do polímero derivado da indústria petroleira.

2.7.1. Histórico e aplicações dos hidrogéis

Existem relatos de que a primeira síntese de polímero hidroabsorvente data do final da década de 50 e foi desenvolvida por uma empresa americana e que até então o poder de inchaço dos hidrogéis seria em torno de 40 a 50% do seu peso inicial. (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; AZEVEDO et al., 2002; ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008). Porém, existem aqueles que consideram que os pioneiros nesse tipo de trabalho foram os cientistas Otto Wichterle e Drahoslav Lim, que na década de 60 introduziram aplicabilidades comerciais aos hidrogéis (AHMED, 2013).

Essa primeira geração de produção de hidrogéis foi usada no desenvolvimento de lentes de contato que mudaram definitivamente os caminhos da oftalmologia (WICHTERLE; LIM, 1960). A partir de então muitos foram os esforços para aprimoramento desses compostos e conseqüentemente das lentes de contato (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992). Um intenso desenvolvimento de hidrogéis, com alto poder de absorção começou no final da década de 70, quando uma empresa britânica melhorou as propriedades de retenção de água do polímero, elevando a sua capacidade de retenção de 40 para 400 vezes. (AZEVEDO et al., 2002). Assim, os hidrogéis passaram a receber outras aplicações além da oftalmologia, como: produtos de higiene, materiais para área de saúde e outros campos da indústria produtiva onde a absorção e retenção de líquidos são importantes. (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; EL-REHIM et al., 2004; LIU et al., 2007, AHMED, 2013).

No âmbito da agricultura, embora já na década de 50 a *Monsanto Chemical Company* dos Estados Unidos da América tenha desenvolvido um hidrogel denominado Krilium®, o produto foi retirado do mercado pelo seu alto custo, complexidade na utilização e baixa eficiência no solo, e somente no início dos anos 80, depois dos avanços na área da higiene e da saúde, os hidrogéis se fixaram de forma consistente também na área da agricultura (JHURRY, 1997).

Porém, como o uso desses polímeros ainda era muito dispendioso financeiramente, em meados da década de 80 iniciaram-se as pesquisas de incentivo ao agricultor para acelerar as vendas do produto (AZEVEDO et al., 2002). Seguindo essa linha de pesquisas, em 1992 Kazanskii e Dubrovskii publicaram um importante trabalho que ainda hoje é muito utilizado como base em estudos sobre os aspectos químicos e físicos dos hidrogéis na agricultura. E desde então diversos trabalhos como os de Fonteno e Bilderback (1993), Jhurry (1997), El-Rehim et al. (2004), Liu et al. (2007), Zohuriaan-Mehr e Kabiri (2008),

Ekebafé et al. (2011), Nnadi e Brave (2011), Moreira et al. (2012), Carvalho et al. (2013), Marques et al. (2013), Mendonça et al. (2013) Venturoli et al. (2013) entre outros, veem sendo executados com a finalidade de checagem e aprimoramento da eficiência dos hidrogéis para uso agrícola.

No Brasil, na agricultura, os polímeros hidroabsorventes estão sendo utilizados na produção de frutas, hortaliças, espécies cultivadas e mudas de diversas espécies, bem como na formação de gramados em jardins, campos de futebol e de golfe. No entanto, faz-se necessário conhecer mais sobre a atuação dos hidrogéis como condicionador do solo e quantificar a contribuição advinda da aplicação do produto na disponibilidade de água, em diferentes tipos de solos e com diferentes espécies vegetais (OLIVEIRA et al., 2004; LIMA; SOUZA, 2011).

2.7.2. Aplicações agrícolas e ambientais dos hidrogéis

O fornecimento de água para satisfazer a necessidade hídrica é extremamente importante na formação das mudas, pois a falta ou o excesso de água pode limitar seu desenvolvimento (CARVALHO et al., 2013). A ação do hidrogel no solo pode auxiliar nesse quesito oferecendo, de forma lenta e gradual, água para a planta (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; BAKASS et al., 2002; EKEBAFE et al., 2011).

Quando são usados para a agricultura ou silvicultura, normalmente, os hidrogéis são hidratados e colocados diretamente nas covas ou sulcos de plantio, há alguns centímetros abaixo do solo, juntamente às mudas ou sementes (EKEBAFE et al., 2011). As raízes das plantas, vão então crescer por dentro dos grânulos do polímero hidratado, tendo assim, maior superfície de contato das raízes com água e nutrientes. Dessa forma, em períodos de déficit hídrico o hidrogel fornecerá, para a planta, a água que absorveu e acumulou durante o período chuvoso. Estima-se que esses ciclos de umedecimento e secagem desses polímeros possam durar entre cinco a sete anos (EKEBAFE et al., 2011).

Partindo do pressuposto de que o hidrogel irá acumular as moléculas de H₂O espera-se que ocorra redução da perda de água por evaporação, por escoamento superficial e por percolação. Com menor quantidade de água sendo perdida, maior será a eficiência do uso desse recurso, conseqüentemente, espera-se que haja diminuição da frequência de irrigação. Essa redução da frequência de irrigações em uma plantação ou em um viveiro de produção de mudas, por exemplo, possui importância significativa. Pois, além das questões

socioambientais relativas ao consumo de água, a irrigação pode elevar o custo da produção e ocasionar lixiviação dos nutrientes, aumentando o gasto com insumos, mão de obra e equipamentos (ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; CARVALHO et al., 2013; AZEVEDO, 2014). Abedi-Koupai e Asadkazemi (2006), Carvalho et al. (2013), e Azevedo (2014), em trabalhos com *Cupressus arizonica*, *Passiflora edulis flavicarpa* e *Eucalyptus sp.* respectivamente, evidenciaram o efeito da diminuição da frequência de irrigação graças ao uso do hidrogel.

Além da economia de água e energia pela redução de intensidade de irrigação, a ação do hidrogel pode contribuir para minimizar os gastos financeiros através da redução de perdas de mudas por mortalidade, redução da mão de obra de replante, maior qualidade fisiológica da planta e consequente maior produtividade (EKEBAFE et al., 2011). Essas vantagens fizeram com que diversos autores (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; JHURRY, 1997; REZENDE, 2001; BAKASS et al., 2002; ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008; EKEBAFE et al., 2011; SHOOSHTARIAN et al., 2012) indicassem o uso do hidrogel na agricultura, principalmente em zonas áridas e em solos arenosos (por apresentarem maior tendência de perda de água por escoamento e infiltração).

Em ambientes áridos, durante os dias quentes, as raízes das plantas retiram e esgotam a maior parte da água disponível da área próxima ao sistema radicular, causando assim o chamado “estresse hídrico”, pela redução do estoque de água no solo (EKEBAFE et al., 2011). Quando adicionado ao solo, o hidrogel pode atuar como "miniatura de reservatório de água", reduzindo o efeito desse estresse. As raízes entram em contato com as moléculas de H₂O retidas no hidrogel e a água será então removida a partir destes reservatórios, sobre a demanda da planta, através da diferença de pressão (ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008; EKEBAFE et al., 2011). Em estudo com *Prunus cerasifera*, Oraee e Moghadam (2013) relatam que o uso do hidrogel resultou em diminuição do estresse hídrico.

Através de sua ação básica de reter água estima-se ainda que o hidrogel possa atuar como condicionar do solo possibilitando a melhoria das qualidades físicas e químicas edáficas. Em relação à física, ao manter a água próxima às raízes, aumentando a umidade da porção de solo adjacente, consequente haverá melhoria na aeração e diminuição da tendência de compactação. Quanto à química do solo, ressalta-se o fato de que quando adicionado ao solo o hidrogel retém não somente as moléculas de H₂O como também um vasto conjunto de sais e nutrientes que se encontram dissolvidos na solução do solo. Estima-se que estes nutrientes seriam, assim como a água, liberados à medida que a planta

e a raiz os requisitarem (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; LIU et al., 2007; EKEBAFE et al., 2011).

Seguindo essa linha de pensamento, acredita-se ainda que os hidrogéis possam auxiliar na redução de perda de nutrientes por lixiviação, escoamento superficial e evaporação, uma vez que parte dos elementos nutritivos estaria retida no interior da rede polimérica. Esse é um ponto de destaque, pois, as perdas dos nutrientes e fertilizantes podem trazer não só prejuízos relacionados à nutrição do vegetal, como também pode provocar graves problemas ambientais como a poluição de corpos d'água, além de resultar em perdas financeiras relacionadas ao desperdício de fertilizantes aplicados ao solo (JHURRY, 1997; LIU et al., 2007; EKEBAFE et al., 2011).

Neste sentido, vêm sendo feitos estudos com o intuito de promover a aplicação de fertilizantes acoplados a hidrogéis. Para que os nutrientes sejam liberados de forma lenta à medida que a planta necessitar e não sejam demasiadamente desperdiçados (LIU et al., 2007). Apesar disso, estudos sobre a interação entre hidrogéis, substratos e fertilizantes, ainda são escassos e não conclusivos, merecendo assim mais atenção por parte de pesquisadores (SITA et al., 2005; LIMA; SOUZA, 2011).

Os resultados com o uso do hidrogel na área agrícola e ambiental não apontam direção única. Em estudo com espécies cultivadas no sul do Marrocos, Bakass et al. (2002) obtiveram resultado positivo para o uso do hidrogel. A eficiência do produto também foi observado por El-Rehim et al. (2004) em trabalho com *Zea mays*, por Cortés et al. (2007) com *Crimpsion giant*, por Lopes et al. (2010) no estudo de *Eucalyptus urograndis* por Moreira et al. (2010) com *Morus sp.*, por Bernardi et al. (2012) com *Corymbia citriodora*, por Moreira et al. (2012) com *Rubus sp.*, por Carvalho et al. (2013) com *Passiflora edulis flavicarpa*, por Dranski et al. (2013) com *Jatropha curcas*, por Marques et al. (2013) com *Coffea arábica*, por Oreae e Moghadam (2013) com *Prunus cerasifera*, por Azevedo (2014) com mudas clonais de *Eucalyptus sp* e por Mews (2014) e Luduvico (2014), com mudas nativas do Cerrado em casa de vegetação.

Por outro lado, a ausência do efeito do hidrogel foi observada por Martins *et al.* (2004) em experimento com *Coffea canephora*, por Oliveira et al. (2004) no plantio com Cafeeiro, por Saad et al. (2009) com *Eucalyptus urograndis*, e por Barbosa (2013) em estudo com espécies nativas da mata atlântica.

Além disso, há estudos que encontraram, no mesmo experimento, efeito positivo do hidrogel sobre alguns atributos e ausência do efeito em outros. Demartelaere et al. (2013) em trabalho com *Cucumis melo* observaram maior desenvolvimento de raízes e maior

número de frutos no tratamento com uso de hidrogel, mas notaram também o polímero não influenciou no peso dos frutos. Outro exemplo é o trabalho de Marques e Bastos (2010) que encontraram efeito positivo do hidrogel sobre a produção de massa seca aérea e a qualidade das mudas de *Capsicum annuum*, mas não observaram efeito algum sobre o desenvolvimento radicular e a altura das mudas.

Existem ainda experimentos que advertiram o possível efeito negativo do hidrogel. Sousa et al. (2013) relataram que em estudo com *Anadenanthera peregrina* apesar de o hidrogel não ter influenciado no desenvolvimento da parte aérea, causou efeito negativo na qualidade das mudas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo faz parte de um empreendimento de exploração mineral de areia em fase de lavra, localizada no Distrito Federal, na Fazenda Rafaela (Sálvia), lote 120, núcleo rural da região administrativa de Sobradinho ($15^{\circ}42'32.4''\text{S}$; $47^{\circ}42'6.3''\text{W}$) (Figura 1). O solo da área de classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2013), e a vegetação nativa, antes da exploração, como Cerrado sentido restrito. O clima local e do tipo Aw, segundo o sistema de classificação climática de Köppen, com acentuada sazonalidade, com seis meses de seca (de abril a setembro) e seis meses de chuva (de outubro a março) (MARCUIZZO et al., 2012) (Figura 2).

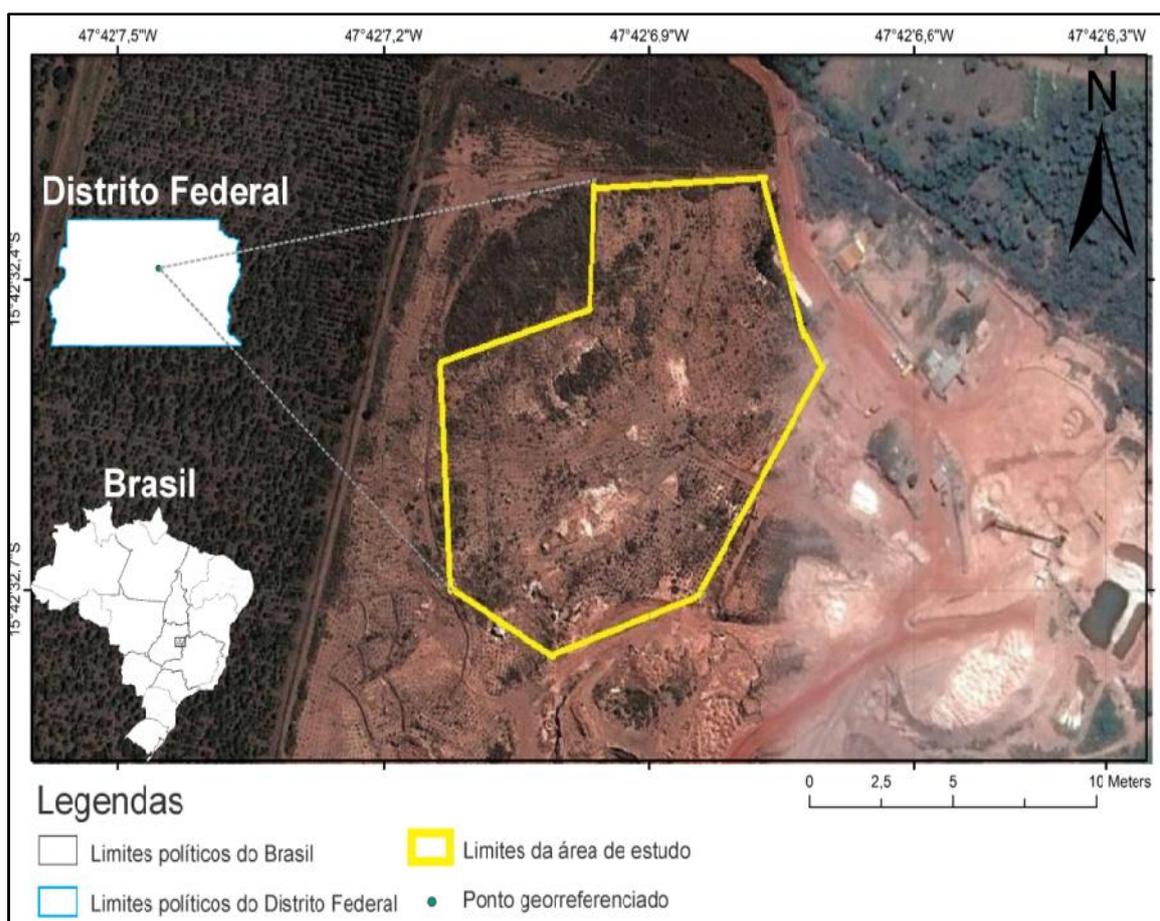


Figura 1 - Localização da área de estudo com demarcação do polígono que contém a área de plantio do experimento. Fonte: Google Earth® 2014.

O empreendimento está devidamente licenciado pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM-DF) e está sendo explorado pela empresa Brasília Calcário Agrícola Ltda (Bracal). A Licença de Operação do empreendimento prevê um Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) que está sendo devidamente cumprido pelos empreendedores. No entanto, conforme as exigências estabelecidas, muitas questões merecem ser estudadas, a fim de otimizar o processo de recuperação da área degradada e até mesmo para aumentar as chances de sucesso ou diminuir o tempo do processo de recuperação ambiental.

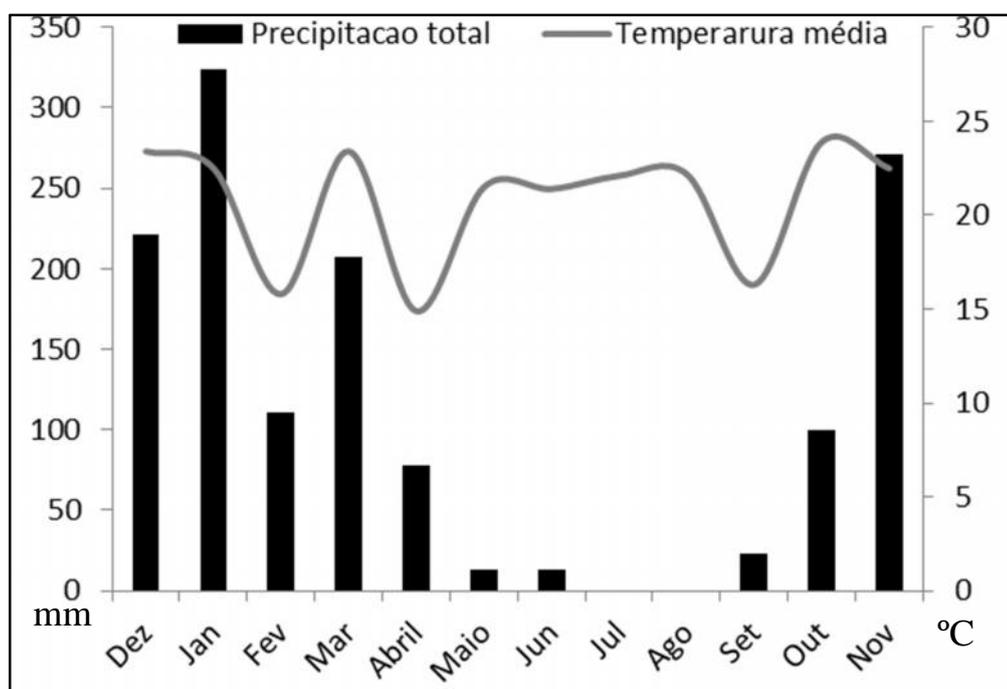


Figura 2 - Climatograma apresentando dados referentes ao tempo do experimento (o mês de dezembro contém as médias para os anos de 2010, 2011 e 2012, referentes ao plantio e as coletas de dados de crescimento e sobrevivência; os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho e agosto contêm as médias dos anos de 2011, 2012 e 2013, referentes à coleta de dados de sobrevivência e crescimento e de amostras de solo em 2013; os demais meses, setembro, outubro e novembro, contêm as médias dos anos de 2011 e 2012 referentes às coletas de dados de crescimento e sobrevivência; a escala a esquerda do gráfico indica valores de precipitação total e a escala a direita, valores de temperatura média). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (2014).

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para a exploração da área, inicialmente, realizou-se a retirada e armazenamento da serapilheira, seguida pela retirada da vegetação nativa, mediante desmatamento, e posterior

remoção da camada superficial do solo (CSS) até encontrar a camada de areia com qualidade para a exploração. A CSS foi estocada em áreas adjacentes à exploração mineral com o intuito de reutilizá-la posteriormente no projeto de recuperação de área degradada (RAD). Sendo assim, após a exploração da areia, a CSS e a serapilheira previamente armazenadas foram devolvidas para a área, formando uma cobertura de solo sobre o substrato minerado.

Em seguida, para a implantação do projeto de RAD, foi realizado o nivelamento e o terraceamento com trator de esteira, no intuito de facilitar a infiltração de água, evitando o escoamento superficial do solo recém-acomodado, o que, possivelmente, causaria erosão hídrica e abertura de sulcos e voçorocas. Após a adequação do relevo foi realizada a abertura das covas de plantio para as mudas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizados, composto por 12 parcelas de 1.000 m² (20 x 50 m) cada uma (Figura 3). Aleatoriamente, em metade das parcelas foi aplicado o tratamento com hidrogel (parcelas 1, 3, 5, 7, 9 e 11), e a outra metade (parcelas 2, 4, 6, 8, 10 e 12) foi utilizada como grupo controle, conforme descrito abaixo:

- Tratamento: aplicação de 400 ml de hidrogel hidratado nas covas das mudas.
- Controle: plantio de mudas sem aplicação de gel nas covas.

As covas de plantio foram instaladas com trator mecanizado e acoplado com broca perfuratriz, com 40 cm de diâmetro e 50 cm de profundidade. Em seguida, procedeu-se a incorporação de 150 g de NPK (4-14-8), 50 g de calcário dolomítico e 1.000 ml de esterco bovino, homogeneizados ao substrato por cova. Posteriormente, adicionou-se às covas das parcelas do grupo tratamento, sobre o adubo, 400 ml do hidrogel Hydroplan EB® hidratado. A hidratação foi realizada conforme recomendação do fabricante, de 1 kg de hidrogel seco para 400 L de água. Em seguida foi realizado o plantio das mudas com distribuição aleatória das espécies e dos indivíduos, certificando-se que o hidrogel permanecesse em contato com as raízes das mudas e que por parcela houvesse a mesma quantidade espécies e de indivíduos por espécies.

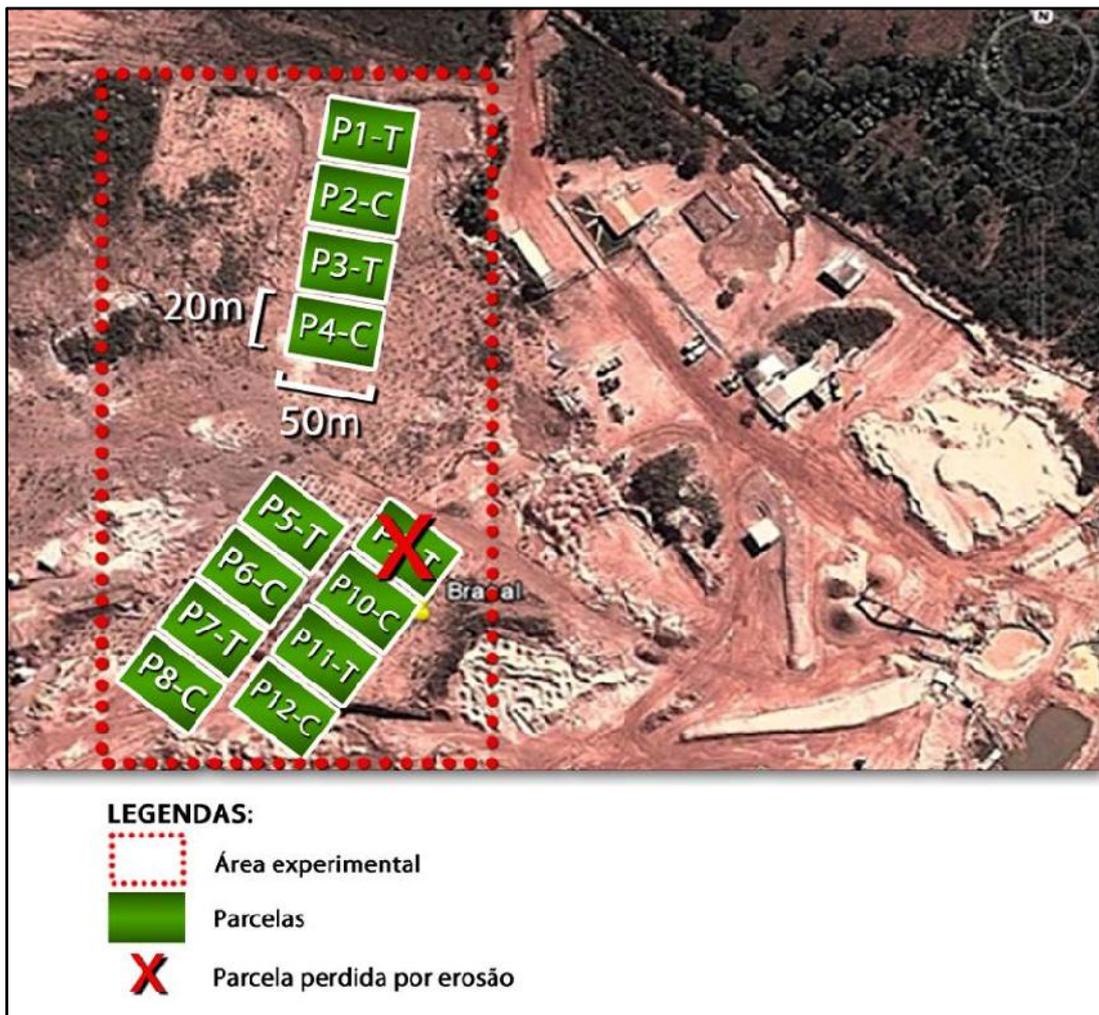


Figura 3 - Representação de vista aérea da área de estudo com esquema do delineamento experimental (retângulos verdes = parcelas, P = parcela; C = grupo controle, T = grupo tratamento).Fonte: Google Earth© 2014.

O plantio das mudas foi realizado em dezembro de 2010 no espaçamento 3 x 3 m e as espécies utilizadas (Tabela 1) foram selecionadas obedecendo os critérios definidos no Modelo Nativas do Bioma (FELFILI et al., 2005). Em cada parcela foram plantadas 110 mudas de 11 espécies (pertencentes a 4 famílias), o que corresponde a 10 indivíduos de cada espécie por parcela e um total de 1320 mudas plantadas em toda a área experimental. Porém, devido a processo erosivo a parcela número 9 foi retirada do experimento. Sendo assim, o total de mudas no experimento passou a ser 1210 sendo cinco parcelas pertencentes ao grupo tratamento e seis ao grupo controle.

Tabela 1 - Espécies arbóreas nativas do Cerrado utilizadas no experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

Nome científico	Nome popular	Família	Ocorrência preferencial	Sigla
<i>Acacia tenuifolia</i> (L.) Willd	Acácia	Fabaceae	Florestal	A.ten.
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St-Hil.) Ravenna	Barriguda	Malvaceae	Florestal	C.spe.
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Copaíba	Fabaceae	Florestal	C.lan.
<i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.	Ipê-verde	Bignoniaceae	Savânico	C.ant.
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Jacarandá do Cerrado	Fabaceae	Savânico	D.mis.
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Barú	Fabaceae	Florestal	D.ala.
<i>Handroanthus serratifolius</i> (A.H.Gentry) S.Grose	Ipê-amarelo	Bignoniaceae	Florestal	H.ser.
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Ingá	Fabaceae	Florestal	I.lau.
<i>Eugenia dysenterica</i> (DC.) O. Berg	Cagaiteira	Myrtaceae	Savânico	E.dys.
<i>Sterculia striata</i> A.St-Hil. & Naudin	Chichá do Cerrado	Malvaceae	Florestal	S.str.
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	Ipê-branco	Bignoniaceae	Florestal	T.ros.

Ocorrência preferencial = ambiente em que a ocorrência da espécie é preferencial. Fonte: Lista de Espécies da Flora do Brasil, 2014.

Na área experimental não foi realizado controle de formigas e cupins por não ter se observado a ocorrência dos mesmos de forma prejudicial às mudas. Também não se efetuou coroamento e controle de gramíneas invasoras e nem replantio dos indivíduos mortos, uma vez que a sobrevivência dos indivíduos por espécie foi um dos parâmetros de análise.

3.3. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO SOLO

3.3.1. Amostragem de solo

Para a análise das propriedades edáficas o solo foi coletado 32 meses após o plantio, em agosto de 2013. Para tanto, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas. As amostras deformadas foram utilizadas para a caracterização química do solo e as indeformadas para caracterização física.

O solo foi coletado em duas profundidades (0 a 20 cm e 20 a 40 cm) através da instalação de trincheiras (40 x 40 x 40 cm) que foram abertas com o auxílio de ferramentas manuais (enxada, enxadão e pá reta). As trincheiras foram dispostas em três tipos de pontos, conforme apresentado na figura 4 e descrito abaixo:

- Pontos F: trincheiras em área fora das covas, onde não houve plantio, calagem, adubação e aplicação de hidrogel (entre linhas e entre mudas).
- Pontos Cc: trincheiras nas covas das mudas de indivíduos da espécie *Copaifera langsdorffii* do grupo controle, que não receberam o hidrogel, mas receberam calagem e adubação.
- Pontos Ct: trincheiras nas covas das mudas de indivíduos da espécie *Copaifera langsdorffii* do grupo tratamento, que receberam o hidrogel, calagem e adubação.

A distribuição dessas trincheiras ocorreu de forma aleatória obedecendo aos parâmetros adotados de pontos nas covas de indivíduos de *C. langsdorffii* e fora das covas, certificando-se que houvesse o mesmo número de amostras no grupo controle e no grupo tratamento.

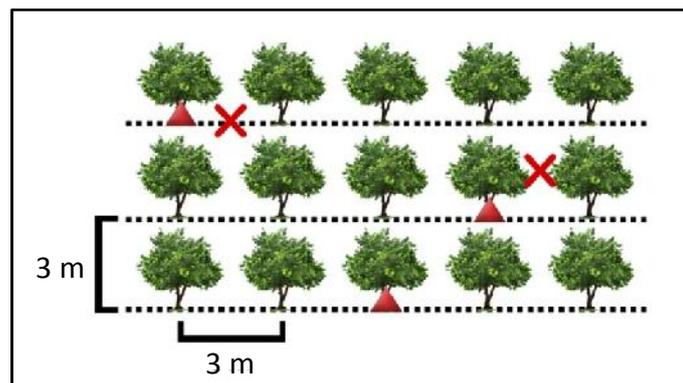


Figura 4 - Esquema representativo da coleta de amostras de solo (ícones em verde representam as mudas de Copaíba plantadas, ▲ pontos aleatórios de coleta de amostras de solo nas covas das Copaíbas (pontos Cc ou Ct), ✗ pontos aleatórios de coleta de amostras de solo fora das covas (pontos F).

A *Copaifera langsdorffii*, vulgarmente conhecida como Copaíba, foi escolhida para a avaliação das propriedades edáficas por ter sido a espécie que apresentou maior sobrevivência ao considerarmos o conjunto do grupo tratamento mais grupo controle. A seleção da espécie a partir da sobrevivência foi um parâmetro importante, pois, se garantiu que em todas as parcelas ocorressem coletas de amostras com a mesma quantidade, uma vez que as espécies que obtiveram sobrevivências menores que a da Copaíba, por vezes, não apresentaram nenhum indivíduo vivo em alguma das parcelas.

Tabela 2 - Quantidade de amostras de solo coletadas no experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

PC	Indeformada	Deformada simples	Deformada composta
Cc	18	12	6
Ct	18	12	6
F	24	24	12
Total	60	48	24

(PC = ponto de coleta; F = ponto de coleta fora das covas de plantio; Cc = ponto de coleta dentro de covas do grupo controle; Ct = ponto de coleta dentro de covas do grupo tratamento)

As amostras deformadas foram coletadas com o uso de colher de jardineiro e as indeformadas com o uso de anel volumétrico de aço (com volume de 78 cm³) que foi introduzido nas paredes das trincheiras com uso de ferramenta de marreta (Figura 5). As amostras deformadas foram compostas por duas amostras simples homogêneas por profundidade (0 a 20 cm e 20 a 40 cm). O total de amostras de solo coletadas no experimento foi 108, sendo distribuídas igualmente entre o grupo controle o grupo tratamento, e distribuídas entre os pontos de coleta conforme a tabela 2.



Figura 5 - Representação de coleta de amostra de solo indeformada (anel volumétrico sendo fixado, com marreta, em parede de trincheira aberta em cova de plantio) em experimento de recuperação de área degradada pela mineração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

Metade das amostras de solo foi coletada na camada de 0 a 20 cm de profundidade e a outra metade de 20 a 40 cm e, também metade delas pertence ao grupo controle e outra metade ao grupo tratamento. Após a coleta das amostras de solo, para o transporte do campo para o laboratório, as indeformadas foram armazenadas em latas de alumínio,

vedadas com fita adesiva e identificadas. E as deformadas foram armazenadas em sacos plásticos transparentes, também vedados com fita adesiva e identificados. Todas as amostras foram mantidas em caixa de isopor durante o processo de coleta e o transporte, para minimizar-se a perda de umidade.

3.3.2. Caracterização física e química do solo

As amostras deformadas foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo e Foliar da Universidade Federal de Goiás para a realização das análises químicas de rotina, seguindo a metodologia descrita no manual de métodos de análise de solo (EMBRAPA, 2011). Foram realizadas análises químicas de rotina e análise granulométrica.

As amostras indeformadas foram conduzidas para o Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília para a determinação da umidade volumétrica e da densidade do solo. Para tanto, as amostras indeformadas foram pesadas em balança analítica, para se obter o peso úmido e em seguida, colocadas em estufa de circulação forçada, à temperatura de 65°C, até que estivessem secas e, através de uma nova pesagem pudesse se determinar o peso seco.

A partir da obtenção dos dados de peso úmido e seco das amostras de solo, essas variáveis foram utilizadas para de modo direto determinar a densidade do solo (D_s) e a umidade volumétrica do solo (U.Vol), e pelo método indireto, a porosidade total do solo (PT), a macroporosidade (Macro) e a microporosidade (Micro) do solo (EMBRAPA, 2011). Para tanto utilizou-se, respectivamente, as equações (1), (2), (3), (4) e (5).

$$D_s = \text{peso seco} \div \text{volume do anel volumétrico} \quad (1)$$

$$U.Vol = \text{peso úmido} - \text{peso seco} \quad (2)$$

$$PT = (1 - D_s \div D_p) 100 \quad (3)$$

$$\text{Macro} = PT - U.Vol \quad (4)$$

$$\text{Micro} = PT - \text{Macro} \quad (5)$$

Na equação três, o valor “Dp” refere-se à densidade média das partículas do solo. Em condições de solos tropicais e subtropicais pode-se assumir o valor de 2,65 g/cm³ como Dp, uma vez que esses solos possuem tempo de formação e de intemperismo semelhantes e por isso não apresentam grandes varrições de densidade de partículas do solo (BRADY, 1989). Sendo assim considerou-se Dp = 2,65 g/cm³.

3.4. AVALIAÇÃO DE SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO DAS MUDAS

3.4.1. Coleta de parâmetros de sobrevivência e crescimento

As taxas de sobrevivência das espécies plantadas foram avaliadas contabilizando o número de indivíduos que permanecerem vivos ao longo do tempo do experimento (dezembro de 2010 a abril de 2013, totalizando 28 meses). Já as taxas de crescimento, foram adquiridas medindo a altura (H em cm) e o diâmetro a altura do coleto (DAC em mm). A H foi medida com o uso de régua graduada, até a última gema apical, e o DAC com paquímetro analógico. Foram realizadas coletas de dados referentes à sobrevivência e à H e DAC das plantas em 4 épocas (fevereiro e agosto de 2011, outubro de 2012 e abril de 2013).

Para as devidas análises e interpretações de dados, as medidas de H e DAC foram transformadas em incrementos medianos relativos, a partir equação (6) que segue abaixo:

$$\text{Incremento} = [(MF - MI) \div MI] \times 100 \quad (6)$$

Em que “MF” é a mediana da época final, “MI” a mediana da época inicia e as épocas finais e iniciais são aquelas que caracterizam os intervalos de tempo de avaliações, conforme descrito abaixo:

- 1ª avaliação: entre fevereiro e agosto de 2011.
- 2ª avaliação: entre setembro de 2011 e outubro de 2012.
- 3ª avaliação: entre novembro de 2012 e abril de 2013.

As medidas de sobrevivência não foram analisadas por intervalos de tempo e sim pelas épocas pontuais de coleta ao passar dos meses após o plantio, conforme se segue:

- 2 meses após o plantio: fevereiro de 2011.
- 8 meses após o plantio: agosto de 2011.
- 22 meses após o plantio: outubro de 2012.
- 28 meses após o plantio: abril de 2013.

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente procedeu-se o teste de normalidade de todos os dados, características físicas e químicas edáficas e sobrevivência e incrementos em H e em DAC das plantas. Posteriormente foram feitas Análises Multivariadas de Análises de Componentes Principais (PCA) relacionando a sobrevivência e os incrementos em H e em DAC com o tratamento (com e sem hidrogel), com as 11 espécies do experimento e com os períodos de coleta e relacionando as características edáficas com, o tratamento e com os pontos e profundidades de coletas de solo.

Em seguida realizou-se o teste de Kruskal-Wallis, entre os grupos tratamentos e controle para cada um dos parâmetros medidos, características edáficas, sobrevivência e incremento em H e em DAC, com a finalidade de verificação do efeito do hidrogel. Posteriormente, procedeu-se outro teste de Kruskal-Wallis para os parâmetros de sobrevivência e incrementos em H e em DAC, porém, desta vez o teste foi realizado sem levar em conta os grupos tratamento e controle e com a finalidade de verificação de diferença de sobrevivência e incrementos em H e em DAC entre as 11 espécies, independente do uso do hidrogel. Esse segundo Kruskal-Wallis foi seguido pelo teste de Mann-Whitney que comparou as 11 espécies par a par com o objetivou-se verificar se algum dos parâmetros medidos para as plantas, sobrevivência e incrementos em H e em DAC se destacava apresentando maior quantidade de pares com diferença estatisticamente significativa. Por último procedeu-se o terceiro teste de Kruskal-Wallis que comparou a sobrevivência e os incrementos em H e em DAC entre o grupo de espécies de ocorrência preferencial em ambiente savânico com o grupo de espécies de ocorrência preferencial em ambiente florestal. Todas as análises estatísticas foram executadas através do *software* Past® versão 2.15 (HAMMER et al., 2001).

4. RESULTADOS

4.1. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

4.1.1. Caracterização física do solo

Em relação à análise granulométrica, o destaque é a alta presença de areia no solo, com valores acima de 70% em todas as profundidades e pontos de coleta, mostrando o caráter arenoso do solo. A umidade volumétrica variou de 6,1% a 8,8% sendo menor na camada de 20 a 40 cm, das covas do grupo controle e maior de 0 a 20 cm, em covas do grupo controle (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias das propriedades físicas do solo de amostras coletadas em duas profundidades, e em de três pontos de coleta em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

PC	Areia	Silte	Argila	U.Vol	PT	Macro	Micro	Ds
	----- % -----							g/cm ³
	0 – 20 cm							
F	78,7	4	17,3	7,1	38,6	31,5	7,1	1,6
Cc	76,3	5,7	18	8,8	36	27,2	8,8	1,7
Ct	79,3	3,4	17,3	6,3	38,8	32,5	6,3	1,6
	20 – 40 cm							
F	73,2	5,8	21	7,2	39,7	32,5	7,2	1,6
Cc	75	6,3	18,7	6,1	41,7	35,6	6,1	1,5
Ct	78,7	3,3	18	6,5	46,1	39,6	6,5	1,4
Total	76,9	4,7	18,4	7	40,2	33,2	7	1,6

(PC = ponto de coleta; F = ponto de coleta fora das covas de plantio; Cc = ponto de coleta dentro de covas do grupo controle; Ct = ponto de coleta dentro de covas do grupo tratamento; U.Vol = umidade volumétrica; PT = porosidade total; Macro = macroporos; Micro = microporos; Ds = densidade do solo)

Para os macroporos, a maior média, 39,6%, foi encontrada na camada de 20 a 40 cm nas amostras retiradas covas do grupo tratamento e a menor, 27,2% foi encontrada na camada de 0 a 20 cm em amostras coletadas nas covas do grupo controle. Para os microporos, o maior valor de porcentagem média foi de 8,8%, para amostras de 0 a 20 cm, retiradas das covas do grupo controle e o menor foi 6,1%, para amostras de 20 a 40 cm, também retiradas das covas do grupo controle. A densidade do solo variou de 1,4 a 1,7

g/cm³, sendo a menor de amostras de 20 a 40 cm em covas do grupo tratamento e a maior de 0 a 20 cm de covas do grupo controle (Tabela 3).

Na figura 6, foi possível observar que todos os pontos do diagrama encontram-se dispersos entre si, sem formar agrupamentos e sem que ocorra separação evidente entre as amostras dos grupos controle e tratamento, e entre as profundidades de coleta. Essa disposição indica ausência de efeito do hidrogel, das profundidades e dos pontos de coleta perante as propriedades físicas do solo. O teor de silte não foi incluído na PCA por apresentar valor desprezível e a PT por apresentar valores do somatório de outras duas variáveis, Micro e Macro.

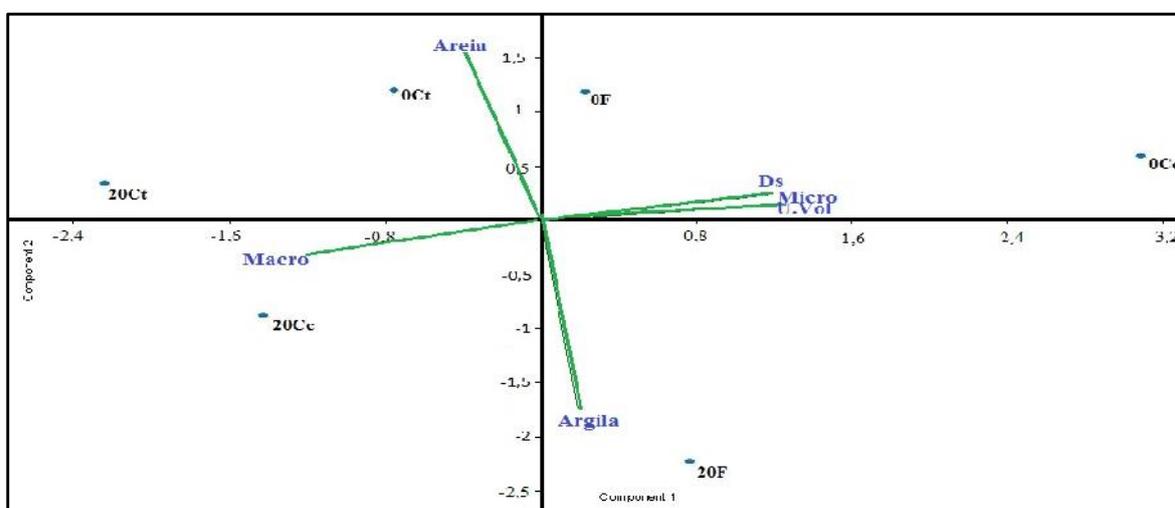


Figura 6 - Diagrama resultante da Análise de Componentes Principais envolvendo os atributos da física do solo (Ds = densidade do solo (g/cm³), Macro = % de macroporos do solo, Micro = % de microporos do solo, U.Vol = umidade volumétrica do solo, siglas iniciadas com o número zero correspondem às amostras coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, siglas iniciadas com o número 20 correspondem às amostras coletadas na profundidade de 20 a 40 cm, siglas que contenham a letra “F” correspondem às amostras coletadas fora das covas de plantio, siglas que contenham as letras “Cc” correspondem às amostras coletadas em covas de plantio de *Copaifera langsdorffii* do grupo controle e siglas que contenham as letras “Ct” correspondem às amostras coletadas em covas de plantio de *Copaifera langsdorffii* do grupo tratamento). Eixo 1 explicando 59% da variância.

Pôde-se inferir que o espalhamento dos pontos da figura 6 foi influenciado horizontalmente pelos vetores “Ds”, “Micro”, “U.Vol” e “Macro”, pois na porção positiva do componente 1 estão os pontos de maiores densidade, microporosidade e umidade volumétrica e menores macroporosidade, e o contrário também é verdadeiro. Já o espalhamento vertical, foi influenciado pelos vetores “Argila” e “Areia”, uma vez que na porção positiva do componente 2 encontram-se os pontos com maiores teores de areia e menores de argila, e o contrário também é verdadeiro. Como todos os vetores

influenciaram de alguma forma na dispersão dos pontos julga-se que nenhuma dessas propriedades se sobressaiu perante as outras no que diz respeito aos pontos amostrados.

Após a PCA o teste de Kruskal-Wallis, que apresentou $p > 0,05$ ($\alpha = 5$), confirmou que não houve diferença significativa entre os pontos de coleta e nem entre as profundidades de coleta, no que se refere às características físicas do solo. Indicando que o hidrogel não exerceu efeito significativo para essas características.

4.1.2. Caracterização química do solo

Os valores apresentados na tabela 4 indicam que o solo do presente estudo é distrófico ($V < 50\%$), portanto possui baixa fertilidade, com baixos teores de bases trocáveis. Em relação à acidez ativa (pH), os valores também foram baixos, indicando condições de acidez do solo, em todos os pontos de coleta e profundidades. Em relação à acidez trocável (Al^{3+}) observou-se que a mesma refletiu em baixa acidez.

Tabela 4 - Médias das propriedades químicas do solo de amostras coletadas em duas profundidades, e em de três pontos de coleta em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

PC	pH (CaCl ₂)	P (Mehlich) -----mg/dm ³ -----	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	cmol _c /dm ³			V --- % ---	m	M.O dag/kg
							H + Al	SB	CTC(T)			
0 – 20 cm												
F	4,5	0,7	12,3	0,2	0,1	0,4	2,1	0,3	2,3	12,7	57	0,8
Cc	4,8	0,9	12,7	0,2	0,1	0,1	2,3	0,4	2,7	15	25	0,8
Ct	4,7	0,7	12,7	0,3	0,1	0,4	2,3	0,5	2,7	16,4	46,1	0,8
20 – 40 cm												
F	4,7	0,7	12,2	0,1	0,1	0,4	2,1	0,3	2,3	11,9	61,7	1,3
Cc	4,5	0,9	12,7	0,2	0,1	0,3	3,4	0,3	3,7	10,9	48,4	0,6
Ct	4,6	0,5	13	0,2	0,1	0,4	2,1	0,3	2,4	13	52,5	0,8

(PC = ponto de coleta; F = ponto de coleta fora das covas de plantio; Cc = ponto de coleta dentro de covas do grupo controle; Ct = ponto de coleta dentro de covas do grupo tratamento).

Os menores teores de Al^{3+} (0,1 e 0,3 cmol_c/dm³) foram encontrados nas amostras das covas do grupo controle. O contrário foi observado para o P, no qual os maiores teores encontrados foram das amostras das covas do grupo controle. Quanto ao teor de matéria orgânica, a maior média (1,3 dag/kg) foi das amostras coletadas, de 20 a 40 cm, fora das covas. O pH variou de 4,5 a 4,8 sendo o menor encontrado nas amostras de 0 a 20 cm de

fora das covas e nas de 20 a 40 cm das covas do grupo controle, enquanto que o maior foi de 0 a 20 cm das covas do grupo controle. Para o H + Al, a maior média (3,4 cmol_c/dm³) foi observada de 20 a 40 cm em covas do grupo controle, enquanto que para os demais pontos a média variou pouco, (de 2,1 a 2,3 cmol_c/dm³). O teor de Mg²⁺ manteve-se o mesmo (0,1 cmol_c/dm³) em todas as amostras. Enquanto que os de Ca²⁺ e SB variam pouco (de 0,1 a 0,3 e de 0,3 a 0,5 cmol_c/dm³, respectivamente) sendo os maiores valores encontrados de 0 a 20 cm nas covas do grupo tratamento. O teor de K também apresentou baixa variação entre as amostras (de 12,2 a 13 mg/dm³) sendo o menor valor encontrado de 20 a 40 cm, fora das covas e o maior de 20 a 40 cm nas covas do grupo tratamento. Para m, a variação entre as amostras foi grande (de 25 a 61,7%) sendo a menor média encontrada de 20 a 40 cm nas covas do grupo controle e a maior de 20 a 40 cm de fora das covas. A CTC(T) variou de 2,3 a 3,7 cmol_c/dm³, sendo o menor valor observado nas amostras de fora das covas, tanto na profundidade de 0 a 20 cm quanto na de 20 a 40 cm, enquanto que o maior foi em 20 a 40 cm das covas do grupo controle.

Na figura 7 não observou-se a formação de agrupamentos e nem separação de pontos obedecendo algum padrão relacionado a presença do hidrogel ou aos pontos e profundidades de coleta. Sendo assim, no período de coleta de 32 meses após o plantio, não foi evidenciado efeito do hidrogel perante essas propriedades químicas do solo.

Apesar dos pontos estarem bem dispersos entre si e entre os vetores pôde-se inferir, através de comparação com os dados da tabela 4, que o espalhamento horizontal desses pontos está sendo mais influenciado pelos vetores M.O e m. Pois, no extremo negativo do componente 1, no mesmo sentido dos vetores M.O e m, está o ponto de maiores valores de M.O e m (20F) enquanto que em sentido oposto a esses vetores está o ponto de menores valores de M.O e m (0Cc). Já o espalhamento vertical, possivelmente, foi mais influenciado pelo vetor V, uma vez que no extremo positivo do componente 2, no mesmo sentido do vetor V, está disposto o ponto de maior V (0Ct) e no extremo negativo, o de menor (20Cc).

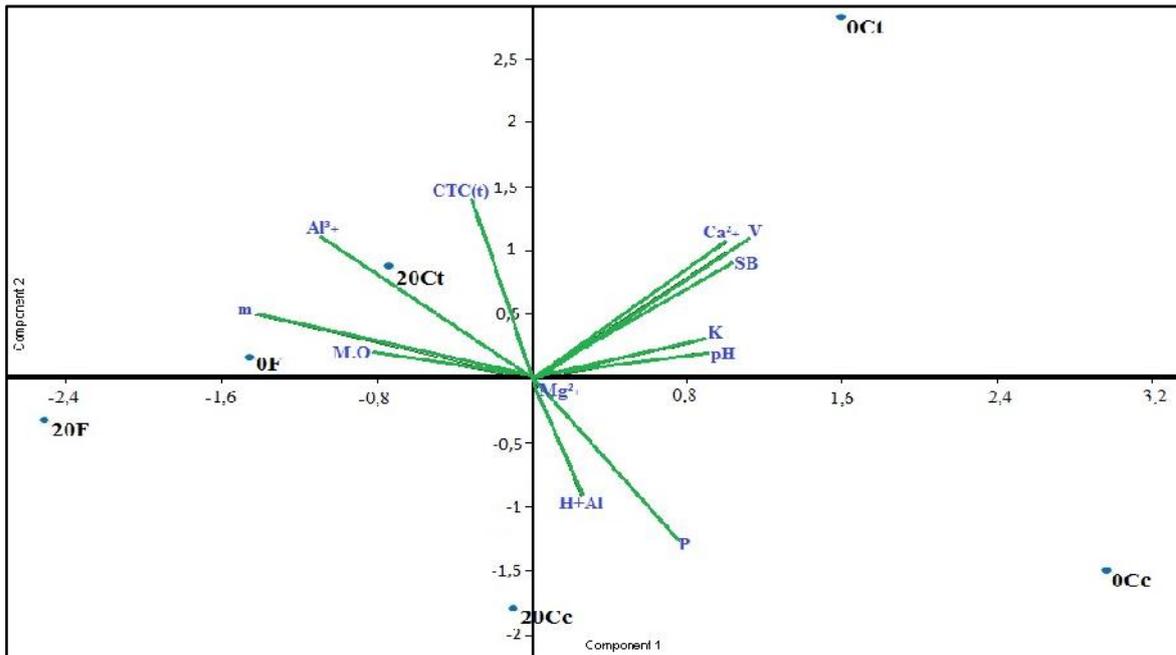


Figura 7 - Diagrama resultante da Análise de Componentes Principais envolvendo os atributos da química do solo (siglas iniciadas com o número zero correspondem às amostras coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, siglas iniciadas com o número 20 correspondem às amostras coletadas na profundidade de 20 a 40 cm, siglas que contenham a letra “F” correspondem às amostras coletadas fora das covas de plantio, siglas que contenham as letras “Cc” correspondem às amostras coletadas em covas de plantio de *Copaifera langsdorffii* do grupo controle e siglas que contenham as letras “Ct” correspondem às amostras coletadas em covas de plantio de *Copaifera langsdorffii* do grupo tratamento). Eixo 1 explicando 35% da variância.

Após a PCA o teste de Kruskal-Wallis, que apresentou $p > 0,05$ ($\alpha = 5$), confirmou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os pontos de coleta e nem entre as profundidades de coleta, no que se refere às características químicas do solo. Indicando que o hidrogel não exerceu efeito significativo também para essas características, aos 32 meses após o plantio das mudas.

4.2. AVALIAÇÃO DE SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO

No grupo tratamento, dois meses após o plantio, das 11 espécies plantadas cinco apresentavam 100% de sobrevivência (*Copaifera langsdorffii*, *Dipteryx alata*, *Handroanthus serratifolius*, *Inga laurina* e *Sterculia striata*), passados oito meses do plantio, as mesmas espécies ainda apresentaram 100% de sobrevivência e em outubro, dessas cinco, somente *D. alata* passou a apresentar 90% de sobrevivência, as demais

continuaram com 100%. Porém, ao final do experimento, em abril de 2013, somente *C. langsdorffii* e *S. striata* mantiveram a mortalidade nula para o grupo tratamento (Tabela 5).

Ainda no grupo tratamento, passados 22 meses do plantio, em outubro de 2012, a maioria das espécies mantiveram-se até então com mais de 50% de sobrevivência, apenas *D. miscolobium* apresentou valores inferiores e discrepantes (12%) aos demais. Para *D. miscolobium*, em específico, ocorreram índices muito inferiores aos das outras espécies em todas as medições do grupo tratamento (Tabela 5). Também no grupo tratamento, no final do experimento, 28 meses após o plantio, apesar da maioria das espécies ter apresentado quedas nos índices de sobrevivência, somente *Cybistax antisiphilitica*, *Eugenia dysenterica* e *D. miscolobium* apresentaram taxas de sobrevivência menores que 50%.

Esse resultado se assemelha ao encontrado para o grupo controle no qual *D. miscolobium* e *E. dysenterica* apresentaram os menores valores em todos os tempos de medições, sendo 36,7% para ambas aos dois meses após o plantio e 30% e 28,3% respectivamente, ao final do experimento. Para o grupo controle a espécie que manteve a mortalidade nula durante todo o experimento foi *C. speciosa*, mas *C. langsdorffii* manteve até 22 meses após o plantio, e *A. tenuifolia* até oito meses após o plantio. As demais espécies apresentaram sobrevivência superior a 50% em todos os tempos de medições sendo a maioria delas superiores a 70%.

Apesar de, ao final do experimento, *C. speciosa* não ter apresentado mortalidade no grupo controle, sua sobrevivência no tratamento foi de 58%. Já para *C. langsdorffii*, a diferença dos índices de sobrevivência entre os grupos tratamento e controle foi menor, sendo 100 e 96,7% respectivamente. Dentre as 11 espécies estudadas, ao final do experimento, *C. speciosa*, foi aquela que apresentou maior diferença entre os índices de sobrevivência entre o grupo com hidrogel, tratamento (58%), e sem hidrogel, controle (100%) (Tabela 5).

Também na tabela 5, observou-se que as maiores taxas de sobrevivência ao final do experimento, 28 meses após o plantio, foram em ordem decrescente para o grupo controle: *C. speciosa* e *C. langsdorffii*, e para o grupo tratamento: *C. langsdorffii*, *S. striata*, *I. laurina* e *H. serratifolius* (sendo todos maiores que 90%, e *S. striata*, *C. langsdorffii* com o mesmo valor, 100%, no grupo tratamento). Também ao final do experimento, os menores valores de sobrevivência foram encontrados para *E. dysenterica* e *D. miscolobium*, tanto para o grupo tratamento quanto para o controle (Tabela 5). A sobrevivência total de todas as espécies ao final do experimento foi 71,6% (866 sobreviventes entre as 1210 mudas plantadas), sendo 71,5% para o grupo controle e 71,6% para o grupo tratamento (Tabela 5).

Tabela 5 - Taxa de sobrevivência das 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, em quatro tempos de medições, plantadas em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

Espécies	Período passado após o plantio			
	2 meses	8 meses	22 meses	28 meses
----- % -----				
Tratamento				
<i>Acacia tenuifolia</i>	84	84	82	78
<i>Ceiba speciosa</i>	82	82	78	58
<i>Copaifera langsdorffii</i>	100	100	100	100
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	68	68	52	48
<i>Dalbergia miscolobium</i>	14	14	12	10
<i>Dipteryx alata</i>	100	100	90	86
<i>Eugenia dysenterica</i>	80	80	58	36
<i>Handroanthus serratifolius</i>	100	100	100	92
<i>Inga laurina</i>	100	100	100	98
<i>Sterculia striata</i>	100	100	100	100
<i>Tabebuia roseoalba</i>	92	92	88	82
Total	83,6	83,6	78,2	71,6
Controle				
<i>Acacia tenuifolia</i>	100	100	85	81,7
<i>Ceiba speciosa</i>	100	100	100	100
<i>Copaifera langsdorffii</i>	100	100	100	96,7
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	77	77	61,7	56,7
<i>Dalbergia miscolobium</i>	36,7	36,7	31,7	30
<i>Dipteryx alata</i>	86,7	86,7	85	81,7
<i>Eugenia dysenterica</i>	36,7	36,7	31,7	28,3
<i>Handroanthus serratifolius</i>	95	95	78,3	73,3
<i>Inga laurina</i>	100	98,3	88,3	86,7
<i>Sterculia striata</i>	76,7	76,7	75	73,3
<i>Tabebuia roseoalba</i>	100	100	83,3	78,3
Total	82,6	82,5	74,5	71,5
Total (Tratamento + Controle)	83,1	84,55	73	71,6

Através da tabela 6 constatou-se que, na primeira avaliação, tanto no grupo tratamento quanto no controle, *D.miscolobium* se destacou com os maiores valores de incremento em DAC, 100% e 142,9% respectivamente, ao passo que para *E. dysenterica* não foi verificado crescimento no período, tanto no grupo tratamento, quanto no controle.

Tabela 6 - Incremento mediano (mm) e incremento relativo mediano (%) em diâmetro à altura do coleto das 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, em três intervalos de tempos de medições e no total, plantadas em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

Espécies	Avaliações			
	1°	2°	3°	Total
	----- mm -----			
	Tratamento			
<i>Acacia tenuifolia</i>	2 (40)*	4 (57,1)	1 (9,1)	7(140)
<i>Ceiba speciosa</i>	12 (80)	2 (7,4)	2 (6,9)	16 (106,7)
<i>Copaifera langsdorffii</i>	3 (37,5)	9 (81,8)	4 (20)	16 (200)
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	1 (25)	9 (180)	5 (35,7)	15(375)
<i>Dalbergia miscolobium</i>	3 (100)	5 (83,3)	7 (63,6)	15 (500)
<i>Dipteryx alata</i>	2 (33,3)	4 (50)	2 (16,7)	8 (133,3)
<i>Eugenia dysenterica</i>	0 (0)	2 (100)	1 (25)	3 (66,7)
<i>Handroanthus serratifolius</i>	3,5 (63,6)	4 (44,4)	2 (15,4)	9,5 (172,7)
<i>Inga laurina</i>	4 (80)	4 (44,4)	7 (53,8)	15 (300)
<i>Sterculia striata</i>	8 (100)	6 (37,5)	1,5 (6,8)	15,5 (193,8)
<i>Tabebuia roseoalba</i>	5 (83,3)	4 (36,4)	1 (6,7)	10 (166,7)
	Controle			
<i>Acacia tenuifolia</i>	3(75)	5(71,4)	0 (0)	8(200)
<i>Ceiba speciosa</i>	18,5 (119,4)	5(14,7)	1(2,6)	24,5 (158,1)
<i>Copaifera langsdorffii</i>	4 (57,1)	7 (63,6)	4,5 (25)	15,5 (221,4)
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	2 (50)	7 (116,7)	2 (15,4)	11 (275)
<i>Dalbergia miscolobium</i>	5 (142,9)	10,5 (123,5)	11 (57,9)	26,5 (757,1)
<i>Dipteryx alata</i>	2 (40)	6 (85,7)	3 (23,1)	11 (220)
<i>Eugenia dysenterica</i>	0 (0)	1 (50)	2 (66,7)	3 (150)
<i>Handroanthus serratifolius</i>	3 (60)	3 (37,5)	2 (18,2)	8 (160)
<i>Inga laurina</i>	4 (80)	12 (133,3)	8 (38,1)	24 (480)
<i>Sterculia striata</i>	3 (30)	7 (53,8)	0 (0)	10 (100)
<i>Tabebuia roseoalba</i>	4,5 (69,2)	3 (27,3)	2 (14,3)	9,5 (146,2)

(1° = primeira avaliação - de fevereiro a agosto de 2011, 2° = segunda avaliação - de setembro de 2011 a outubro de 2012, 3° = terceira avaliação - de novembro de 2012 a abril de 2013, Total = de fevereiro de 2011 a abril de 2013, *valores entre parênteses representam a taxa de incremento em porcentagem).

Também na tabela 6, na segunda avaliação o maior índice passou a ser de *C. antisyphilitica* (180%) no grupo tratamento, porém, no grupo controle, *I. laurina* e *D.miscolobium* também obtiveram incremento acima de 100%, enquanto que o menor valor foi obtido por *Ceiba speciosa* (7,4%) no grupo tratamento. Ainda na tabela 6, observou-se que *E. dysenterica* apresentou um salto em seus valores de incremento, passou de 0% na primeira avaliação para, na segunda, apresentar 100% e 50% para tratamento e

controle, respectivamente. Já na terceira avaliação os maiores valores foram verificados para *E. dysenterica* (66,7%) no grupo controle e *D. miscolobium* (63,6%) no grupo tratamento, e os menores para *A. tenuifolia* e *S. striata* no grupo controle, ambas com 0%. Na avaliação total dos 28 meses, os maiores valores foram de *D. miscolobium* no grupo tratamento e *I. laurina* no controle, com respectivamente 500% e 480%, enquanto que o menor foi de *E. dysenterica* no grupo tratamento, com 66,7%.

Os resultados apresentados na tabela 7 se referem aos incrementos medianos (cm) e relativos medianos em altura (H) das 11 espécies usadas no plantio em três épocas distintas de avaliação e no período total do experimento, 28 meses. Por meio de dados apresentados na referida tabela, visualiza-se que na primeira avaliação, tanto para o grupo tratamento quanto para o controle, a espécie que apresentou maiores valor de incremento relativo em H foi *A. tenuifolia* 61,5% e 80,5%, respectivamente, enquanto *E. dysenterica*, no tratamento e *C. antisiphilitica* e *S. striata*, no controle apresentaram incremento nulo. Na segunda avaliação, os maiores incrementos em H passaram a ser de *C. antisiphilitica* (233,3%) no grupo tratamento e *D. miscolobium* (246,2%) no controle enquanto *C. speciosa* obteve 0% no grupo tratamento. Na terceira avaliação, o maior incremento foi observado em *D. alata* (86,7%) no grupo controle e, o menor continuou sendo de *C. speciosa* (6,7%) no grupo tratamento. Para a avaliação total, no grupo tratamento, o maior incremento relativo em H foi da espécie *C. antisiphilitica* (315%) e o menor da *C. speciosa* (27,2%) e, no grupo controle o maior foi de *D. miscolobium* (700%) e os menores de *C. speciosa* e *H. serratifolius*, ambas com 98,4%.

Através da figura 8 é possível observar que em nenhum dos diagramas (Figuras 8A, 8B, 8C e 8D) ocorreu separação evidente entre as espécies do grupo controle (siglas terminadas em “C”) e as espécies do grupo tratamento (siglas terminadas em “T”). Indicando que o hidrogel não exerceu efeito sobre essas espécies no que diz respeito a incremento em H e DAC, sobrevivência e período de coleta.

Tabela 7 - Incremento mediano (cm) e incremento relativo mediano (%) em altura das 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, em três intervalos de tempos de medições e no total, plantadas em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

Espécies	Avaliações			
	1°	2°	3°	Total
----- cm -----				
Tratamento				
<i>Acacia tenuifolia</i>	28 (61,5)*	26,5 (36,1)	16 (16)	70,5 (154,9)
<i>Ceiba speciosa</i>	16 (20,5)	0 (0)	2 (6,7)	18 (27,2)
<i>Copaifera langsdorffii</i>	18 (42,9)	10 (16,7)	30 (42,9)	58 (138,1)
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	0,5 (5)	24,5 (233,3)	6,5 (18,6)	31,5 (315)
<i>Dalbergia miscolobium</i>	5 (33,3)	9 (45)	6 (20,7)	20 (133,3)
<i>Dipteryx alata</i>	1 (4,2)	10 (40)	14 (40)	25 (104,2)
<i>Eugenia dysenterica</i>	0 (0)	3 (45,4)	6 (37,5)	9 (76)
<i>Handroanthus serratifolius</i>	9 (27,3)	25,5 (60,7)	16 (23,7)	50,5 (153)
<i>Inga laurina</i>	6,5 (27,7)	13,5 (45)	18,5 (42,5)	38,5 (163,8)
<i>Sterculia striata</i>	2 (9,5)	12 (52,2)	17 (48,6)	31 (147,6)
<i>Tabebuia roseoalba</i>	11,5 (39)	15,5 (37,8)	4,5(8)	31,5 (106,8)
Controle				
<i>Acacia tenuifolia</i>	33 (80,5)	10 (13,5)	17(20,2)	60 (146,3)
<i>Ceiba speciosa</i>	42 (69,1)	9 (8,7)	9 (8)	60 (98,4)
<i>Copaifera langsdorffii</i>	13 (29,5)	13 (22,8)	30 (42,9)	56 (127,3)
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	0 (0)	13 (128,6)	11 (45,8)	24 (233,3)
<i>Dalbergia miscolobium</i>	4,5 (30)	48 (246,2)	52,5 (77,8)	105 (700)
<i>Dipteryx alata</i>	0,5 (2,3)	8 (36,4)	25,5 (86,7)	34 (160,5)
<i>Eugenia dysenterica</i>	1 (11,1)	5 (50)	5 (33,3)	11 (122,2)
<i>Handroanthus serratifolius</i>	8 (25)	13 (32,5)	10,5 (19,8)	31,5 (98,4)
<i>Inga laurina</i>	8,5 (37,8)	29 (93,5)	40 (66,7)	77,5 (344,4)
<i>Sterculia striata</i>	0 (0)	12 (66,7)	9,5 (31,7)	21,4 (119,4)
<i>Tabebuia roseoalba</i>	7,5 (23,1)	16 (40)	9 (16,1)	32,5 (100)

(1° = primeira avaliação – de fevereiro a agosto de 2011, 2° = segunda avaliação – de setembro de 2011 a outubro de 2012, 3° = terceira avaliação – de novembro de 2012 a abril de 2013, Total = de fevereiro de 2011 a abril de 2013, *valores entre parênteses representam a taxa de incremento em porcentagem).

Os resultados exibidos na figura 8A referem-se à primeira avaliação, entre os meses de fevereiro e agosto de 2011. Neste primeiro período é possível notar que o vetor que mais influenciou a dispersão horizontal dos pontos foi o vetor “H”, que representa o incremento em altura, devido a essa influência ele se encontra mais próximo ao componente 1 (eixo x) e, os pontos das espécies com maiores incrementos em H, como “A.ten.C” e “C.spe.C” se posicionaram no extremo positivo desse eixo enquanto que os das de menores incrementos, como “E.dys.C”, “E.dys.T”, “C.ant.T” e “S.str.C” se

posicionaram no extremo negativo. Seguindo essa mesma linha de raciocínio, o espalhamento vertical dos pontos da figura 8A foi mais influenciado pelo vetor “S”, que se refere ao índice de sobrevivência das espécies. Devido a isso, no extremo positivo do componente 2 (eixo y) concentram-se as espécies de maiores sobrevivência na primeira avaliação, “C.lan.T”, “C.lan.C”, “D.ala.T”, “A.ten.C”, “H.ser.T”, “I.lau.T”, “T.ros.C”, “C.spe.C”, “S.str.T”, e no extremo negativos as de menor, “D.mis.T”, “D.mis.C”, “E.dys.C” e “C.ant.T”.

Ainda na figura 8A, pode-se observar um agrupamento entre os pontos, tanto do grupo controle quanto do tratamento, que representam as espécies *Copaifera langsdorffii*, *Handroanthus serratifolius*, *Inga laurina* e *Tabebuia roseoalba* (C.lan.C, C.lan.T, H.ser.C, H.ser.T, I.lau.C, I.lau.T, T.ros.C e T.ros.T). Esse agrupamento indica alta correlação entre os pontos em questão, ou seja, essas espécies se comportaram de maneiras semelhantes entre si tanto no grupo tratamento quanto no controle, evidenciando a ausência de efeito do hidrogel nessas espécies.

A figura 8B apresenta a PCA para a segunda avaliação, de setembro de 2011 a outubro de 2012. Nesse diagrama o espalhamento horizontal dos pontos teve influência tanto do vetor “DAC” quanto do “H”, por isso, na porção positiva desse componente 1 estão os pontos, que na segunda avaliação, obtiveram os maiores incrementos em DAC e H, como “C.ant.T”, “D.mis.C”, “I.lau.C”, “E.dys.T” e “C.ant.C” e, na porção negativa os menores, como “C.spe.C” e “C.spe.T”. A disposição do vetor “S” indicou que o mesmo exerceu influência de intensidade semelhante nos dois eixos. Porém, essa influência é notada mais nitidamente na dispersão vertical dos pontos, uma vez que na porção positiva do componente 2 concentram-se aqueles que apresentaram maiores índices de sobrevivência na segunda avaliação (I.lau.C, C.lan.T, C.lan.C e I.lau.T) e, na porção negativa os de menores índices (D.mis.T e E.dys.C).

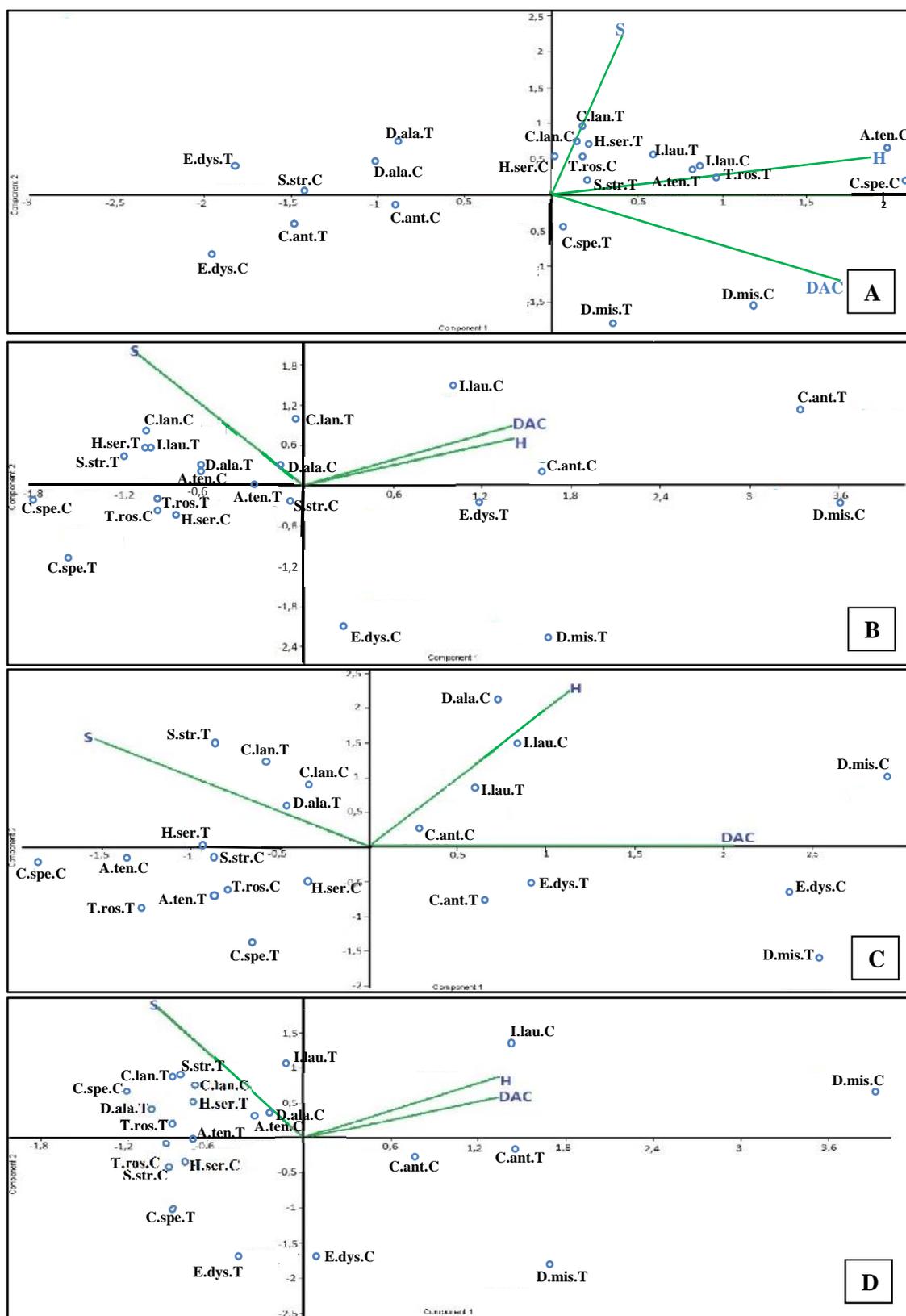


Figura 8 - Diagrama da PCA envolvendo o crescimento relativo em altura e em diâmetro à altura do coleto e a sobrevivência de 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, no Distrito Federal, entre fevereiro de 2011 e agosto de 2011 com eixo 1 explicando 76% da variância (A), setembro de 2011 e outubro de 2012 com eixo 1 explicando 64% da variância (B), novembro de 2012 e abril de 2013 com eixo 1 explicando 57% da variância (C) e fevereiro de 2011 a abril de 2013 com eixo 1 explicando 79% da variância (D), (siglas terminadas em “T” correspondem ao grupo tratamento, em “C” ao grupo controle, H = crescimento relativo em altura, DAC = crescimento relativo em diâmetro à altura do coleto, S = porcentagem de sobrevivência, lista de abreviações dos nomes das espécies em Tabela 1).

Foi possível observar, também na figura 8B, um agrupamento entre os pontos, do grupo controle e tratamento que representam as espécies *Acacia tenuifolia*, *Ceiba speciosa*, *Copaifera langsdorffii*, *Dipteryx alata*, *Handroanthus serratifolius*, *Sterculia striata* e *Tabebuia roseoalba*. Indicando que, neste período, elas se comportaram de maneiras semelhantes entre si, independente do uso do hidrogel.

A disposição, isolada, do ponto “C.ant.T” na figura 8B é devido ao fato de que no grupo tratamento, *Cybistax antisyphilitica* apresentou dados de incremento em H e em DAC muito superiores aos das demais espécies (Tabelas 6 e 7). Enquanto que o isolamento dos pontos “D.mis.T”, “D.mis.C” e “E.dys.C” se justifica pelo fato de que, na segunda avaliação, eles apresentaram índices de sobrevivência muito inferiores aos demais (Tabela 5).

A figura 8C, que contém a PCA da terceira avaliação, apresentou os pontos bem distribuídos ao longo do digrama e nenhum padrão de dispersão evidente. Apesar disso, é possível observar um agrupamento entre os pontos “A.ten.C”, “A.ten.T”, “C.spe.C”, “C.spe.T”, “H.ser.C”, “H.ser.T”, “T.ros.C”, “T.ros.T” e “S.str.C”. Esse agrupamento indica que *A. tenuifolia*, *C. speciosa*, *H. serratifolius* e *T. roseoalba* no grupo tratamento e controle e *S. striata* somente no grupo controle se comportaram de maneiras semelhantes neste período, pois estiveram entre os menores crescimentos relativo, tanto em H quanto em DAC, na terceira avaliação.

Como forma de análise geral, o diagrama da figura 8D, que compreende o período de avaliação de 28 meses, expõe os resultados encontrados ao longo de todo o experimento, entre fevereiro de 2011 e abril de 2013. Ele se assemelha ao digrama da figura 8B por pelo fato de que a segunda avaliação foi a que recebeu o maior intervalo de tempo (13 meses entre setembro de 2011 e outubro de 2012). Por isso em 8D, assim como na 8B, também observamos que o espalhamento horizontal foi influenciado tanto pelo vetor “H” quanto pelo “DAC” e o vertical pelo vetor “S”.

Ainda em 8D observou-se um agrupamento próximo ao vetor “S” entre os pontos “A.ten.C”, “A.ten.T”, “C.spe.C”, “C.lan.C”, “C.lan.T”, “D.ala.C”, “D.ala.T”, “H.ser.C”, “H.ser.T”, “I.lau.T”, “S.str.C”, “S.str.T”, “T.ros.C” e “T.ros.C” indicando que eles apresentaram comportamentos semelhantes no longo do experimento e que obtiveram os maiores valores de sobrevivência. Em oposição a esse vetor, com correlação negativa alta, encontram-se as espécies de menores índices de sobrevivência ao final do experimento, que foram as mesmas que estiveram entre os mais baixos valores desse índice nas outras

três avaliações, *C. antisiphilitica*, *D. miscolobium* e *E. dysenterica* (Tabela 5 e Figura 8D).

Nos diagramas da figura 8 ocorreram alguns casos em que o ponto que representava uma dada espécie no grupo controle ocorreu distante do que a representava no grupo tratamento, como por exemplo, os pontos referentes à *S. striata* e *A. tenuifolia* na figura 8A, a *I. laurina* na figura 8B, *D. alata* e *S. striata* na figura 8C e *I. laurina* na figura 8D. Baseado nesses casos poderia ser inferido que o tratamento com hidrogel teria sido efetivo para essas espécies, porém, devido à essa possibilidade, após a análise de PCA, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, entre os grupos controle e tratamento, que apresentou $p > 0,05$, indicando não haver diferença estatisticamente significativa entre o grupo tratamento e o grupo controle, confirmando a ausência de efeito do hidrogel para as variáveis sobrevivência e incrementos em H e em DAC.

Através das PCAs e do teste confirmativos de Kruskal-Wallis foi possível perceber que o hidrogel, não influenciou na sobrevivência e crescimento das espécies em nenhum dos períodos de avaliação. Porém, observou-se através da disposição dos pontos nas PCAs que, possivelmente, ocorreu diferença entre o comportamento das espécies independente do hidrogel, mas através das PCAs, não foi possível inferir qual dos três parâmetros, sobrevivência, incremento em H ou incremento em DAC mais teria influenciado nesta diferença, pois, em cada diagrama mais de um dos parâmetros contribuiu para o espalhamento dos pontos.

Por isso, através de um terceiro teste de Kruskal-Wallis seguido pelo teste de Mann Whitney para comparação entre as espécies em cada um dos parâmetros analisados, obteve-se valor de $p < 0,05$ para os três parâmetros, indicando que houve diferença estatisticamente significativa entre as sobrevivências e os incrementos em H e DAC das espécies, independente do uso do hidrogel. O teste de Mann Whitney mostrou que o parâmetro no qual as espécies mais se diferiram foi a sobrevivência, indicando a relevante importância do mesmo, sendo que *C. antisiphilitica*, *D. miscolobium* e *E. dysenterica* foram as espécies que mais se diferiram das demais, devido a terem apresentado os mais baixos índices de sobrevivência.

Sendo assim, confirmou-se os indícios presentes nas PCAs de que algumas espécies cresceram mais que as outras independentemente de se encontrava-se no grupo tratamento ou no controle. Esse comportamento ficou evidenciado nos diagramas da figura 8, nos quais a maioria das espécies apresentou seu ponto do grupo controle próximo ao seu ponto do grupo tratamento, porém por vezes distante dos pontos de outras espécies, como é o

caso de, por exemplo, *C. langsdorffii* e *C. antisiphilitica* na figura 8D, onde os pontos “C.lan.T” e “C.lan.C” ocorrem próximos um do outro porém distante dos pontos “C.ant.T” e “C.ant.C”, que por sua vez também ocorrem próximos um do outro. Essa disposição indica que *C. langsdorffii* e *C. antisiphilitica* se comportaram de maneiras diferentes entre si na avaliação total (Figura 8D) mas que os indivíduos de *C. langsdorffii* do grupo controle se comportaram de maneira semelhante aos do grupo tratamento e o mesmo vale para *C. antisiphilitica*, por exemplo. Esse padrão pode ser visualizado em diversos pontos dos diagramas da figura 8 mostrando que de forma geral essa foi a maneira que as espécies se comportaram neste experimento, diferindo entre si, porém não diferindo entre o tratamento e controle, fatos estes que, como já dito, foram comprovados pelo teste de Kruskal-Wallis.

Na tabela 8 é possível visualizar que ao final do experimento, *C. speciosa* foi, a espécie que exibiu o maior (31 e 40 mm) DAC tanto para o grupo tratamento quanto para o controle, e *E. dysenterica* o menor (5 mm), também para os dois grupos (tratamento e controle). Para a variável H, as espécies que apresentaram os maiores valores (todos iguais ou maiores que 100 cm) foram em ordem decrescente para o grupo controle: *C. speciosa*, *D. miscolobium*, *A. tenuifolia*, *C. langsdorffii* e *I. laurina* (sendo as duas últimas com o mesmo valor), e para grupo tratamento: *A. tenuifolia* e *C. langsdorffii*. *E. dysenterica* também expôs os menores valores de H (22 e 20 cm) tanto para o grupo tratamento quanto para o controle.

Ainda na tabela 8, observou-se que, ao final do experimento *D. miscolobium*, foi a espécie que apresentou as maiores diferenças em H e em DAC entre os dois grupos (tratamento e controle), 120 cm para H do grupo controle e 35 cm do grupo tratamento e 30 mm para DAC do grupo controle e 18 mm do grupo tratamento. É possível observar também que as espécies que obtiveram altura maior que 100 cm são em sua maioria pertencentes ao grupo controle.

Nos três gráficos da figura 9 (A, B e C) a proximidade das linhas que representam as espécies savânicas do grupo controle com as linhas que as representam no grupo tratamento indica que os valores do grupo que recebeu o hidrogel e do que não recebeu se assemelham, o mesmo observa-se para a disposição das linhas que representam as espécies florestais. Porém, o conjunto de linhas (referentes a tratamento e controle) das espécies savânicas dispõe-se afastado do conjunto das linhas das espécies florestais, indicando haver diferença nos valores entre esses grupos de espécies florestais e savânicas. Esses indícios foram confirmados pelo teste de medianas de Kruskal-Wallis que apresentou

$p > 0,05$ para a comparação entre grupo controle e tratamento nos três parâmetros, sobrevivência, incremento em DAC e incremento em H e $p < 0,05$ para a comparação entre os grupos savânicos e florestais, também para os três parâmetros. Corroborando então, que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos que recebeu o hidrogel e o que não recebeu, porém, que houve diferença entre os grupos savânicos e florestais.

Tabela 8 - Medianas de altura (cm) e de diâmetro a altura do coleto (mm) das 11 espécies arbóreas nativas do Cerrado, ao final do período de avaliação, em abril de 2013, utilizadas em experimento de recuperação de área degradada pela exploração de areia no Cerrado, no Distrito Federal

Espécies	H (cm)	DAC (mm)
Tratamento		
<i>Acacia tenuifolia</i>	116	12
<i>Ceiba speciosa</i>	96	31
<i>Copaifera langsdorffii</i>	100	24
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	41	19
<i>Dalbergia miscolobium</i>	35	18
<i>Dipteryx alata</i>	49	19
<i>Eugenia dysenterica</i>	22	5
<i>Handroanthus serratifolius</i>	83	15
<i>Inga laurina</i>	62	20
<i>Sterculia striata</i>	52	24
<i>Tabebuia roseoalba</i>	61	16
Controle		
<i>Acacia tenuifolia</i>	101	12
<i>Ceiba speciosa</i>	122	40
<i>Copaifera langsdorffii</i>	100	22
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	35	15
<i>Dalbergia miscolobium</i>	120	30
<i>Dipteryx alata</i>	56	16
<i>Eugenia dysenterica</i>	20	5
<i>Handroanthus serratifolius</i>	63	13
<i>Inga laurina</i>	100	29
<i>Sterculia striata</i>	39	20
<i>Tabebuia roseoalba</i>	65	16

(H = altura; DAC = diâmetro à altura do coleto)

Pode-se observar ainda que após decorridos dois meses do plantio, as espécies savânicas, tanto no grupo tratamento quanto no controle, apresentaram notável queda no índice de sobrevivência enquanto que para as florestais essa queda se mostrou de forma sutil. Nos demais períodos, oito, 22 e 28 meses após o plantio o decréscimo nas taxas sobrevivência foram discretos tanto para as savânicas quanto para as florestais, ambas em tratamento e controle (Figura 9A).

Nas figuras 9B e 9C, observou-se que na primeira avaliação os incrementos em DAC e H das espécies florestais foram notavelmente superiores aos das espécies savânicas e que, na segunda avaliação as espécies savânicas apresentaram saltos nos incrementos tanto de DAC quanto de H. Na terceira avaliação o incremento tanto das savânicas quanto das florestais caiu em comparação com a segunda avaliação, porém continuaram maiores que os incrementos da primeira. Esses comportamentos ocorreram tanto no grupo controle quanto no tratamento (Figuras 9B e 9C).

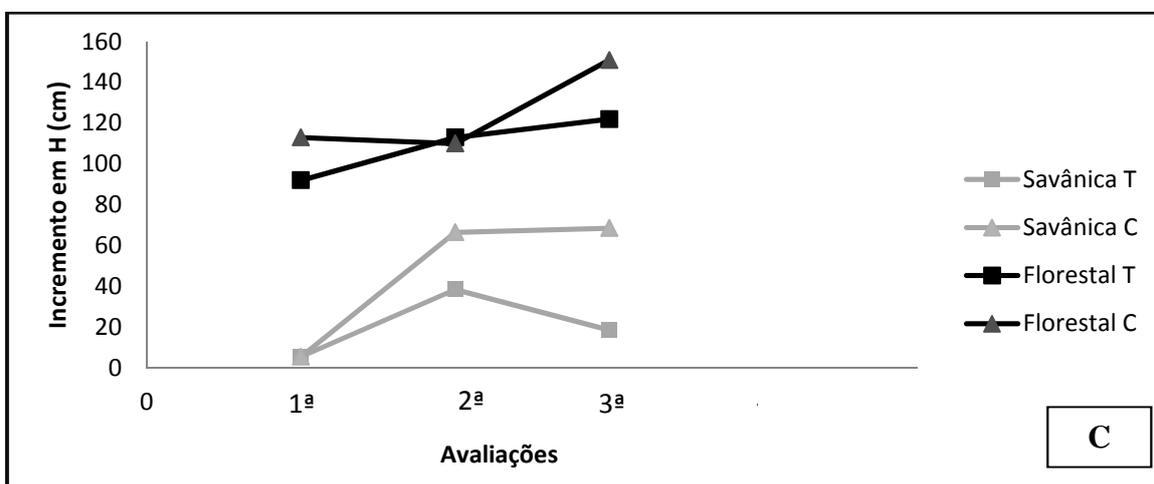
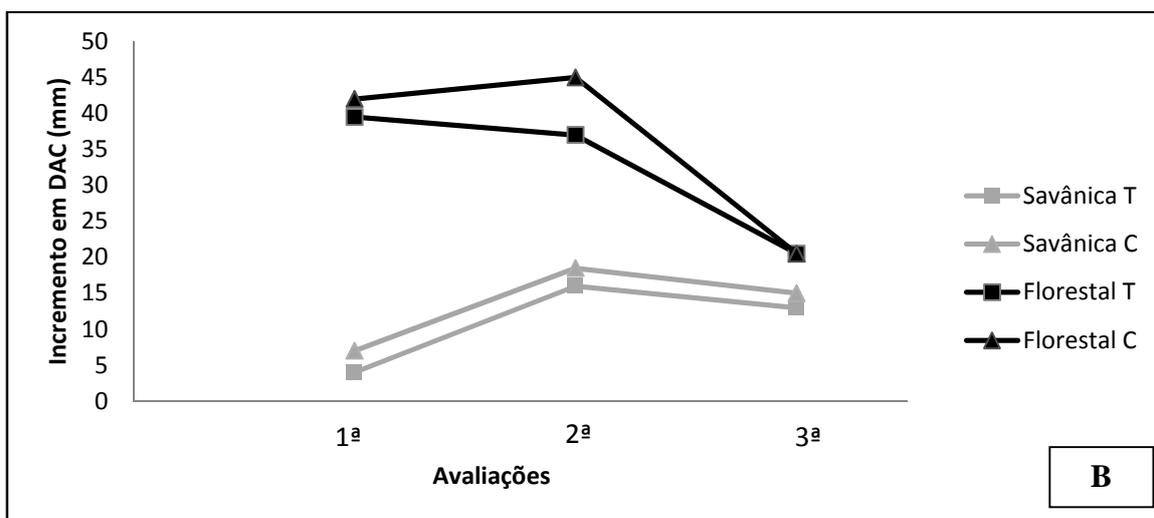
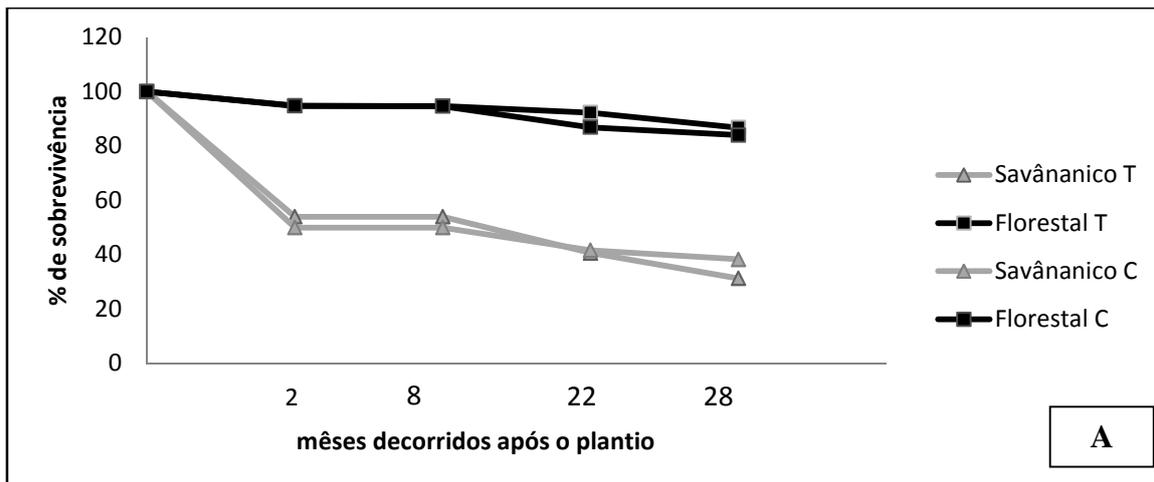


Figura 9 – Gráficos de dispersão comparando a sobrevivência (%) (A), o incremento em DAC (mm) (B) e em H (cm) (C) entre espécies savânicas e florestais dos grupos tratamento e controle. (Savânico T: espécies de ocorrência preferencial em ambiente savânicos do grupo tratamento; Florestal T: espécies de ocorrência preferencial em ambiente florestal do grupo tratamento; Savânico C: espécies de ocorrência preferencial em ambiente savânicos do grupo controle; Florestal C: espécies de ocorrência preferencial em ambiente florestal do grupo controle; olhar espécies savânicas e florestais em Tabela 1).

5. DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para a ausência de efeito do hidrogel nas propriedades físicas e químicas do solo, na sobrevivência e no crescimento das plantas, podem estar relacionados a uma série de fatores. De acordo com Kazanskii e Dubrovskii (1992) e Jhurry (1997), para interpretar resultados advindos desse produto é necessário levar em consideração as interações exercidas por diversos elementos como: o tipo de hidrogel, as condições do solo, a quantidade de polímero utilizada, as condições de temperatura e pressão, o tipo de planta e etc. Esses autores comentam que a eficácia do hidrogel pode ser alterada quando ocorrem variações e um ou mais desses fatores.

Neste sentido, podemos inferir que os resultados da não efetividade do hidrogel no presente trabalho podem ser em decorrência da quantidade que foi aplicada desse produto. Diante das condições da área do estudo, possivelmente, a dose de 400 ml não foi suficiente para que, 32 meses após o plantio das mudas, o hidrogel influenciasse no crescimento e sobrevivência de espécies nativas e nas características edáficas do Neossolo Quartzarênico minerado. Shooshtarian et al. (2012) comentam que cada espécie vegetal requer uma quantidade de hidrogel, e que estudos devem ser feitos no sentido de adequar a dose para cada espécie.

Além disso, esses resultados podem estar relacionados ao possível desgaste do produto ao longo do tempo. Embora o fabricante e alguns pesquisadores (EKEBAFE et al., 2011) aleguem que o produto seria viável por até cinco ou sete anos, a perda da efetividade do mesmo ao longo do tempo, foi verificada por Al-Hahi et al. (1999). Sendo assim, como o solo foi coletado 32 meses após o plantio, possivelmente, o hidrogel já não se apresentava de forma efetiva.

Outra provável causa pode ser o fato de que a maioria das espécies de cerrado está adaptada a persistirem em períodos de estresse hídrico, que ocorrem anualmente neste bioma. Como discutido por Carvalho (2009), essas espécies possuem estratégias e mecanismos funcionais para tolerar a estação seca que decorre em déficit hídrico no solo. Esses mecanismos atuam evitando a seca ao, por exemplo, promover o acúmulo de água em estruturas (como xilopódios) e no tronco das plantas (como observado em *C. speciosa*). Outra estratégia que se pode citar é a perda de folhas na parte aérea com a finalidade de evitar a perda de água e tolerar o déficit hídrico no solo (CARVALHO, 2009), essa estratégia foi presenciada em campo. Talvez, as adaptações dos vegetais do Cerrado promovam o mesmo efeito que o hidrogel promove em espécies cultivadas, e como as

plantas nativas já possuem essa capacidade o hidrogel pode ter tido seu efeito “suprimido” pelas adaptações.

5.1. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

O solo da área é predominantemente arenoso, classificado como Neossolo Quartzânico, sendo resultado de manejos da mineração que requer a movimentação de grandes volumes de material edáfico (PILLON et al., 2010). Esses manejos, como a exposição das camadas inferiores e o armazenamento e recobrimento de camadas superficiais acabam por modificar características edáficas. Sendo assim, por vezes, os solos advindos de áreas mineradas podem não mais possuir as particularidades que anteriormente os encaixava no Sistema de Classificação de Solos Brasileiro (EMBRAPA, 2013). Porém, mesmo com a degradação algumas características podem ser mantidas.

5.1.1. Caracterização física do solo

No diagrama da PCA das características física do solo (Figura 6) os vetores das variáveis densidade do solo (D_s), microporosidade (Micro) e umidade volumétrica (U.Vol.) dispuseram-se em direção e sentidos semelhantes e, em oposição ao vetor da variável de macroporos (Macro). Essa disposição é devido ao fato de que, quanto maior for a quantidade de microporos, maior tende a ser a umidade do solo, pois são os microporos que retêm as moléculas de água no solo. Além disso, em decorrência do aumento do número de microporos e do aumento da umidade, também ocorre a tendência de aumento da densidade do solo, pois, se o espaço poroso estiver em sua maioria ocupado por água, devido a se tratarem de microporos, haverá menor espaço preenchido pelo ar. Dessa forma, o aumento da massa do solo com a diminuição da aeração leva ao aumento de densidade. Em oposição, quanto maior for a quantidade de macroporos maior será a quantidade de ar dentro do solo e conseqüentemente menor será a densidade do mesmo, menor será a quantidade de microporos e menor a umidade do solo (BRADY; WEIL, 2013). Sendo assim, o ponto de maior densidade é aquele de maior microporosidade e umidade e menor macroporosidade (0Cc) e os de maior macroporosidade são os de menor densidade, microporosidade e umidade (20Cc e 20Ct) (Figura 6 e Tabela 3).

Do ponto de vista físico, em um solo dito ideal para o desenvolvimento vegetal estima-se que em 1 m³ existam 50% de porosidade total (PT) sendo 25% para Macro e 25% para Micro (NOVAIS; MELLO, 2007). Porém, através da tabela 3 pode-se notar que no presente trabalho, em todas as amostras, apresentam PT inferiores a 50% indicando baixo índice dessa propriedade. Além disso, a divisão entre os poros está desigual, fora do parâmetro de 25:25%, sendo a maioria (de 27,2% a 39,6%) ocupada por macroporos e somente uma pequena parcela (de 6,1% a 8,8%) ocupada pelos microporos (Tabela 3). Essa característica não é considerada boa para o plantio de espécies vegetais e é típica de solos arenosos.

Em estudo comparando porosidade em solos destinados a diferentes usos, Sales et al. (2010) encontraram na camada de 0 a 20 cm, Macro e Micro respectivamente, 31% e 14% em cerrado nativo, 23% e 15% para pastagem, 24% e 15% para integração agricultura-pecuária e 24% e 14% para plantio direto. Percebe-se então que o balanço entre os poros do solo degradado pela exploração de areia tende a ser menos favorável quando comparado a outros tipos de solo como a pastagem e métodos de cultivo agrícola.

O balanço entre a quantidade de Micro e Macro é importante para favorecer o desenvolvimento do vegetal influenciando nas proporções de água e oxigênio, que no solo devem apresentar-se em quantidades semelhantes. Como a predominância da água disponível para as plantas está no microporos e o oxigênio se concentra nos macroporos é importante que os dois tipos de orifícios coexistam em abundâncias semelhantes (NOVAIS; MELLO, 2007; LEPSCH, 2011; BRADY; WEIL, 2013).

Os macroporos, além de serem os responsáveis pela aeração e a drenagem da água no solo, influenciam também no crescimento das raízes, pois, os orifícios desses poros oferecem caminhos livres para que as raízes cresçam e alcancem água e nutrientes (LEPSCH, 2011; VALICHESKI et al., 2012; BRADY; WEIL, 2013). Por outro lado, os microporos atuam na retenção de água disponível para as plantas (BRADY; WEIL, 2013).

Collares et al. (2011) relacionam baixos índices de macroporosidade com baixo desenvolvimento dos vegetais, afirmando que em períodos de seca, a escassez de macroporos prejudica o acesso das raízes a água que está armazenada em camadas mais profundas. Segundo os autores, devido a essa relação entre Macro e crescimento das raízes, índice de Macro abaixo de 0,10 m³/m³ indica que em curtos períodos de seca o desenvolvimento das plantas poderá ser limitado. Ros et al. (1997) também indicam que valores abaixo de 0,10 m³/m³ representam deficiência de aeração e acrescenta que, em geral, considera-se que 0,25 m³/m³ representa boa porosidade de aeração.

Ao converter os dados de porcentagem de Macro do presente trabalho em m^3 de macroporos por m^3 de solo, todos os valores, em todas as profundidades e pontos de coleta, apresentam-se acima de $0,50 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Sendo assim, este solo estaria dentro do considerado adequados por Ros et al. (1997) no que diz respeito a aeração (acima de $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Porém, o fato desse valor estar nitidamente acima do referenciado na literatura e apresentar acentuada desigualdade de divisão entre Micro e Macro, gera consequências para a qualidade físico-química do solo (LEPSCH, 2011; BRADY; WEIL, 2013). Sendo a consequência mais direta o aumento do espaço ocupado pelo ar do solo e consequente diminuição da capacidade de armazenamento de água

A maior presença de macroporos em solos arenoso favorece a perda de água por infiltração devido à rápida taxa de drenagem em comparação aos solos de textura argilosa, pois, os grandes orifícios não conseguem reter água em seu interior. Essa característica está relacionada com os potenciais matricial e gravitacional do solo. Além disso, juntamente com a água perdida por lixiviação e infiltração são perdidos nutrientes e, consequentemente a fertilidade da área decai (LEPSCH, 2011; BRADY; WEIL, 2013).

Almeida e Sánchez (2005) comentam que a sobrevivência dos vegetais é influenciada não somente pelos baixos índices de porosidade como também pela consequente compactação do solo. Frequentemente, a compactação do solo é avaliada através dos dados de densidade (FLORES et al., 2007), porém, Collares et al. (2011), Almeida e Sánchez (2005), Flores et al. (2007), Novais e Mello (2007) e Valicheski et al. (2012) relacionam a compactação com o nível de porosidade, sendo essas grandezas inversamente proporcionais. Portanto, solos com baixa porosidade, como o do presente estudo, tendem a apresentar alta compactação, característica que tende a prejudicar intensamente o desenvolvimento e a sobrevivência de espécies vegetais, em especial as cultivadas (NOVAIS; MELO, 2007; VALICHESKI et al., 2012). Almeida e Sánchez (2005) comentam que altos índices de mortalidade em plantios de áreas degradadas por mineração de areia podem ser reflexos da alta compactação e da baixa porosidade tipicamente encontradas nesses ambientes.

Portanto o fator compactação pode ter influenciado negativamente a sobrevivência das mudas do presente experimento Uma vez que, não somente a baixa quantidade de poros indica nível de compactação na área, como também, os valores encontrados de densidade do solo acima de $1,45 \text{ g}/\text{cm}^3$ (Tabela 3) apontam para essa tendência (LEPSCH, 2011).

Quanto à umidade, esperava-se se que os maiores índices fossem encontrados nas amostras retiradas nas covas que receberam o tratamento com hidrogel, uma vez que esse composto atua na retenção de água (WOODHOUSE; JOHNSON, 1991). Porém, como o teste de Kruskal-Wallis entre os pontos de coleta de solo indicou não haver diferença estatisticamente significativa entre os mesmo, apesar de experimentos executados por Bakass et al. (2002) e El-Rehim et al. (2004), por exemplo, comprovarem que o hidrogel possui a capacidade de reter água no solo, isso não ocorreu no presente trabalho. Além disso, a maior média de porcentagem de umidade volumétrica, 8,8% (Tabela 3), foi encontrada na camada de 0 a 20 cm, das amostras coletadas em covas do grupo controle, aquelas que não receberam hidrogel. A ocorrência da maior média de umidade no ponto em que não houve adição do condicionante evidenciou a não efetividade do hidrogel neste experimento.

Em relação à umidade, resultados parecidos com o do presente trabalho foram encontrados por Martins et al. (2004) que indicaram que o hidrogel não conseguiu manter a umidade adequada ao bom desenvolvimento de mudas de *Coffea canephora*. Porém, Willingham e Coffey (1981) e Wofford Jr. (1989) em estudo com tomateiro, Taylor e Halfacre (1986) com *Ligustrum lucidum* Ait e Huttermann et al. (1999) com *Pinus halepensi*, encontraram efeito significativamente positivo do hidrogel em relação à retenção de água e conseqüentemente em relação à umidade do solo.

Rezende (2001), diz que o efeito do hidrogel sob a de retenção de água pode variar de acordo com o solo em que ele é aplicado. Abedi-Koupai e Asadkazemi (2006) e Abedi-Koupai et al. (2008) completam dizendo que incorporação de hidrogel ocorre com melhor desempenho em solos de textura grossa. Pois, avaliaram a retenção de água em solos arenosos e argilosos e constataram que o hidrogel aumentou em aproximadamente 2,2 vezes a disponibilidade de água em solos arenosos enquanto que em solos argilosos este aumento foi de aproximadamente 1,2 vezes. Outros autores (ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008; EKEBAFE et al., 2011) também sugerem que o desempenho dos hidrogéis como condicionadores do solo é maior em solo arenosos. Porém, apesar do solo do presente trabalho apresentar textura arenosa não foi observado bom desempenho do hidrogel.

5.1.2. Caracterização química do solo

Quanto às propriedades químicas, ligadas à acidez e teor de nutrientes, a tendência era de que as amostras de solo retiradas das covas que receberam o tratamento apresentassem propriedades de melhor qualidade do que as demais amostras e que, através da adubação e ação das raízes das mudas no solo, as amostras retiradas das covas exibissem propriedades químicas melhores do que as retiradas do ambiente fora da cova. Porém, através da figura 7, observou-se que devido à ausência de agrupamentos seguindo algum padrão relacionado ao tratamento e através do teste de Kruskal-Wallis entre os pontos de coleta de solo, constatou-se que isso não ocorreu no presente experimento. Indicando então, que o efeito da adubação e da adição de 400 ml de hidrogel não foi suficiente para alterar as condições químicas da cova.

O caráter distrófico do solo, ou seja, de baixa fertilidade foi evidenciado pelo fato de que a saturação de bases (V%) obtida em todos os pontos de coleta foi menor que 50% (Tabela 4). Esse é um fato comum para áreas de Neossolo Quartzarênico devido à facilidade com que nesses terrenos os nutrientes são perdidos por lixiviação (CORRÊA et al., 2004). Por isso, para esse tipo de solo estima-se que o valor de V esteja entre 8 a 38% (RADAM BRASIL, 1982). Sendo assim, apesar de baixa, a média encontrada para essa propriedade está dentro do relatado na literatura para a área em questão. O fato dos valores encontrados estarem mais próximos no limite inferior do indicado (8%) do que do superior (38%) pode estar relacionado com o alto nível de degradação da área.

Todas as características relacionadas à acidez do solo, (pH, m%, H+Al e Al³⁺) indicam caráter ácido para as amostras do presente trabalho. Mas, os valores aqui relatados para saturação por alumínio (m%) (Tabela 4) estão dentro da faixa, de 25% a 80%, considerada frequente em Neossolo Quartzarênico (RADAM BRASIL, 1982).

O pH é uma das características químicas do solo mais importantes para a determinação da produção agrícola, o pH médio do solo de cerrado está em torno de cinco (LOPES, 1983). Nos três pontos de coleta e nas duas profundidades o valor médio encontrado para o pH está na faixa encontrada nos solos desse bioma (Tabela 4) que em sua maioria apresenta pH edáfico ácido. É importante ressaltar que a variabilidade de comportamento das diversas espécies de plantas em relação aos efeitos da acidez do solo, não permite generalizações e dificulta bastante o estabelecimento de faixas de pH para o estabelecimento vegetal (SOUSA et al., 2007).

Também relacionado com a acidez está o alumínio. No presente trabalho, a maioria dos valores encontrados para alumínio trocável (Al^{3+}) estão acima porém, próximos da média de $0,2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (Tabela 4) relatados por Sousa et al. (1989) também em Neossolo Quatizarênico do Cerrado. O Al^{3+} está relacionado ao crescimento radicular dos vegetais, podendo prejudicar o mesmo quanto se apresenta em excesso, causando efeito fitotóxico (SOUSA; LOBATO 2004; SOUSA et al., 2007; HARIDASAN, 2008).

As altas concentrações de Al^{3+} estão associadas a baixos valores de pH, sendo essas duas características, inversamente proporcionais (SOUSA et al., 2007). O pH ácido e o Al^{3+} alto são ocorrências edáficas comuns do Cerrado pois, os solos desse bioma são altamente intemperizados devido a seu estado mais avançado de formação (SILVA; RESCK, 1997; SOUSA; LOBATO, 2004; HARIDASAN, 2008), em geral acima de 6 milhões de anos como por exemplo, os Latossolos e Argissolos. Devido ao longo período que se passou desde a formação pedogênica dos solos do Cerrado, as plantas e demais seres vivos hoje encontrados nesta área tiveram tempo suficiente para se adaptarem as condições ambientais ali presentes. Por vezes, o Cerrado é designado possuidor de características hostis, porém, os contínuos processos evolutivos que ocorrem ao longo dos tempos admitiram que fossem desenvolvidas habilidades, como a tolerância a altos níveis de alumínio, que permitem a sobrevivência e o desenvolvimento nesta área.

Por isso, o nível de alumínio trocável considerado fitotóxico para as plantas cultivadas podem ser tolerados pelas nativas do Cerrado. Essa temática é discutida por Haridassan (2008) que enfatiza que os níveis de alumínio analisados para agricultura não podem ser estendidos para áreas nativas. Os resultados do presente trabalho corroboram essa linha de pensamento, pois, mesmo diante do solo ácido a maioria das espécies apresentou bom desenvolvimento (Tabelas 6 e 7).

Seguindo o gradiente sugerido por Sousa e Lobato (2004) para camada de 0 a 20 cm em solos do Cerrado, podemos comentar que os elementos P, Ca^{2+} e Mg^{2+} encontram-se em baixas concentrações (Tabela 4). Essas ocorrências podem ser derivadas dos baixos teores de argila e de matéria orgânica desse solo. Apesar disso, para cálcio trocável (Ca^{2+}) Cochrane e Azevedo (1988) relatam que 77% dos solos do Cerrado apresentam teores inferiores a $0,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ na camada de 20 a 50 cm. Porém, no presente estudo, nota-se que mesmo na camada mais superficial (0 – 20 cm) os teores de Ca^{2+} apresentam-se dessa forma (Tabela 4). Portanto, segundo Sousa e Lobato (2004), os valores encontrados para Ca^{2+} , no presente estudo, na camada de 0 a 20 cm são baixos e segundo Cochrane e Azevedo (1988) os da camada de 20 a 40 cm estão dentro da faixa relatada na literatura.

No Cerrado, o Ca^{2+} possui grande relevância (RITCHEY et al., 1980), pois, esse elemento influencia no crescimento radicular em camadas profundas e no referido bioma, normalmente, a água se encontra em regiões profundas do solo.

Em relação ao magnésio trocável (Mg^{2+}), Sousa e Lobato (2004) classificam como baixos, os teores que se apresentam inferiores a $0,5 \text{ cmol/dm}^3$, como os do presente estudo (Tabela 4), enquanto que Sousa et al. (2007) consideram nível deficiente, para este elemento, teores abaixo $0,8 \text{ cmol/dm}^3$, porém comentam que em 85% dos solos do Cerrado essa é uma ocorrência frequente. Portanto, podemos considerar que os valores de Mg^{2+} do presente estudo apesar de baixos estão dentro do comumente relatado para essa região. Mas, vale ressaltar que, mesmo estando dentro da faixa encontrada na região, o valor de $0,1 \text{ cmol/dm}^3$ para Mg^{2+} , pode comprometer drasticamente o crescimento das plantas (SOUSA; LOBATO 2004).

Para o fósforo (P), elemento de grande importância para a fase de estabelecimento de mudas, os baixos teores como os apresentados na tabela 4, também são frequentes em solo do Cerrado. Assim como a acidez, esse fato está relacionado ao grau de intemperismo dos solos do desse bioma. Através de mudanças edáficas graduais que ocorrem durante o processo de intemperismo a capacidade de troca catiônica (CTC) diminui, a adsorção aniônica aumenta, a saturação por bases cai e gradualmente aumenta-se a retenção de ânions como o fosfato (PO_4^{3-}). Em decorrência disso, em solos altamente intemperizados como os do Cerrado, grande parte do P presente encontra-se fixado à argilominerais do solo, em especial à óxidos de ferro e alumínio estando estão, indisponíveis para as plantas (SOUSA et al., 1987; SOUSA et al., 2004; NOVAIS et al., 2007).

Semelhantemente ao P, o potássio (K) também se encontra, frequentemente, em baixas concentrações no solo do Cerrado devido ao intemperismo e às perdas por lixiviação, pois ele é um elemento móvel no solo. Em consequência da acidez e baixa CTC desses ambientes, ocorre queda na energia de adsorção de cátions como o K^+ e consequentemente, esse elemento passa a ser facilmente perdido por lixiviação (ERNANI et al., 2007; NOVAIS et al., 2007). Segundo Ernani et al. (2007) os valores de K encontrados no presente estudo podem ser considerados baixos, conforme o comumente encontrado para essa região (Tabela 4).

Ainda seguindo essa linha de raciocínio do intemperismo, podemos justificar também os baixos valores de CTC e V encontrados no presente estudo (Tabela 4). Segundo Sousa et al. (1989) é considerada baixa CTC menor que 4 cmol/dm^3 e de acordo com Sousa e Lobato (2004) a maior parte dos solos do Cerrado possui CTC entre 4 e 12

cmol_c/dm³. Diante disso, nota-se que os valores de CTC relatados no presente estudo encontram-se abaixo dos valores relatados na literatura.

Em relação à matéria orgânica (M.O), Brady (1989) comenta que solos tropicais minerais e bem drenados possuem de 2 a 6 dag/kg de sua massa entre 0 a 20 cm de profundidades, constituída de M.O. Em comparação a esses valores observou-se que os teores de M.O do presente estudo encontram-se abaixo do relatado (Tabela 4). Porém, em estudo com 518 amostras de solo do Cerrado, Lopes e Cox (1977) indicaram que esse bioma comumente apresenta baixos teores de M.O, variação de 0,7 a 6 dag/kg, sendo que 17% das amostras apresentaram valores abaixo de 1,5 dag/kg. Em específico para Neossolo Quartzarênico do Cerrado, Silva e Resck (1997) comentam que na camada superficial, o índice de M.O tende a variar de 2 a menos que 1 dag/kg e, em particular para áreas mineradas no Cerrado é comum se encontrar teores de M.O abaixo de 1 dag/kg, conforme o encontrado na maioria das amostras do presente estudo (Tabela 4).

Porém, de acordo com Sousa e Lobato (2004) em terreno de textura arenosa, teores de M.O abaixo de 0,8 dag/kg são considerados baixos, entre 0,8 e 1 dag/kg são considerados médios, entre 1,1 e 1,5 dag/kg, adequados e maiores de 1,5 dag/kg são considerados altos. Seguindo esses parâmetros, os teores de M.O encontrados no presente experimento são médios (0,8 dag/kg) para a camada de 0 a 20 cm de profundidade enquanto que na camada de 20 a 40 cm, são adequados (1,3 dag/kg) para as amostras coletadas fora das covas, baixo (0,6 dag/kg) para as coletadas em covas do grupo controle e médios (0,8 dag/kg) para as coletadas em covas de do grupo tratamento (Tabela 4).

Apesar de alguns dos valores de M.O deste experimento não se encaixarem na faixa considerada de tores baixos, e de todos estarem dentro do relatado por Silva e Resck (1997) para área minerada em Neossolo Quartzarênico, os mesmo podem ser prejudiciais ao desenvolvimento das plantas e do ecossistema de forma geral, pois, Corrêa (2009) comenta que em áreas mineradas o valor mínimo de 2 dag/kg de M.O é essencial para o sucesso de um projeto de recuperação da área degradada. Leite et al. (1992) são ainda mais categóricos ao afirmarem que a revegetação de locais minerados no Cerrado não é possível sem a adição de grandes quantidades de M.O aos seus substratos. Enquanto que Faria et al. (1994) apontam que uma das vantagens da incorporação de M.O é que os efeitos benéficos causados pela mesma estendem-se por longo tempo.

A importância da M.O no equilíbrio de um ecossistema está relacionada ao fato de que ela exerce funções tanto químicas, quanto físicas e biológicas. Pois, a M.O tem a capacidade de criar condições favoráveis às plantas, aos organismos do solo e ao

reestabelecimento de ciclos biogeoquímicos no local. Essas condições são criadas através da melhoria na taxa de infiltração de água e na quantidade de água disponível para as plantas, na melhoria na agregação e porosidade do substrato, na elevação da CTC, na liberação lenta de nutrientes (questão essencial para plantas perenes), na redução da lixiviação de nutrientes e no favorecimento da absorção de micronutrientes, entre outros (CORRÊA, 2009). Segundo RAO (2014) o primeiro passo para o processo de RAD é contribuir para a formação de húmus, tornando o solo rico em M.O a fim de sustentar a cobertura vegetal e o ecossistema como um todo. O mesmo autor comenta ainda que, a cobertura do solo por M.O contribui para manter a umidade do solo; principalmente nos períodos de seca.

Sendo assim, presume-se que, no presente experimento apenas o retorno da camada superficial do solo (CSS) não foi o suficiente para conferir ao solo minerado teores de M.O adequados que poderiam alavancar a recuperação da área, fornecendo principalmente maior quantidade de água disponível para as plantas, caráter de suma importância em regiões áridas como o Cerrado. O retorno da CSS é um procedimento de grande importância e contribuição ecológica, porém, por vezes, pode ser necessária a adição de M.O advinda de fontes externas e incorporadas a CSS. Resíduos orgânicos ou adubos orgânicos podem atuar como fonte para melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo os processos de RAD que em áreas mineradas, intensamente degradadas, requer intensas demandas de M.O.

5.2. AVALIAÇÃO DE SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO

5.2.1. Avaliação de sobrevivência

A sobrevivência de mudas em plantio de recuperação de áreas degradadas é um importante parâmetro para se avaliar a qualidade ecológica do ambiente e da aplicação das técnicas utilizadas no projeto de recuperação (DURIGAN; SILVEIRA, 1999). Através da contagem dos indivíduos que permaneceram vivos é possível inferir se o tratamento aplicado, neste caso o hidrogel, influenciou de alguma forma a sobrevivência das mudas.

Segundo Duboc e Guerrini (2007) em situações de recuperação de áreas degradadas, obter taxa de sobrevivência de até 60% pode ser considerado taxa baixa, entre

61% e 80% média e igual ou acima de 81% alta. Diante disso, a sobrevivência total, de 71,6% (Tabela 5), ao final do experimento aqui relatado pode ser considerada média.

Em estudos executados em condições semelhantes à do presente trabalho, Souto (2013) obteve 55,11% para taxa de sobrevivência e Almeida e Sánchez (2005) em trabalho em área de mineração de areia, a taxa de 62%. Comparando com esses estudos, a taxa de sobrevivência encontrada no presente experimento parece estar acima do comumente relatado para trabalhos em RAD no Cerrado. Porém, existem autores que relatam taxas mais altas, Sano e Fonseca (2003), em plantio com espécies nativas do Cerrado observaram, no primeiro ano, taxas de sobrevivência superiores a 85%. Apesar da taxa encontrada por esses autores ser tida como alta, ela se refere apenas ao primeiro ano após o plantio.

A ausência de efeito do hidrogel, em relação à sobrevivência das mudas é corroborada pelos resultados encontrados por Saad et al. (2009) que demonstraram que não houve diferença no índice de sobrevivência em plantio de *Eucalyptus urograndis* com o uso do hidrogel. Porém, em contraste Thomas (2008) com *Eucalyptus pilularis* e *Corymbia citriodora* e Dranski et al. (2013) com *Jatropha curcas* encontraram efeito significativo do hidrogel sob a sobrevivência das referidas espécies. Além disso, Wofford Jr. e Koski (1990) apontaram que nos Estados Unidos da América, o Serviço Florestal do Estado do Colorado obteve aumento no índice de sobrevivência de mudas florestais através do uso de polímeros hidroabsorventes. As desigualdades entre os resultados aqui citados podem ser em decorrência das diferenças de clima, solo e fisiologia das espécies encontradas no Estado do Colorado dos EUA e no cerrado e entre espécies cultivadas (como *Eucalyptus urophylla*) e as nativas do cerrado.

No presente trabalho, *Cybistax antisyphilitica*, *Dalbergia miscolobium* e *Eugenia dysenterica* expuseram os mais baixos valores para a variável sobrevivência em todos os intervalos de tempo, tanto no grupo controle quanto no tratamento (Tabela 5). Resultado semelhante para *E. dysenterica*, foi observado por Antezana (2008) e Rezende (2004) que obtiveram sobrevivência nula para essa espécie. Porém, resultados confrontantes foram observado por Corrêa e Cardoso (1998), Mundim (2004), Oliveira (2006) e Freitas (2012) que relataram altas taxas de sobrevivência para *E. dysenterica* em condições experimentais semelhantes às deste trabalho. Já Duboc e Guerrini (2007) encontraram a sobrevivência de *E. dysenterica* variando entre 50% e 100% dependendo do tratamento com doses de N.

As baixas taxas de sobrevivência de *E. dysenterica* entra em desacordo com o fato de que frequentemente ela é citada como indicadora de solos de baixa fertilidade

(DUBOC; GUERRINI, 2007), como os de áreas mineradas, estando apta para se desenvolver em ambientes como o do presente trabalho. Porém, pode ser justificado pelo fato de que no presente estudo frequentemente encontrou-se indivíduos de *E. dysenterica* com a parte aérea soterrada. O pequeno porte inicial dessas mudas pode ter contribuído para o soterramento da parte aérea da planta. O terreno arenoso e degradado colaborou para tal fato, uma vez que as partículas desagregadas desse solo podem ser facilmente levadas por processos erosivos (LEPSCH, 2011; BRADY; WEIL, 2013).

Para *D. miscolobium*, resultado semelhante de sobrevivência foi encontrado por Rezende (2004) que observou mortalidade de todas as mudas, quatro anos após o plantio. Esses resultados confrontam os de Sano et al. (2008) que dizem que *D. miscolobium* é de ocorrência tanto em ambiente florestal quanto no Cerrado sentido restrito e os de Corrêa (2009), que diz que essa espécie ocorre em ambiente savânico no Cerrado. Dessa forma, a tendência seria de que essa espécie obtivesse altas taxas de sobrevivência no presente experimento. Além disso, segundo Corrêa et al. (2007) e Corrêa (2009) *D. miscolobium* está entre as espécies mais utilizadas em recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado, tendendo a ter sucesso de sobrevivência e desenvolvimento nessas áreas. Mas, Oliveira et al. (2014) comentam que mesmo quando a espécie é capaz de prosperar em condições abióticas incomuns (como os substratos da mineração) seu sucesso não é garantido devido às interações da mesma com os diversos fatores ambientais. Portanto, a baixa sobrevivência de *D. miscolobium* deve estar relacionada à outra questão, como a não adaptabilidade ao terreno arenoso ou ao baixo porte inicial das mudas.

D. miscolobium e *E. dysenterica* possuem crescimento lento (SANO; FONSECA, 2003; VENTUROLI et al., 2013). Por isso, apesar de *E. dysenterica*, comumente, oferecer germinação satisfatória em viveiros (SOUZA et al., 2002), e boa adaptação em solos de baixa fertilidade (SOUZA et al., 2001), tanto ela quanto *D. miscolobium*, geralmente, chegam ainda pequenas ao campo (Figura 10) e demoram a se desenvolverem. O porte inicial de mudas para transplantio é uma questão bastante discutida nos órgãos ambientais (VENTUROLI et al., 2013). Engel e Parrota (2000) afirmam que o crescimento lento em espécies nativas não é um problema agravante para RAD, pois por serem nativas existem maiores chances de que seus polinizadores ainda estejam no ambiente e consigam promover a propagação da espécie que, acarretara em posterior sucesso de estabelecimento da mesma. Porém, quando esse crescimento lento ocorre associado a altas taxas de mortalidade, como apresentado por *D. miscolobium* e *E. dysenterica*, no presente trabalho,

acredita-se que a espécie não esteja apta a se desenvolver em tal ambiente (OLIVEIRA, 2006).

Apesar disso, as mudas que conseguiram superar barreiras, tais como o pequeno porte inicial e o consequente soterramento, e sobreviveram, se desenvolveram bem. É possível notar então, que o pequeno porte inicial das mudas não prejudica o crescimento e sim a sobrevivência dessas espécies e que talvez, se plantadas em terreno não arenoso possam obter taxas de sobrevivência satisfatórias. Vale ressaltar ainda que, pode estar relacionado ao crescimento lento o fato de que *E. dysenterica*, na primeira avaliação, apresentou incremento relativo nulo em DAC tanto para o grupo controle quanto o tratamento e posteriormente, nas outras avaliações, apresentou incremento não nulo.



Figura 10 – Muda de *Eugenia dysenterica* com pequeno porte, em experimento de recuperação de área degradada pela mineração de areia no Cerrado, no Distrito Federal (Fonte: Fabio Venturoli).

As baixas taxas de sobrevivência apresentadas por *C. antisyphilitica*, *D. miscolobium* e *E. dysenterica* podem ainda ser relacionadas com a adubação inadequada para atender a demanda da planta. Pois, algumas espécies de Cerrado não se desenvolvem bem quando adubadas com fertilizantes minerais, devido a serem adaptadas às condições de solo ácido e deficiente em fósforo disponível (EMBRAPA, 1993). Segundo Silva e Corrêa (2008) a elevação da fertilidade do substrato minerado pode ser, portanto, causa provável de mortalidade de espécies nativas do Cerrado em projetos de RAD nessas áreas. O estudo já citado de Duboc e Guerrini (2007) corrobora essa temática, pois, esses autores encontraram 100% de sobrevivência de *E. dysenterica* em solo não tratado com N

enquanto que as mudas que receberam 10, 20 e 40 kg/ha de N obtiveram respectivamente 75%, 50% e 58,25% de sobrevivência.

Para *C. antisyphilitica* os valores, encontrados no presente trabalho, de sobrevivência inferior a 60%, ao final do experimento (Tabela 5), tanto para o grupo tratamento quanto para o controle, se diferem daqueles de Mundim (2004), que observou 72,4% para a mesma espécie em recuperação da área degradada por mineração no Cerrado do DF. Seguindo os parâmetros de Duboc e Guerrini (2007) a taxa encontrada por Mundim (2004) seria considerada média enquanto que a do presente trabalho seria baixa. Essa diferença pode estar relacionada a diversos fatores, como por exemplo, o tipo de solo, o nível de degradação do ambiente, a qualidade das mudas, as condições climáticas e as interações entre a muda e o ambiente.

Outro fator que pode estar relacionado a baixa sobrevivência de *E. dysenterica*, *D. miscolobium* e *C. antisyphilitica* é a compactação do solo comentada no item 5.1.1. Apesar das amostras de solo coletadas em covas não pertencerem a *C. antisyphilitica*, *D. miscolobium* e *E. dysenterica* pode-se fazer uma comparação devido às amostras coletadas fora das covas representarem a área do experimento de forma geral e, devido ao fato de que as amostras coletadas nas covas de *C. langsdorffii* não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre as demais. Possivelmente, para essas três espécies, as raízes podem não ter conseguido romper as camadas compactadas para busca recursos e por isso tiveram suas sobrevivências prejudicadas.

Excetuando, *E. dysenterica*, *D. miscolobium* e *C. antisyphilitica* as demais espécies apresentaram, no grupo controle, mais de 70% de sobrevivência em todos os intervalos de tempo de medições, chegando a 100% durante todo o experimento para *Ceiba speciosa*. Para o grupo tratamento, os índices de sobrevivência também foram altos, porém, de forma geral, menores que para o grupo controle. As espécies que apresentaram mais que 70% de índice foram: *Acacia tenuifolia*, *Copaifera langsdorffii*, *Dipteryx alata*, *Handroanthus serratifolius*, *Inga laurina*, *Sterculia striata* e *Tabebuia roseoalba*, chegando a 100% para *C.langsdorffii* e *S.striata* durante todo o experimento.

C. langsdorffii apresentou altos valores em sobrevivência tanto para o grupo tratamento quanto para o controle em todas as avaliações (Tabela 5). Resultado que corrobora o valor de 100% de sobrevivência encontrado por Oliveira (2006) para a mesma espécie, também em área de recuperação ambiental no Cerrado do DF. Por outro lado, Rezende (2004), Mundim (2004) e Souto (2013) obtiveram baixas taxas de sobrevivência para *C .langsdorffii*. As altas taxas de sobrevivência para *C. langsdorffii* podem estar

relacionadas com o fato de que essa espécie é de ampla distribuição ecológica, ocorre em diferentes biomas (LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL, 2014) e em diversas fitofisionomias dentro do bioma Cerrado e por isso se adapta facilmente a vários ambientes (SANO et al., 2008).

D. alata também possui ampla distribuição (LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL, 2014), ocorrendo em mata de galeria, mata seca, cerradão, Cerrado sentido restrito e em área antrópica (SANO et al., 2008), mas não obteve sucesso igual ao de *C. langsdorffii*. Porém, mesmo assim, ofereceu índices satisfatórios de sobrevivência, todos acima de 80%. Resultado que confronta o valor de 20% de sobrevivência encontrado por Souto (2013) para essa espécie, em condições semelhantes à do presente trabalho, porém corrobora aqueles encontrados por Corrêa e Cardoso (1998), Sano e Fonseca (2003), Mundim (2004) e Oliveira (2006) que também obtiveram taxas satisfatórias de sobrevivência para *D. alata*. As demais espécies que também apresentam esse tipo de distribuição, ampla, *D. miscolobium* e *E. dysenterica* (LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL, 2014), e também poderiam ser favorecidas por esta características tiveram a sobrevivência possivelmente prejudicada pelo soterramento ou pela compactação do solo, conforme já comentado.

Para *A. tenuifolia*, em específico, os resultados satisfatórios de sobrevivência, maiores que 70% nos dois grupos, tratamento e controle, ao final do experimento (Tabela 5) podem ser relacionados à linhagem genética. Pois, normalmente, espécies pertencentes a esse gênero se adaptam bem em ambientes degradados por mineração, conforme comentado por Dias et al. (2007), Costa et al. (2010) e Souto (2013).

Para *I. laurina*, os valores de sobrevivência maiores que 80% (Tabela 5) tanto para o grupo tratamento quanto para o controle, ao final do experimento, foram superiores aos 66,67% encontrados por Souto (2013) em situação experimental parecida. Apesar da diferença, os dois resultados podem ser considerados satisfatórios para tais condições (DUBOC; GUERRINI, 2007). Já para *T. roseoalba*, as altas taxas de sobrevivência corroboram os resultados encontrados por Mundim (2004) de 82,6% aos 24 meses após o plantio e por Antezana (2008) de 100%, 12 meses após o plantio.

As altas taxas de sobrevivência podem ser relacionadas com o fato de que diversas espécies do Cerrado possuem capacidade para de adaptarem a condições consideradas hostis, como as de um ambiente degradado (CORRÊA, 2009; VENTUROLI et al., 2013). O fato do hidrogel não ter exercido efeito positivo sobre as plantas deste experimento, aliado a discreta mortalidade das mudas, demonstra que essas espécies apresentam

mecanismos que possibilitaram a sobrevivência neste ambiente, tolerando o déficit hídrico característico de solos degradados e de estações de estiagem da região centro-oeste. Esses mecanismos podem abranger desde raízes extensas, capazes de retirar água em grandes profundidades (SANO et al., 1995), até estruturas para acúmulo de água (xilopódios e protuberâncias no caule) e estruturas e técnicas para evitar a perda de líquidos para o ambiente (espinhos, acúleos e a perda de folhas) (CARVALHO, 2009). As altas taxas de sobrevivência de *C. speciosa*, podem estar diretamente relacionadas às suas adaptações para enfrentar o estresse hídrico. Essa espécie, além de acumular água no caule formando uma protuberância e de apresentar acúleos, foi encontrada, neste experimento, na maioria das vezes, sem as folhas (Figura 11). Provavelmente a queda das folhas foi uma estratégia adotada para evitar a perda de água por evapotranspiração.



Figura 11 – Muda de *Ceiba speciosa* apresentando ausência de folhas, plantada em experimento de recuperação de área degradada pela mineração de areia no Cerrado, no Distrito Federal.

O fato do hidrogel não ter oferecido o efeito esperado, foi evidenciado pela pequena diferença entre os índices de sobrevivência dos dois grupos, tratamento e controle (71,5% para o grupo controle e 71,6% para o grupo tratamento) ao final do experimento e pelo

teste de Kruskal-Wallis que apontou valor de p indicando não haver diferença estatisticamente significativa entre as espécies que receberam o hidrogel e as que não receberam. Além disso, a espécie em que a sobrevivência exibiu maior diferença entre os grupos tratamento e controle, *C. speciosa*, as mudas que menos morreram pertenciam ao grupo controle (Tabela 5).

O resultado de sobrevivência total (somando tratamento e controle) de mudas ao final do experimento, 71,6%, (Tabela 5) corrobora que mesmo em ambiente severamente degradado é possível que novas espécies vegetais sobrevivam, fato extremamente relevante para o incentivo de ações de recuperação de áreas degradadas. A sobrevivência deve ser criteriosamente garantida em projetos de RAD, uma vez que através o teste de Kruskal-Wallis seguido pelo de Mann Whitney comparando as espécies do presente experimento, independentemente do hidrogel, verificou-se que entre os parâmetros analisados, sobrevivência e incremento em DAC e H, a sobrevivência foi o que mais influenciou na diferença entre as espécies, podendo ser então um fator determinante para o sucesso do reestabelecimento do equilíbrio no ecossistema.

Quanto à comparação da sobrevivência entre as espécies florestais e savânicas, o fato de a figura 9A demonstrou que a sobrevivência das espécies florestais foi superior a das savânicas durante todo o experimento, pode estar relacionado à plasticidade que as espécies florestais possuem para se adaptarem a diversos ambientes (FELFILI, 2007). Porém, o sombreamento proporcionado pelas espécies florestais ao longo dos 28 meses não foi suficiente para promover a eliminação das gramíneas invasoras e conseqüentemente contribuir para a sobrevivência das espécies savânicas (FELFILI et al., 2005). Conforme podemos observar na figura 12, que foi tirada na área do experimento, 28 meses após o plantio e, que apresenta muda de espécie nativa do cerrado totalmente circundada por gramínea invasora, sendo que essas gramíneas não prejudicam somente as espécies savânicas como também as florestais, como é o caso da figura 12 que exibe a espécie *Handroanthus serratifolius*, de ocorrência preferencial em ambiente florestal.



Figura 12 – Muda de *Handroanthus serratifolius*, plantada em experimento em recuperação de área degradada pela mineração de areia no Cerrado, no Distrito Federal, sendo circundada por gramínea invasora, aos 28 meses após o plantio.

5.2.2. Avaliação de crescimento

As medidas de altura (H) e diâmetro a altura do coleto (DAC) são dois importantes, parâmetros relacionados com o desenvolvimento e estabelecimento da planta, fatores esses que, são decisivos para o sucesso de um projeto de RAD. Corroborando essa ideia, El-Rehim et al. (2004) comentam que a viabilidade econômica e agrícola do uso dos hidrogéis deve ser avaliada através do crescimento das plantas.

Dentre os parâmetros de crescimento, para Ritchie (2010), o uso da variável DAC é o que melhor prediz o desempenho das mudas no pós-plantio. Sturion e Antunes (2000) também destacam o DAC como um dos parâmetros mais expressivos para determinar o sucesso do estabelecimento e a qualidade de mudas, afirmando ainda que essa relevância do DAC ocorre em virtude desta variável estar associada ao desenvolvimento do sistema radicular, e ressaltam que o maior diâmetro do coleto promove o maior desenvolvimento da parte aérea, o que pode influenciar positivamente a porcentagem de sobrevivência das mudas em campo.

O resultado, do presente trabalho, indicado pelo teste de Kruskal-Wallis, entre os grupos tratamento e controle, que relevou não haver diferença estatisticamente significativa entre os mesmos no que se refere ao incremento em DAC são corroborados pelos de Sousa et al. (2013), pois em estudo com espécie nativa do Cerrado (*Anadenanthera peregrina*) esses autores também não encontraram influência do hidrogel sobre o DAC. Porém, para

Bernardi et al. (2012) trabalhando com *Corymbia citriodora* o uso do hidrogel proporcionou efeito positivo em relação à essa variável.

Quanto à altura, que neste trabalho também foi indicada pelo teste de Kruskal-Wallis como não apresentando diferença estatisticamente significativa entre os grupos tratamento e controle, resultados semelhantes foram encontrados por Barbosa et al. (2013) em estudo com espécies nativas da Mata Atlântica e Sousa et al. (2013) trabalhando com a nativa do Cerrado *Anadenanthera peregrina*. Porém, em contraste, Mews (2014) e Luduvico (2014), em estudo com espécies nativas do Cerrado, Bernardi et al. (2012) com *Corymbia citriodora*, El-Rehim et al. (2004) com *Zea mays* e Azevedo et al. (2002) com *Coffea arabica* observaram efeitos positivos do hidrogel sob o incremento em altura dos vegetais.

Observa-se então que os resultados já encontrados não possuem uma tendência definida, o hidrogel pode influenciar ou não significativamente na altura e DAC de espécies cultivadas. A diferença entre os resultados dos diversos autores citados pode estar associada à própria diferença genética e comportamental entre espécies nativas do Cerrado e espécies exóticas cultivadas no Brasil como *Corymbia citriodora* ou *Coffea arábica*. Ou pode ainda, como já citado, ser em decorrência aos fatores ambientais da cada localidade ou ao tipo e quantidade de hidrogel utilizados.

Também relacionado às características intrínsecas genéticas, os resultados do presente trabalho demonstraram variações de incremento entre as espécies utilizadas (Tabela 6 e 7), sendo que essa diferença, independentemente do uso do hidrogel, foi verificada pelo teste de Kruskal-Wallis que indicou haver diferença estatisticamente significativa entre as espécies no que se refere aos incrementos em H e em DAC. Isso pode ser justificado relacionando com fato de que, devido às diferenças genéticas, as espécies possuem requerimentos ecológicos distintos e respondem diferentemente a estímulos, tratamentos e às interações com o ambiente (VENTUROLI et al., 2010; 2011 a,b).

Dentro dessa perspectiva de variação de incremento, ao analisar o desenvolvimento das espécies ao longo do tempo percebe-se que *A. tenuifolia* e *C. speciosa* exibiram seus picos incremento em H na primeira avaliação, nos primeiros meses após o plantio (Tabela 7 e Figura 8A). Enquanto que, nas outras avaliações se mantiveram entre os menores valores para a mesma variável (Tabela 7, Figuras 8B e 8C). Além do fato de que o incremento em altura tende a diminuir com o tempo (DURIGAN; SILVERIA, 1999) essa ocorrência pode estar relacionada com a variação da demanda por nutrientes. Pois, essa variação ocorre não somente entre as espécies e entre a estação climática, mas também

entre o estágio de crescimento. Sendo, essa demanda, mais intensa na fase inicial do desenvolvimento (DUBOC; GUERRINI, 2007). Oliveira et al. (2014) comentam que a fase inicial do desenvolvimento das plantas é o período mais crítico no qual ocorrem processos decisivos para a sobrevivência do indivíduo.

Para *A. tenuifolia* em específico, esse comportamento pode ser explicado pelas próprias características dessa espécie que é classificada como pioneira, espécie de rápido crescimento (FEFILI et al., 2007). Espécies pioneiras e secundárias apresentam como estratégia o rápido crescimento inicial e posterior reduções nos índices de crescimento, independentemente da disponibilidade de nutrientes (DUBOC; GUERRINI, 2007). Pode-se dizer então que, por isso, *A. tenuifolia* apresentou um pico de incremento em altura logo no início do experimento (1ª avaliação) e reduziu seu incremento nos demais períodos (2ª e 3ª avaliações).

Por outro lado, *C. speciosa*, é classificada como espécie clímax e de ambiente florestal (DAVIDE et al., 1995). Por isso, provavelmente, esse comportamento com pico de incremento em H na fase inicial se justifica pela premissa do Modelo Nativas do Bioma de que as espécies de ocorrência preferencial em ambiente florestal crescem mais rapidamente que as de ambiente savânico (FEFILI et al., 2005).

Quanto ao DAC, o fato de, ao final do experimento, *C. speciosa* ter apresentado o maior valor, tanto para o grupo controle quanto para o tratamento (Tabela 8) justifica-se por esta espécie apresentar uma protuberância no caule formada pelo armazenamento de água nessa estrutura, sendo então, vulgarmente conhecida como barriguda. Apesar disso, *C. speciosa* esteve entre os menores valores de incremento relativo em DAC na segunda (Tabela 6 e Figuras 8B) e terceira (Tabela 6 e Figura 8C) avaliações, e na avaliação total (Tabela 6 e Figura 8D) tanto para o grupo controle quanto para o tratamento. A justificativa para isso pode ser o fato de que à medida que a planta aumenta sua altura a protuberância característica da espécie passa a ocupar uma região acima do coleto. Portanto, provavelmente essa característica influenciou no valor do incremento em DAC somente nos primeiros meses após o plantio, nos quais *C. speciosa* realmente esteve entre os maiores valores de incremento em DAC.

Apresentando comportamento oposto, *D. alata* e *C. antisiphilitica* estiveram entre os menores incrementos em altura na primeira avaliação (Tabela 7 e Figura 8A) e aumentaram o incremento nas medições consecutivas, sendo que *C. antisiphilitica* apresentou evidente pico de desenvolvimento na segunda avaliação tanto no grupo controle quanto no tratamento (Tabela 7 e Figura 8B).

Para *D. alata* o pico de crescimento em H foi evidenciando na terceira avaliação no grupo controle (Tabela 7 e Figura 8C). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que essa espécie é classificada como secundária inicial e, portanto não tende a apresentar seu pico de incremento nos primeiros meses e sim posterior aos das pioneiras (COSTA et al., 2010). Porém, esse pico de crescimento observado para *D. alata* confronta os resultados encontrados por Mundim (2004), Oliveira (2006) e Souto (2013) que também trabalharam em área degradada no Cerrado, e notaram que essa espécie esteve entre os menores índices de crescimento nos respectivos experimentos. Essa diferença entre resultados pode ter ocorrido por diversas razões, entre elas, qualidade das mudas, tipo de adubação adotado, condições climáticas e nível de degradação do ambiente.

Para *E. dysenterica*, que ao final do experimento, apresentou os menores valores de H e DAC para o grupo controle e tratamento (Tabela 8), os resultados foram corroborados por aqueles encontrados por Oliveira (2006) e Mundim (2004) que também trabalharam em área degradada no Cerrado e observaram que, *E. dysenterica* também apresentou os menores valores de crescimento. Os resultados encontrados podem ser explicados pelo fato de que, comumente, essa espécie investe seu crescimento na porção radicular (FREITAS, 2012). Freitas (2012) observou razão de até cinco para raiz/parte aérea em estudo com *E. dysenterica* e Sano et al. (1995) relatam que até 70 dias após a germinação, essa espécie apresenta razão raiz/parte aérea de aproximadamente 1,0 e que a partir daí ocorre maior investimento no acúmulo de biomassa no sistema radicular.

Para *C. langsdorffii*, observou-se que, ao final do experimento (28 meses após o plantio), ela esteve entre os maiores valores de DAC e H tanto no grupo controle quanto no tratamento (Tabela 8). Resultado este, que confrontam aqueles encontrados por Freitas e Oliveira (2002), Rezende (2004), Oliveira (2006), e Souto (2013), que relataram crescimento de intermediário para baixo nessa espécie. Souto (2013) encontrou, 72 meses após o plantio, DAC de 7,47 mm para *C. langsdorffii* e Rezende (2004), quatro anos após o plantio, notou altura média de 89 cm. Comparando os resultados desses autores com o do presente trabalho, nota-se grande diferença entre os valores de DAC e H e entre a quantidade de meses em que a planta se desenvolveu. Isso evidencia o sucesso que *C. langsdorffii* obteve neste trabalho em comparação a outros experimentos.

Em relação à *T. roseoalba*, Mundim (2004) e Antezana (2008) também em estudo em área de recuperação degradada no Cerrado, observaram resultado similar ao encontrado no presente trabalho. Tanto para os estudos desses autores como para o experimento do

presente trabalho, *T. roseoalba* alcançou níveis de crescimento intermediário entre as espécies estudadas, porém satisfatório.

Quanto ao crescimento comparativo entre as espécies savânica e florestais a figura 9B, mostrou que apesar do grupo florestal manter-se sempre acima do savânico, quanto ao incremento em DAC, ao longo do experimento ocorreu diminuição no incremento das espécies florestais e aumento do das savânicas, confirmando a premissa do Modelo Nativas do Bioma de que as savânicas se desenvolveriam posteriormente às florestais. Em 9C, também ocorreu o incremento em H das espécies florestais de forma mais rápida que o das savânicas. Porém, no caso de H, o incremento continuou aumentando durante todo o experimento para os dois grupos. O fato das espécies florestais demonstrarem que não cessaram o incremento em H indica que, apesar de durante os 28 meses do experimento o esperado sombreamento das árvores florestais não ter sido suficiente para eliminar as gramíneas invasoras, o mesmo ainda pode ocorrer, o que contribuiria para a sobrevivência das savânicas, estabilizando a mortalidade das mesmas que, em 9A demonstram estarem em contínua queda de sobrevivência. Para essa verificação, seria necessário o prolongamento do período de avaliação do experimento. Dessa forma o Modelo Nativas do Bioma poderia mostrar a eficiência do plantio misto, por isso, estudos com esse modelo devem ter continuidade.

Estudos com plantios mistos como os de Durigan e Silveira (1999), Mundim (2004), Oliveira (2006), Antezana (2008), Silva e Corrêa (2008) (em estudo em área de mineração), Freitas (2012) e Souto (2013) também foi observado que as espécies florestais obtiveram maiores sucessos de estabelecimento do que as savânicas (analisando, sobrevivência e crescimento em H e DAC). Por isso esse e outros autores (FELFILI, 2007; PINTO et al., 2007; GIOTTO, 2010 e PINTO et al., 2011) aconselham o uso de plantios mistos, como os do Modelo Nativas do Bioma, em Cerrado sentido restrito. Uma vez que na maioria dos casos as espécies florestais mostram alta plasticidade para se desenvolverem em ambiente diferente do seu podendo assim, contribuir significativamente para a cobertura do solo e recuperação da área degradada (OLIVEIRA, 2006). Além disso, segundo Felfili (2005), o Modelo Nativas do Bioma oferece a versatilidade da área do plantio poder ser convertidas em área exclusiva de espécies savânicas ou exclusiva de espécies florestais. Ou seja, após a recuperação da área a partir do bom estabelecimento das espécies florestais pode-se efetuar o manejo com desbastes das mesmas restando apenas as espécies savânicas, caso o objetivo seja o retorno mais próximo o possível das características iniciais do ambiente.

6. CONCLUSÕES

- A aplicação de 400 ml do hidrogel hidratado não foi suficiente para evidenciar efeito significativo sobre as características físicas e químicas do solo, coletado 32 meses após o plantio de mudas de *Copaifera langsdorffii*, no experimento em área degradada pela exploração de areia, no bioma Cerrado.
- A aplicação de 400 ml do hidrogel hidratado não foi suficiente para evidenciar efeito significativo nas taxas de sobrevivência e de crescimento em altura e em diâmetro do coleto em mudas de 11 espécies nativas plantadas em área degradada pela exploração de areia, no bioma Cerrado.
- As espécies *Cybistax antisyphilitica*, *Dalbergia miscolobium* e *Eugenia dysenterica* apresentaram as menores taxas de sobrevivência no experimento em área degradada pela exploração de areia, no bioma Cerrado.
- As espécies *Copaifera langsdorffii* e *Inga laurina* apresentaram as maiores taxas para o conjunto das variáveis sobrevivência e incrementos em altura e em diâmetro à altura do coleto no experimento em área degradada pela exploração de areia, no bioma Cerrado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de não ter se verificado efeito do hidrogel nas propriedades edáficas, no crescimento, diamétrico e em altura, e na sobrevivência das mudas utilizadas no plantio de recuperação, é importante que estudos nessa área continuem em expansão. Pois, acredita-se que os resultados possuem grande influência do tipo de solo, do clima da região, das espécies vegetais utilizadas, da quantidade de hidrogel aplicada e dos períodos de plantio e de coletas de dados. Aconselha-se então que, em experimentos futuros testem-se diferentes dosagens do hidrogel para plantas nativas e que os experimentos sejam executados em diferentes épocas do ano, com a finalidade de verificação da influência da época de plantio sobre o efeito do hidrogel. Aconselha-se ainda que a coleta de solo seja feita com um intervalo de tempo menor que 32 meses após o plantio, pois, possivelmente, o desgaste do hidrogel está condicionado ao tempo decorrido após a aplicação do mesmo nas covas de plantio, influenciado assim no efeito que o produto pode exercer.

REFERÊNCIAS

- 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.
- ABEDI-KOUPAI, J; ESLAMIAN, S. S.; KAZEMI, J. A. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. **Ecohydrology and hydrobiology**, v. 8, n.1, p.67-75, 2008.
- AHMED, E .M. Hydrogel: preparation, characterization and applications. **Journal of Advanced Research**, 2013.
- AL-HARHI, A. R. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in green house experiments. **Hort Science**, v.34, n.2, p.223-241, 1999.
- ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L.E. Revegetação de Áreas De Mineração: Critérios de Monitoramento e Avaliação do Desempenho. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.47-54, 2005.
- ANTEZANA, F. L. **Crescimento inicial de 15 espécies nativas do bioma Cerrado sob diferentes condições de adubação e roçagem, em Planaltina – DF**. 84f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.
- ARATO, H. D; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa - MG. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.715-721, 2003.
- ARNOLD, S.; KAILICHOVA, Y.; KNAUER, J; RUTHSATZ, A. D.; BAUMGART, T. Effects of soil water potential on germination of co-dominant Brigalow species: Implications for rehabilitation of water-limited ecosystems in the Brigalow Belt bioregion. **Ecological Engineering**, v.70, p.35-42, 2014.
- AZEVEDO, G. T. O. S. **Produção de Mudanças Clonais de *Eucalyptus* Spp. com Polímero Hidroretentor Incorporado ao Substrato**. 75f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.
- 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.
- BAKASS, M; MOKHLISSE, A; LALLEMANT, M. Absorption and desorption of liquid water by a superabsorbent polymer: Effect of polymer in the drying of the soil and the quality of certain plants. **Journal of Applied Polymer Science**, v.83, p.234-243, 2002.
- BARBOSA, T. C.; RODRIGUES, R. R.; COUTO, H. T. Z. do. Tamanhos de recipientes e uso de hidrogel no estabelecimento de mudas de espécies florestais nativas. **Hoehnea** v.40, n.3, p.537-556, 2013.

- BERNARDI, M. R.; JUNIOR, M. S.; 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.
- BRADY, N. C. **Natureza e Propriedades do Solo**, 7ª ed. Tradução Técnica por FIGUEIREDO, A. B. N. Freitas Barro, Rio de Janeiro, 1989, 878p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**, 3ª ed. Tradução Técnica por LEPSCH, I. L. Bookman, Porto Alegre, 2013. 686p.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF, 1988. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 31/03/2014.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2012. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 31/03/2014.
- BROWN, S; LUGO, A. E. Rehabilitation of tropical land: a key to sustaining development. **Restoration Ecology**, v.2, n.2, p.97-111, 1994.
- CARPANEZZI, A. A. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais, In: GALVÃO, A. P. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Restauração Florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa-Florestas, 2005. 139p.
- CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S.; KAGEYAMA, P. Y; CASTRO, C. F. A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In: 6º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. **Anais...** Campos do Jordão, p.216-221, 1990.
- CARVALHO, F. A. **Dinâmica da vegetação arbórea de uma floresta estacional decidual sobre afloramentos calcários no Brasil Central**. 134f. Tese - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.
- CARVALHO, R. P.; CRUZ, M. C. M.; MARTINS, L. M. Frequência de irrigação utilizando polímero hidroabsorvente na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.2, p. 518-526, 2013.
- COCHRANE, T. T.; AZEVEDO, L. G. Savanas do trópico sul-americano: uma visão geral dos seus recursos de clima e solo para desenvolvimento agrotecnológico baseado no inventário computadorizado de sistema de terra do CIAT/Embrapa. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1982. Brasília. Savanas: alimento e energia. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p.773-801, 1988.
- COLLARES, J. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura – pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.41, n.2, p.246-250, 2011.
- CORRÊA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e manejo. In: **Cerrado: correção de solo e adubação**. 2ª ed. Brasília, Embrapa, 2004, p.29-62.

- CORRÊA, R. S.; CARDOSO, E. S. Espécies testadas na revegetação de áreas degradadas. In: CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. **Ecologia e recuperação de áreas de degradadas no cerrado**, Paralelo 15, Brasília, 1998, p.101-116.
- CORRÊA, R. S. **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no Cerrado** Brasília, Paralelo 15, Brasília, 1998. 130p.
- CORRÊA, R. S.; MELLO FILHO, B.; BAPTISTA, G. M. M. Avaliação fitossociológica da sucessão autogênica em áreas mineradas no Distrito Federal. **Revista Cerne**, v.13, n.4, p.406-415, 2007.
- CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado** - Manual para revegetação. Brasília, Ed. Universa, 2009. 174p.
- CORTÉS, A. B.; RAMÍREZ, I. X. B.; ESLAVA, L. F. B.; NIÑO, G. R. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. **Revista Ingeniería e Investigación**, v.27, n.3, p.35-44, 2007.
- CORTES, J. M.; **Desenvolvimento de Espécies Nativas do Cerrado a partir do Plantio de Mudanças e da Regeneração Natural em uma Área em Processo de Recuperação, Planaltina – DF**. 89f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.
- COSTA, M. P.; NAPPO, M. E.; CAÇADOR, F. R. D.; BARROS, H. H. D. Avaliação do processo de reabilitação de um trecho de floresta ciliar na bacia do rio Itapemirim-ES. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.835-851, 2010.
- DEMARTELAERE, A. C. F.; DUTRA, I.; ALVES, S. S. V.; TEÓFILO, T. M. S.; ALVES, S. V. Utilização de Polímero Hidroabsorvente no Meloeiro (*Cucumis melon* L.) sob Diferentes Lâminas de Irrigação. **Revista Caatinga**, v.22, n.3, p.5-8, 2009.
- DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R.; BOTELHO, S. A. **Propagação de espécies florestais**. Belo Horizonte: CEMIG/UFLA/FAEPE; Lavras: UFLA, 1995. 41p.
- DIAS, B. F. S. Conservação da natureza no cerrado brasileiro. In: Pinto, M. N. (Ed.) **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Editora Universidade de Brasília, Brasília, DF: 1994, p.607-663
- DIAS, E. G. C. S.; SÁNCHEZ, L. E. Deficiências na implementação de projetos submetidos à avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo. **Revista de Direito Ambiental**, n.23, p.163-204, 2001.
- DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: Novais, R. F.; Alvarez V, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Eds.), **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2007, p.955-990.
- DNPM, 2002 - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2002/** Ministério de Minas e Energia, Brasília: DNPM/DIDEM, 2002. Disponível em: <www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 04/08/2013.

- DNPM, 2013 - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2013 - Areia para construção** por Tarik Laiter Migliorini, SP, 2013. <www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 02/06/2014.
- DRANSKI, J. A. L.; PINTO JUNIOR, A. S.; CAMPAGNOLO, M. A.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Sobrevivência e crescimento do pinhão-manso em função do método de aplicação e formulações de hidrogel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.5, p.537-542, 2013.
- DUBOC, E.; GUIRRINI, I, A. Crescimento inicial e sobrevivência de espécies florestais de mata de galeria no domínio do cerrado em resposta a fertilização. **Energia na Agricultura**, v.22, n.1, p.42-60, 2007.
- DURIGAN, G.; SILVEIRA, E. R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP. **Scientia Forestalis**, n.56, 1999.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v.38, n.2, p.201-341, 1972.
- EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEIMEN, F. E. **Polymer Applications in Agriculture**. *Biokemistri*, v.23, n.2, p.81-89, 2011.
- EL-REHIM, H. A. A.; HEGAZY, E. A.; EL-MOHDY, H. L. A. Radiation Synthesis of Hydrogels to Enhance Sandy Soils Water Retention and Increase Plant Performance. **Journal of Applied Polymer Science**, v.93, p.1360-1371, 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **Recomendações para o estabelecimento e utilização do *Stylosanthes guinensis* cv. Mineirão**. EMBRAPA-CPAC. Comunicado Técnico, 67; EMBRAPA-CNPQC. Comunicado Técnico, 49. Planaltina/Campo Grande, 1993. 6p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, RJ, 2011. 212p.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. – Rio de Janeiro, RJ : EMBRAPA-SPI, 2013. 353p.
- ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A, 2000. Restauração de ecossistemas florestais: Parte 1. **Agroecologia Hoje**, v.1, p.22-23, 2000.
- ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definido a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L E GANDARA, F. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. FEPAD, Botucatu, SP: 2003, p.1-26p.
- ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. de; SANTOS, F. C.dos. POTÁSSIO. In: Novais, R. F.; Alvarez V, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J. C. L. (Eds.), **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa – MG, 2007, p.551-594.

- FARIA, J. M. R.; DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. Comportamento do guapuruvu (*Shizolobium parahyba*) leguminosae – caesalpinoideae e cássia-verrugosa (*Senna multijuga*) leguminosae – caesalpinoideae em área degradada sob dois regimes de nutrição. **In: I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, I SIMPOSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**, 1994, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ, 1994.
- FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; PINTO, J. R. R. 2005. Modelo nativas do bioma stepping stones na formação de corredores ecológicos, pela recuperação de áreas degradadas no Cerrado. **In: ARRUDA, M. B. (Org.) Gestão integrada de ecossistemas aplicada a corredores ecológicos**. Brasília, DF: IBAMA, 2005. p.187-209.
- FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; PINTO, J. R. R. Recuperação de áreas degradadas. **In: FELFILI, J. M.; SAMPAIO, J. C.; CORREIA, C. R. M. A. (Orgs.) Conservação da natureza e recuperação de áreas degradadas na bacia do São Francisco: treinamento e sensibilização**. Brasília, DF: Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas/CRAD, 2008, 96p.
- FELFILI, J. M. Recuperação de áreas degradadas no cerrado, com espécies nativas do bioma: quebrando paradigmas. **Revista Opiniões**. v.7, 2007.
- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.B.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavourapeçuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007.
- FREITAS, V. L. O. **Restauração de áreas degradadas pela extração de ardósia, utilizando seus rejeitos, no município de Papagaio, Minas Gerais**. 116f. Tese - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Biologia Geral do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012.
- FONTENO, W. C.; BILDERBACK, T. E. Impact of hydrogel on physical properties of coarsestructured horticultural substrates. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.118, p.217-222, 1993.
- GIOTTO, A. C. **Avaliação do desenvolvimento dos componentes arbóreos e herbáceos na recuperação de áreas degradadas na bacia do Ribeirão do Gama, Distrito Federal**. 85f. Dissertação – Programa de Pós- Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2010.
- HALLETT, L. M.; DIVER,S.; EITZEL,M. V.; OLSON,J. J.; RAMAGE,B. S.; SARDINAS,H.; STATMAN-WEIL,Z.; SUDING,K,N. Do we practice what we preach? Goal Setting for Ecological Restoration. **Restoration Ecology**, v.21, n.3, p.312-319, 2013.
- HAMMER.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. 2001. **PAST: Paleontological Statistics software package for education and analysis**. *Paleontologia Electronica*, v.4, n.1, 9p.

- HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.20, n.3, p.167-178, 2008.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K. R.; WANDER, M. A.; KARLEN, D.C. Adaptation of soil quality indices on application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil and Tillage Research**, v.50, p.237-249, 1997.
- HUTTERMANN, A.; ZOMMORODI, M.; REISE, K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. **Soil and Tillage Research**, v.50, p. 295-304, 1999.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, **Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado, 2009 a 2010: dados revisados - ACORDO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA MMA/IBAMA/PNUD**. Centro de Sensoriamento Remoto, 2011, 71p.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, **Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado, 2002 a 2008: dados revisados - ACORDO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA MMA/IBAMA/PNUD**. Centro de Sensoriamento Remoto, 2009, 60p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas de cobertura vegetal**, 2004. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01/04/2014.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, BDMEIO – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 05/05/2014.
- JHURRY, D. Agricultural Polymers. AMAS 1997. Food and Agricultural Research Council, Réduit, Mauritius, p.109-113, 1997.
- KAGEYAMA, P. H.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. FEPAF, Botucatu, SP: 2003, 340p.
- KAZANSKII, K. S.; DUBROVSKII, S. A. Chemistry and physics of "agricultural" hydrogels. **Advances in Polymer Science**, v.104, p.98-133, 1992.
- KAY, B. D.; RASIAH, V.; PERFECT, E. Structural aspects of soil resiliency. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I., eds. **Soil resilience and sustainable land use**. London, CAB International, 1994. p.449-468.
- KLINK, C. A.; MACHADO R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v.19, p.707-713, 2005.
- LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007.

- LEITE, C. M. C.; CARDOSO, L. P.; MELLO, J. W. V. Use of steel slag to neutralize acid mine drainage (amd) in sulfidic material from a uranium mine. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.804-811, 2013.
- LEITE, L. L.; MARTINS, C. R.; HARIDASAN, M. Propriedades físico-hídricas do solo de uma cascalheira e de área adjacente com vegetação nativa de campo sujo e cerrado no Parque Nacional de Brasília. In: SIMPOSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais...**Curitiba: UFPR/FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DE PARANÁ, p. 392-399, 1992.
- LELES, P. S. S.; ABAURRE, G. W.; ALONSO, J. M.; NASCIMENTO, D. F.; LISBOA, A. C. Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição florestal. **Scientia Forestalis**, v.39, n.90, p. 231-239, 2011.
- LEPSCH, I. F. O Recurso Solo. In: LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**, 2º ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2010, 216p.
- LEPSCH, I. F. Física do Solo I: Granulometria, densidade, consistência e ar do solo. In: LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2011, p.121-138.
- LIMA, R. M. F.; SOUZA, V. V. Polímeros Biodegradáveis: Aplicação na Agricultura e sua Utilização como Alternativa para a Proteção Ambiental. **Revista Agrogeoambiental**, p.74-82, 2011.
- LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 01/04/2014.
- LIU, M.; LIANG, R.; ZHAN, F.; LIU, Z.; NIU, A. Preparation of superabsorbent slow release nitrogen fertilizer by inverse suspension polymerization. **Polymer International**, v.56, p.729-737, 2007.
- LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science of Americam Journal**, v.41, p.742-747, 1977.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: Novais, R. F.; Alvarez V, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Eds.), **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa – MG, 2007, p.133-204.
- LOPES, A. S. **Solos sob cerrado**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Potafos, 1983. 162p.
- LOPES, J. L. W.; SILVA, M. R.; SAAD, J. C. C.; ANGÉLICO, T. S. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, v.20, n.2, p.217-224, 2010.
- LOES, R. H. Z. Ações do IBAMA na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. **Recuperação de Áreas Degradadas**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, p.247-251, 1998.

- LUDUVICO, J. R. S. **Respostas de mudas de leguminosas arbóreas em viveiro à incorporação de polímeros hidroretentores e à adubação nitrogenada de cobertura**. 58f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.
- MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.495-502, 2008.
- MAJER, D. J. **Fauna studies and land reclamation technology: a review of the history and needs for such studies**. Cambridge University Press., Londres: 1989. p.3-33.
- MALTONI, K. L.; VALÉRIO FILHO, W. V. Contribuições da revegetação de áreas de empréstimo para as características químicas do subsolo. In: IV SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2000, Blumenau. *Silvicultura Ambiental. Anais...* Blumenau: FUBRA/SOBRADE, p.104-105, 2000.
- MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D.; FARIA, T, G. Chuvas no Cerrado da Região Centro-Oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura. **Ateliê Geográfico**, v.6, n.2, p.112-130, 2012.
- MARQUES, P. A. A.; BASTOS, R. O. Uso de diferentes doses de hidrogel para produção de mudas de pimentão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.2, p.53-57, 2010.
- MARQUES, P. A. A.; CRIPA, M. A. M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, v.43, n.1, p.1-7, 2013.
- MARTINS, C. C.; REIS, E. F. D.; BUSATO, C.; PEZZOPANE, J. E. M. Desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre) submetido a diferentes turnos de rega e doses de hidroabsorvente. **Engenharia na Agricultura**, v.12, n.3, p.222-228, 2004.
- MARTINS, S. V.; NETO, A. M.; RIBEIRO, T. M. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. In: MARTINS, S. V. (Ed.) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012, 293p.
- MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do Bioma Cerrado – um *checklist* com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.) **Cerrado: ecologia e flora**, v.2. Embrapa-CPAC. Planaltina, DF, 2008. 406p.
- MENDONÇA, T. G.; URBANO, V. R.; PERES, J. G.; SOUZA, C. F. Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**, v.2, n.2, p.87-92, 2013.

- MEWS, C. L. **Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas em viveiro em função da incorporação de polímero hidroretentor ao substrato e adubação nitrogenada.** .66f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.
- MINTER, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de Revegetação** – Brasília: IBAMA, 1990. 96p.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. A. B. 2005. **Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions.** Cemex, Mexico City, 392p.
- MONTOVANI, J. E.; PEREIRA, A. **Estimativa da integridade da cobertura vegetal do Cerrado/Pantanal através de dados TM/Landsat.** Brasília, DF: [S.N.], 1998.
- MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; CRUZ, M. C. M.; VILLAR, L.; HAFLE, O. M. Efeito de doses de polímero hidroabsorvente no enraizamento de estacas de amoreira. **Revista Agrarian**, v.3, n.8, p.133-139, 2010.
- MOREIRA, B.; FONSECA, S. N.; CARVALHO, F. A. Regeneração natural e relações ecológicas com o estrato arbóreo em um fragmento urbano de floresta atlântica. **Revista de Biologia Neotropical**, v.10, n.1, p.1-7, 2013.
- MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; CRUZ, M. C. M.; VILLAR, L.; HAFLE, O. M. Ácido indolbutírico e polímero hidroabsorvente no enraizamento de estacas de amoreira-preta. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.11, n.1, p.74-81, 2012.
- MUNDIM, T.G. **Avaliação de espécies nativas usadas na revegetação de áreas degradadas no Cerrado.** 100f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 2004.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENTS, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v.403, p.853-958, 2000.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) 1992. **Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy** Natl. Acad. Press, 562p.
- NNADI, F.; BRAVE, C. Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands. **Journal of Soil Science and Environmental Management**, v.2, n.7, p.206-211, 2011.
- NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação Solo-Planta. In: Novais, R. F.; Alvarez V, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J.C.L. (Eds.), **Fertilidade do Solo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa – MG, 2007, p.133-204.

- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: Novais, R. F.; Alvarez V, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Eds.), **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa – MG, 2007, p.471-550.
- OLIVEIRA, F. F. **Plantio de espécies nativas e uso de poleiros artificiais na restauração de uma área perturbada de Cerrado sentido restrito em ambiente urbano no Distrito Federal, Brasil**. 154f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.
- OLIVEIRA, G.; CLEMENTE, A.; NUNES, A.; CORREIA, O. Suitability and limitations of native species for seed mixtures to revegetate degraded areas. **Applied Vegetation Science**, 2014.
- OLIVEIRA, R. A.; REZENDE, L. S.; MARTINEZ, M. A.; MIRANDA, G. V. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre e a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.160-163, 2004.
- ORAE, A.; MOGHADAM, E.G. The effect of different levels of irrigation with superabsorbent (S.A.P) treatment on growth and development of Myrobalan (*Prunus cerasifera*) seedling. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, n.17, p.1813-1816, 2013.
- PILLON, C. N.; MIURA, A. K.; ALBA, J. M. F. Agricultura no context da recuperação de áreas mineradas. In: ALBA, J.M.F. (Ed.) **Recuperação de áreas mineradas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010, 326p.
- PINTO, J. R.; CORREIA, C. R.; FAGG, C. W.; FELFILI, J. M. Sobrevivência de espécies vegetais nativas do cerrado, implantadas segundo o Modelo MDR Cerrado para recuperação de áreas degradadas In: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2007, Caxambu. **Anais...** Caxambu: SOCIEDADE DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2007.
- PINTO, J. R. R.; BORDINI, M. C. P.; PORTO, A. C.; SOUSA-SILVA, J. C. Princípios e Técnicas na Recuperação de Áreas Degradadas. In: FAGG, C. W.; MUNHOZ, C.B. R.; SOUSA-SILVA, J. C, 2011. **Conservação de áreas de preservação permanente do Cerrado – Caracterização, Educação ambiental e Manejo**. Brasília, CRAD. p.149-184, 2011.
- RADAM BRASIL – PROJETO RADAM BRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais volume 29, Folha SD.23 Brasília**. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, 1982.
- RAO, R. Ecological Restoration of Basalt quarry- the case of Timba, Gujarat. **Journal of Mechanical and Civil Engineering**, v.11, p.17-19, 2014.
- RESENDE, L. A.; PINTO, L. V. A. Emergência e desenvolvimento de espécies nativas em área degradada por disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v.5, n.1, p.37-48, 2013.

- REZENDE, L. S. **Efeito da incorporação de polímeros hidroabsorventes na retenção de água de dois solos.** 74 f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- REZENDE, R. P. **Recuperação de Matas de Galeria em Propriedade Rurais do DF e Entorno.** 145f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado, In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F (Eds), **Cerrado: Ecologia e Flora**, v.1. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2008, 406p.
- RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G, LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisols. **Agronomy Journal**, v.72, p.40-44, 1980.
- RITCHIE, G.A. Assessing plant quality. In: LANDIS, T.D. **Seedling processing, storage and out planting Washington, DC:** US Department of Agriculture Forest Service, v.7, p.17-81, 2010.
- RODRIGUES, E. Conceitos e História. In: RODRIGUES, E. **Ecologia da restauração.** Planta: Londrina, 2013, 299p.
- ROS, C. O. DA; SECCO, D.; FIORIN, G. W. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.241-247, 1997.
- SAAD, J. C. C.; LOPES, J. L. W.; SANTOS, T. A. Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de *Eucalyptus urograndis* em dois solos diferentes. **Engenharia Agrícola** , v.29, n.3, p.404-411, 2009.
- SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M.M. Qualidade física de neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.3, p.667-674, 2010.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.153-156, 2008.
- SANO, S. M; FONSECA, C. E. L.da. Taxa de sobrevivência e frutificação de espécies nativas do Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, EMBRAPA- Cerrados, Planaltina, 2003.
- SANO, S. M.; FONSECA, C. E. L. da; RIBEIRO, J. F.; OGA, F. M.; LUIZ, A. J. B. Folhação, floração, frutificação e crescimento inicial da cagaiteira em Planaltina-DF. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.1, p.5-14, 1995.

- SCHAFFER, W. M.; NIELSEN, G. A.; DOLLHOPF, D. J.; TEMPLE, K. **Soil genesis, hydrological properties, root characteristics and microbial activity of 1-to 50-years-old stripmine spoils**. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, 1979. 233p.
- SER, Science and Policy working Group 2004. **The SER Primer on Ecological Restoration**. Disponível em: <www.ser.org>. Acesso em: 31/03/2014.
- 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. **International Journal of Forest, Soil and Erosion**, v.2, n.1, p.24-36, 2012.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina, Embrapa, 1997. p.467-524.
- SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no Cerrado. **Revista Árvore**, v.32, n.4, p.731-740, 2008.
- SITA, R. C. M.; REISSMANN, C. B.; MARQUES, C.; OLIVEIRA, E.; TAFFAREL, A. D. Effect of polymers associated with N and K fertilizer sources on *Dendrotheca grandiflora* Growth and K, Ca and Mg relations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Brasília, v.48, n.3, p.335-342, 2005.
- SNUC 2000 - **Lei nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 20/02/2013.
- SONTER, L. J.; BARRETT, D. J.; SOARES-FILHO, B. S. Offsetting the impacts of mining to achieve no net loss of native vegetation. **Conservation Biology**, v.28, n.4, p.1068-76, 2014.
- 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.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção de solo e adubação**. 2ª ed. Brasília, Embrapa, 2004, p.81-96.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.de; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção de solo e adubação**. 2ª ed. Brasília, Embrapa, 2004, p.147-168.
- SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; LOBATO, E. **Interpretação de análise de terra e recomendação de adubos fosfatados para culturas anuais nos Cerrados**. Embrapa-CPAC, comunicado técnico, 51, 1987, 7p.

- SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.193-198, 1989.
- SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A.de. Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R. F.; Alvarez V, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J. C. L. (eds.), **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2007, p.205-274.
- SOUTO, M. L. S. **Desenvolvimento inicial de 15 espécies florestais nativas, plantadas ao final do período chuvoso, em uma área degradada por extração e compactação de solo no Distrito Federal**. 102f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- SOUZA, E. R. B.; CARNEIRO, I.F.; NAVES, R.V.; BORGES, J.D.; LEANDRO, W.M.; CHAVES, L.J. Emergência e crescimento de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) em função do tipo e do volume de substratos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.31, n.2, p.89-95, 2001.
- SOUZA, E. R. B.; NAVES, R. V.; CARNEIRO, I. F.; LEANDRO, W. M.; BORGES, J. D. Crescimento e sobrevivência de mudas de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.) nas condições do Cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.2, p.491-495, 2002.
- SOUZA, J. P. N. **Influência de polímero hidroabsorvente no comportamento físico-hídrico de areal degradado em recuperação, sobradinho, DF**. 37f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2013.
- STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. Produção de mudas de espécies florestais. In: Galvão, A. P. M. (Org.) **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Colombo, Embrapa Floresta, 2000. p.125-174.
- 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.
- THOMAS, D. S. Hydrogel applied to the root plug of subtropical eucalypt seedlings halves transplant death following planting. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.1305-1314, 2008.
- VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.969-977, 2012.
- VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos do Cerrado**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1997. 524p.

- VENTUROLI, F.; FAGG, C. W.; FAGG, J. M. F. Crescimento de uma floresta estacional semidecídua secundária sob manejo em relação a fatores ambientais, em Pirenópolis, Goiás. **Revista de Biologia Neotropical**, v.7, n.2, p.1-11, 2010.
- VENTUROLI, F.; FAGG, C. W.; FELFILI, J. M. Desenvolvimento inicial de *Dipteryx alata* Vogel e *Myracrodruon urundeuva* Allemão em plantio de enriquecimento de uma floresta estacional semidecídua secundária. **Bioscience Journal**, v.27, n.3, p.482-493, 2011b.
- VENTUROLI, F.; FELFILI, J. M.; FAGG, C. W. Avaliação temporal da regeneração natural em uma floresta estacional semidecídua secundária, em Pirenópolis, Goiás. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.35, n.3, p. 473-483, 2011a.
- VENTUROLI, F.; VENTUROLI, S.; BORGES, J. D.; CASTRO, D. S.; SOUZA, D. M.; MONTEIRO, M. M.; CALIL, F. N. Incremento de espécies arbóreas em plantio de recuperação de área degradada em solo de Cerrado no Distrito Federal. **Bioscience Journal**. v.29, n.1, p.143-151, 2013.
- VIRAH-SAWMY, M.; EBELING, J.; TAPLIN, R. Mining and biodiversity offsets: A transparent and science-based approach to measure “no-net-loss”. **Journal of Environmental Management** v.143, p.61–70, 2014.
- XIE, Y.; WANG, A. Effects of modified vermiculite on water absorbency and swelling behavior of chitosan-g-poly (acrylic acid)/vermiculite superabsorbent composite. **Journal of Composite Materials**, v.43, n.21, p.1-17, 2009.
- ZOHURIAAN-MEHR, M. J.; KABIRI, K. Superabsorbent polymer materials: A Review. **Iranian Polymer Journal**, v.17, n.6, p.451-477, 2008.
- YOUNG, T. P.; PETERSEN, D. A.; CLARY, J. J. The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. **Ecology Letters**, v.8, p. 662–673, 2005.
- WICHTERLE, O.; LÍM, D. Hydrophilic gels for biological use. **Nature**, v.185, p.117-118, 1960.
- WILLINGHAM, JR.; COFFEY, D. L. Influence of hydrophilic amended soil on growth of tomato transplants. **Horticulture Science**, v.16, n.3, p.289, 1981.
- WOFFORD Jr, D. J. **Use of cross-linked polyacrylamide in agriculture for increasing yield or reducing irrigation** (on line). Fresno (Calif.), 1989. Disponível em: <<http://kimberly.ars.usda.gov>>. Acesso em 10/04/2013.
- WOFFORD Jr, D. J.; KOSKI, A. J. A polymer for the drought years (on line).Colorado Green. Aug. 1990. Disponível em: <<http://kimberly.ars.usda.gov>>. Acesso em 10/04/2013.
- WOODHOUSE, J.; JOHNSON, M.S. Effect of super-absorbent polymers on survival and growth of crop seedlings. **Agricultural Water Management**, v.20, p. 63-70, 1991.