



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Campus de Ilha Solteira

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ADRIANA AVELINO SANTOS**

**IMPLANTAÇÃO DO PINHÃO-MANSO EM SOLO DEGRADADO  
INOCULADO E ACRESCIDO DE MACRÓFITAS, CINZA E HIDROGEL**

Ilha Solteira  
2013

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ADRIANA AVELINO SANTOS**

**IMPLANTAÇÃO DO PINHÃO-MANSO EM SOLO DEGRADADO  
INOCULADO E ACRESCIDO DE MACRÓFITAS, CINZA E HIDROGEL**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia -  
UNESP – Campus de Ilha Solteira, para  
obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

**Orientador:** Prof. Dr. Ana Maria Rodrigues  
Cassiolato

Ilha Solteira  
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237i Santos, Adriana Avelino.  
Implantação do pinhão-manso em solo degradado inoculado e acrescido de macrófita, cinza e hidrogel / Adriana Avelino Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013  
75 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Agronomia, 2013

Orientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolato  
Inclui bibliografia

1. *Jatropha curcas* L. 2. Micorrizas arbusculares. 3. Atividade microbiana. 4. Cerrado.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** Implantação do pinhão-manso em solo degradado inoculado e acrescido de macrófita, cinza e hidrogel

**AUTORA:** ADRIANA AVELINO SANTOS

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA ,  
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. KATIA LUCIENE MALTONI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. EDSON LUIZ SOUCHIE  
Instituto Federal Goiano / Campus de Rio Verde

Profa. Dra. MÁRCIA HELENA SCABORA  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Data da realização: 20 de dezembro de 2013.

**Dedico...**

Aos meus pais, Elzita e João (*in memoriam*) pelo amor incondicional.

A professora Ana Maria que contribui para mais esta conquista.

**Ofereço...**

Ao Everaldo, namorado e amigo.

## **Agradecimentos**

*Agradeço a Deus!*

*A Profa Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato que fez possível à realização deste trabalho  
direcionando o caminho a ser seguido.*

*A Profa Dra. Kátia Luciene Maltoni pelo importante apoio.*

*Ao José Antônio Agostini por sua ajuda incondicional.*

*A Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira,*

*Aos professores do curso e funcionários da Pós-Graduação que contribuíram para minha  
formação.*

*A minha grande família, a minha doce Mãe Elzita e seus oito filhos, os quais são meus  
queridos irmãos, e aos meus onze sobrinhos.*

*As minhas amigas Cida, Márcia, Carla, Renata, Thaís, Kellian, Juliana, aos amigos Danilo,  
Diego, José Antonio e tantas outras pessoas que de alguma forma contribuíram com meu  
aprendizado.*

## **Imensa alegria de servir**

Toda natureza é um desejo de serviço.

Serve a nuvem, serve o vento, serve o sulco.

Onde houver uma árvore para plantar, planta-a tu.

Onde houver um erro para corrigir, corrige-o tu.

Onde houver uma tarefa que todos recusem, aceita-a tu.

Sê quem tira:

a pedra do caminho,

o ódio dos corações

e as dificuldades dos problemas.

Há a alegria de ser sincero e de ser justo.

Há, porém, mais do que isso,

a imensa alegria de servir.

Como seria triste o mundo

se tudo já estivesse feito,

se não houvesse uma roseira para plantar,

uma iniciativa para lutar!

Não te seduzam as obras fáceis.

É belo fazer tudo que os outros se recusam a executar.

Não cometas, porém, o erro  
de pensar que só tem merecimento executar as grandes obras.

Há pequenos préstimos que são bons serviços:

enfeitar uma mesa.

Arrumar uns livros.

Pentear uma criança.

Aquele é quem critica,

este é quem destrói;

sê tu quem serve.

Servir não é próprio dos seres inferiores:

Deus, que nos dá fruto e luz, serve.

Poderia chamar-se: O Servidor.

E tem os Seus olhos fixos em nossas mãos

e pergunta-nos todos os dias:

Serviste hoje?

(Gabriela Mistral)



## RESUMO

Processos como a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira resultaram em um conjunto de problemas ambientais, como a extinção de espécies da fauna e flora, além de contribuir para mudanças climáticas, erosão intensa do subsolo/solo e com consequente assoreamento de cursos d'água. Condições como esta exigem alternativas para uma melhor ocupação e possível recuperação para minimização dos impactos negativos gerados. Para reverter um processo como este, são necessárias intervenções por meio de estratégias como a revegetação e uso de fontes alternativas de matéria orgânica e micro-organismos simbiotes. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar a implantação do pinhão-manso em solo degradado inoculado e acrescido de macrófitas, cinza derivada da queima do bagaço da cana-de-açúcar e hidrogel. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP – Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, no município de Selvíria-MS, em uma área com solo degradado, oriunda da construção da Usina Hidroelétrica de Ilha Solteira. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, ocupando cada um deles uma área de 960 m<sup>2</sup> (30 x 32m), composto por 16 linhas com 10 plantas por linha e como área útil foram utilizadas as 14 linhas internas e 8 plantas por linha. O esquema utilizado foi de um fatorial 2 x 2 x 4, ou seja, 2 tratamentos de inoculação (com e sem solo de Cerrado preservado contendo micro-organismos do solo, incluindo fungos micorrízicos arbusculares (FMA), 2 tratamentos de hidrogel (com e sem) e 4 tratamentos de cova (macrófitas, cinza, macrófitas + cinza e controle sem resíduo), com 4 repetições (blocos), sendo avaliadas 5 plantas por tratamento, por bloco. Solo de Cerrado preservado foi utilizado como fonte de micro-organismos, incluindo FMA. O plantio do pinhão-manso foi realizado em dezembro de 2010 e, ao longo de 12 meses, o subsolo, na profundidade de 0-0,10 m. As avaliações foram realizadas aos 30, 120, 240 e 360 dias após o plantio (DAP) para os atributos químicos do solo, número de esporos, porcentagem de colonização radicular por fungos micorrízicos, quantificação da respiração basal. Algumas avaliações foram realizadas apenas aos 360 DAP como a quantificação do carbono da biomassa microbiana, a determinação do quociente metabólico e do quociente microbiano. A inoculação de microrganismos, por meio de solo-inóculo, favoreceu a redução da fosfatase ácida e o aumento da produtividade do pinhão-manso, o aumento no número de esporos e colonização radicular, do carbono da biomassa e do quociente microbiano. A associação de hidrogel com macrófitas+cinza proporcionou maior atividade respiratória, porcentagem de colonização e índice relativo de clorofila, enquanto a produtividade foi favorecida pela adição de

macrófitas+cinza. A adição de macrófitas+cinza ou apenas macrófitas melhorou as condições de cultivo, com efeitos positivos sobre a fertilidade do solo, o desenvolvimento da planta (índice relativo de clorofila, volume de plantas, fosfatase, N e P foliar), na atividade microbiana (respirometria, carbono da biomassa e quociente microbiano) e na simbiose micorrízica arbuscular (número de esporos e porcentagem de colonização).

**Palavras chave:** *Jatropha curcas* L., micorrizas arbusculares, atividade microbiana, Cerrado

## ABSTRACT

Processes such as the construction of the Ilha Solteira Hydroelectric Plant resulted in several environmental problems, such as the fauna and flora species extinction, as well as contributed to climate change, subsoil / soil severe erosion and consequent water siltation. Conditions such as this requires a better alternative to occupation and, possible, to recovery, and then, to minimize negative impacts. To reverse such a process, interventions are needed through strategies such as revegetation and use of alternative sources of organic matter and symbiotic micro-organisms. Thus the aim of this study was to evaluate the deployment of jatropha on degraded soil and inoculated, that received macrophytes, ash (derived from burning bagasse from sugar cane) and hydrogel. The experiment was conducted at the Farm for Teaching, Research and Extension (FEPE), UNESP - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira Campus, in Selvíria - MS, in an area with degraded soil, arising from construction of the Ilha Solteira Hydroelectric Plant. The experimental design was randomized blocks, each one occupying an area of 960 m<sup>2</sup> (30 x 32m), comprising 16 rows with 10 plants per row, which on with 14 internal rows 8 plants per row. The design was a 2 x 2 x 4 factorial, ie 2 inoculation treatments (with and without preserved Cerrado soil containing soil microorganisms, including mycorrhizal fungi (AMF), 2 hydrogel treatments (with and without) and 4 residues treatments (macrophytes, ash, macrophytes+ash and control without residue), with 4 replications (blocks), and 5 evaluated plants per treatment, per replicates. Preserved Cerrado soil was used as source of micro- organisms, including FMA. The planting of Jatropha was held in December 2010 and, over 12 months. The subsoil were collected at a depth of 0-0.10 m. Evaluations were performed at 30, 120, 240 and 360 days after planting (DAP) for soil chemical properties, spore numbers, percentage of root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi, quantification of basal respiration. Some evaluations were performed only at 360 DAP, as the quantification of microbial biomass carbon, determining the metabolic quotient and the microbial quotient. The inoculation of microorganisms, through soil-inoculum, favored the reduction of acid phosphatase and increased Jatropha productivity, as well as, the number of spores, root colonization, biomass carbon and microbial quotient. The association hydrogel with macrophyte+ash provided higher respiration rates, percentage of colonization and chlorophyll relative index, while the productivity was enhanced by the addition of macrophytes+ash. The macrophytes+ash or

macrophytes only residues improved cultivation conditions, with positive effects on soil fertility, plant development (chlorophyll relative index, plants volume, phosphatase, leaf N and P), microbial activity (respirometry, biomass carbon and microbial quotient) and arbuscular mycorrhizal symbiosis (spore numbers and colonization percentage) .

**Key words:** *Jatropha curcas* L., arbuscular mycorrhizas, microbial activity, Cerrado.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para atributos químicos do solo degradado cultivado com pinhão-manso, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos, de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 30 e 120 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	41
Tabela 2.	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para atributos químicos do solo degradado cultivado com pinhão-manso, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos, de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	42
Tabela 3.	Desdobramento das interações significativas entre os tratamentos de inoculação (Inoc) de micro-organismos e de hidrogel (Hidr) para P, pH e $H+Al^{3+}$ do solo degradado cultivado com pinhão-manso, aos 30, 120 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	43
Tabela 4.	Desdobramento das interações significativas entre os tratamentos de inoculação (Inoc) de micro-organismos e de hidrogel (Hidr) com resíduos (orgânico e inorgânico) para P, pH, $H+Al^{3+}$ e SB do solo degradado cultivado com pinhão-manso, aos 30, 120 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	44
Tabela 5.	Médias, valor de F e coeficientes de variação (CV%) para número de esporos e porcentagem de colonização de fungos micorrízicos abusculares em pinhão-manso cultivado em solo degradado, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos e de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 30, 120, 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	49
Tabela 6.	Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para número de esporos e porcentagem de colonização de fungos micorrízicos abusculares em pinhão-manso cultivado em solo degradado aos 30, 120, 240 DAP. Ilha Solteira, 2010/11.....	50
Tabela 7.	Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para número de esporos de fungos micorrízicos abusculares em pinhão-manso cultivado em solo degradado aos, 120, 240 e 360 DAP plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	51

Tabela 8.	Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para porcentagem de colonização de fungos micorrízicos abusculares em pinhão-mansó cultivado em solo degradado aos 30, 120, 240 e 360 DAP. Ilha Solteira, 2010/11.....	52
Tabela 9.	Médias, valor de F e coeficientes de variação (CV%) para respirometria (C-CO <sub>2</sub> liberado) aos 30, 120, 240 e 360 dias e carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente microbiano ( <i>q</i> Mic), quociente metabólico ( <i>q</i> CO <sub>2</sub> ) nos tratamentos de inoculação de micro-organismos e de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, em solo degradado cultivado com pinhão-mansó, aos 360 dias Ilha Solteira, 2010/11.....	54
Tabela 10.	Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), aplicação de hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para respirometria (C-CO <sub>2</sub> liberado), em solo degradado cultivado com pinhão-mansó, aos 30, 120, 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/2011.....	55
Tabela 11.	Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc) de microrganismos e adição de hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente microbiano ( <i>q</i> Mic), quociente metabólico ( <i>q</i> CO <sub>2</sub> ) em solo degradado cultivado com pinhão-mansó, aos 360 dias. Ilha Solteira, 2010/11.....	56
Tabela 12.	Médias, valor de F e coeficientes de variação (CV%) volume de planta (VP) e índice relativo de clorofila (IRC) em pinhão-mansó cultivado em solo degradado, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos, de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 30, 120, 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	58
Tabela 13.	Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para índice relativo de clorofila, índice relativo de clorofila, (IRC) em pinhão-mansó cultivado em solo degradado aos 120, 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	60
Tabela 14.	Médias, valor de F e coeficientes de variação (CV%) para produção, fosfatase, nitrogênio (N) e fósforo (P) foliar em pinhão-mansó cultivado em solo degradado, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos, de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....	61

Tabela 15. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para volume de planta, produção, nitrogênio e fósforo foliar em pinhão-mansão cultivado em solo degradado aos 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.....

## LISTA DE QUADROS

Quadro. 1	Fatores que influenciam a formação e a ocorrência das micorrizas arbusculares.....	23
Quadro. 2	Ciclo do pinhão-manso nas condições do experimento em campo.....	37



## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1.	Visão geral da localização do experimento: voçoroca e assoreamento (A e B), com exposição do subsolo e a área com exposição subsolo (A e B) e área experimental (C e D). Ilha Solteira, 2010/11.....	29
Figura 2.	Médias de temperatura (°C) e precipitação (mm) e umidade (%) para o período de 12 meses de condução do experimento. UNESP-Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão. Ilha Solteira, 2010/11.....	30
Figura 3.	Área experimental após o plantio do pinhão-manso, em dezembro de 2010 (A), após 6 meses (B) e após 12 meses (C).....	34
Figura 4.	Elucidação do método de avaliação do volume de plantas de pinhão-manso.....	37
Figura 5.	Frutos de pinhão-manso coletados, secos e descascados.....	38
Figura 6.	Média geral de algumas propriedades químicas do solo sob <i>Jatropha curcas</i> cultivado em solo degradado.....	40
Figura 7.	Raízes de <i>Jatropha curcas</i> após coloração das estruturas formadas pelos fungos micorrízicos arbusculares, aos 360 dias após plantio.....	47
Figura 8.	Média geral para volume de plantas de (m <sup>3</sup> ), índice relativo de clorofila, porcentagem de colonização radicular e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e respirometria (C-CO <sub>2</sub> liberado), em <i>Jatropha curcas</i> cultivado em solo degradado.....	48

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1	Áreas degradadas.....	18
2.2	Informações sobre a cultura do <i>Jatropha curcas</i> L.....	19
2.3	Indicadores de qualidade do solo.....	20
2.3.1	Respiração Basal (C-CO <sub>2</sub> liberado).....	21
2.3.2	Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	21
2.3.3	Quociente metabólico ( <i>q</i> CO <sub>2</sub> ).....	22
2.3.4	Quociente microbiano ( <i>q</i> Mic).....	22
2.4	Fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	22
2.5	Utilização de resíduos.....	24
2.5.1	Macrófitas.....	25
2.5.2	Cinza do bagaço da cana-de-açúcar.....	26
2.6	Polímero hidroabsorvente (Hidrogel).....	27
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
3.1	Histórico da área experimental.....	29
3.2	Caracterização da área antes da implantação do experimento.....	30
3.3	Delineamento experimental e análise estatística.....	31
3.4	Obtenção do solo-inóculo.....	31
3.5	Obtenção e preparo de hidrogel, macrófitas e da cinza de cana-de-açúcar....	32
3.6	Preparo das mudas de <i>Jatropha curcas</i> L.....	32

3.7	Preparo da área e implantação do experimento.....	33
3.8	Coleta de solo e atributos químicos e microbiológicos analisados .....	33
3.8.1	Caracterização dos atributos química do solo degradado.....	34
3.8.2	Porcentagem de colonização micorrízica.....	34
3.8.3	Determinação do número de esporos.....	35
3.8.4	Quantificação da respiração basal (C-CO <sub>2</sub> liberado).....	35
3.8.5	Quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM).....	35
3.8.6	Determinação do quociente microbiano ( <i>q</i> MIC).....	36
3.8.7	Determinação do quociente metabólico ( <i>q</i> CO <sub>2</sub> ).....	36
3.9	Coleta de plantas e atributos analisados.....	36
3.9.1	Volume médio de plantas.....	36
3.9.2	Índice relativo de clorofila (IRC).....	37
3.9.3	Produtividade.....	37
3.9.4	Atividade de fosfatase ácida foliar.....	38
3.9.5	Teores de nitrogênio (N) e fósforo (P) foliar.....	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
4.1	Fertilidade do solo degradado.....	39
4.2	Micorrização.....	47
4.3	Atividade microbiana.....	53
4.4	Nutrição, crescimento e produtividade de <i>Jatropha curcas</i> L.....	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Vários fatores podem causar impactos negativos a um ecossistema, tais como atividades de mineração, construção de empreendimentos como usinas hidrelétricas, áreas de aterros sanitários, entre outras, que produzem impactos que podem limitar o uso do solo.

A construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira produziu, para sua construção, extensas áreas de empréstimo de onde foram removidas, além da vegetação, camadas de solo até 12 m de profundidade, expondo um subsolo pobre em nutrientes e matéria orgânica, com comprometimento de atributos físicos e condições biológicas, que colocam uma área inicialmente de Cerrado, distante das condições naturais para este domínio.

Processos como este, resultam em um conjunto de problemas ambientais, como a extinção de espécies da fauna e flora, além de contribuir para mudanças climáticas, erosão intensa do subsolo/ solo e, conseqüente, assoreamento de cursos d'água. Portanto, situações como estas demandam alternativas para uma melhor ocupação e possível recuperação, minimização dos impactos negativos e o recobrimento vegetal destas áreas de empréstimo pode contribuir para reduzir os processos de degradação estabelecidos.

A adição de micro-organismos ao solo, como os fungos micorrízicos arbusculares, associado à adição de resíduos orgânicos, podem favorecer o desenvolvimento das plantas e ser uma alternativa possível na recuperação destas áreas, pois proporcionam melhoria nutricional as plantas, pelo favorecimento da relação água-planta, além das hifas e das raízes mais finas desempenharem funções de destaque na formação e estabilização dos agregados do solo.

O uso de hidrogel, polímero absorvente com capacidade de armazenar grande quantidade de água e liberá-la gradativamente no solo, no plantio das mudas, tem mostrado garantir turnos maiores de rega e aumentar a disponibilidade de água nos períodos de estiagem. No caso de áreas degradadas, pode proporcionar menor interferência das condições ambientais ou do solo sobre o desenvolvimento das plantas.

Um caminho mais curto para o estabelecimento de uma nova cobertura vegetal nestas condições pode ser o uso de espécies “resistentes” ou mais adaptadas à sobrevivência nas condições adversas solo associado aos micro-organismos simbiotes, resíduos orgânicos e inorgânicos, bem como pela adição de hidrogel.

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie vegetal com alto valor econômico, decorrente da elevada produção de óleo, e considerada rústica, com possibilidade, portanto, de se desenvolver em áreas degradadas.

Um solo para funcionar dentro dos limites do ecossistema e sustentar a produtividade biológica, deve manter a integração de suas propriedades biológicas, físicas e químicas, que o habilita a exercer suas funções na plenitude. Para a avaliação da qualidade do solo surgiram vários índices microbiológicos, visando discriminar o efeito de sistemas de manejo sobre qualidade do solo, como medidas de biomassa, da atividade e da diversidade microbiana.

A necessidade ambiental de destinar adequadamente resíduos agroindustriais e de outros processos, tem sido objeto de muitos estudos. Atualmente, toneladas de macrófitas têm sido retiradas de corpos hídricos para evitar prejuízos e danos, como os que ocorrem em usinas hidrelétricas, por obstruírem a entrada de água nas turbinas geradoras. No entanto, as macrófitas apresentam grande potencial para absorção de nutrientes, o que torna sua biomassa rica em macro e micronutrientes, representando uma alternativa positiva para aplicação em solos desprovidos de matéria orgânica.

Outro resíduo interessante é a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, subproduto primário desta indústria, que vem sendo adicionado ao solo como insumo no processo produtivo agrícola. Tal resíduo é considerado ambiental e economicamente viável, pois eleva a capacidade de retenção de água, além de ser fonte de nutrientes, com potencial também para corrigir acidez do solo.

Assim, a associação destes resíduos pode representar uma boa alternativa no processo de recuperação de solos degradados, com efeitos complementares positivos, constituindo em importante alternativa para a recuperação de áreas intensamente degradadas.

Com este trabalho objetivou-se avaliar a implantação do pinhão-manso em solo degradado inoculado e acrescido de macrófitas, cinza da queima do bagaço da cana-de-açúcar e hidrogel.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Áreas degradadas

O processo de ocupação do Brasil caracterizou-se pela falta de planejamento e, conseqüente, destruição de parte dos seus recursos naturais. Ao longo de sua história, o país teve sua cobertura florestal nativa, representada pelos diferentes biomas, cedendo espaço para as culturas agrícolas, pastagens, cidades (RAMOS; MARTINS, 2010) e em outros casos para a construção de barragens, devido à demanda por geração de energia.

Como conseqüências da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira foram produzidas extensas áreas degradadas pobres em nutrientes e matéria orgânica, além deterem suas propriedades físicas modificadas e distantes das condições naturais, para o domínio Cerrado (RODRIGUES et al., 2007).

Parte destas áreas degradadas caracteriza-se pela remoção do horizonte superficial do solo (áreas de empréstimo), o que ocasiona perda de nutrientes e de matéria orgânica, redução de atividade biológica e propriedades físicas alteradas, fatores que favorecem a atuação dos processos erosivos e a acidificação do substrato (MARX; BERRY; KORMANIK, 1995).

A recuperação, como as de áreas com obras de barragens, consiste em um processo lento de tentativa para retornar às condições anteriores, visto que toda a vegetação e a camada fértil do solo foram removidas (CESP, 1988).

A degradação da área de empréstimo resulta num conjunto de problemas ambientais, como a extinção de espécies da fauna e flora, contribui com as mudanças climáticas, erosão do solo e assoreamento dos cursos d'água (RAMOS; MARTINS, 2010). Áreas como estas, com baixa disponibilidade de nutrientes, baixo teor de matéria orgânica e comprometimento de propriedades físicas dificultam o estabelecimento e crescimento da cobertura vegetal (DIAS et al., 2007).

Na região do Cerrado, estas perturbações podem exercer um efeito ao meio em velocidade muito alta, mostrando que a capacidade de transformação que o homem produz é muito maior do que a recuperação do meio (ASSAD, 1996). Tornando necessárias intervenções para recuperá-las e, assim, racionalizar o uso da terra, melhorar a qualidade ambiental e buscar a sustentabilidade.

## 2.2 Informações sobre a cultura do *Jatropha curcas* L.

A planta *Jatropha curcas* L., também conhecida como pinhão-mansão, é considerada uma espécie de fácil cultivo, seu óleo apresenta variações pouco significativas de acidez, além de possuir melhor estabilidade à oxidação do que os óleos de soja e palma, e boa viscosidade se comparado ao da mamona (TAPANES; ARANDA; CARNEIRO; 2007).

Na Índia, a hibridação entre várias espécies de *Jatropha* foi utilizada com o objetivo de desenvolver híbridos e variedades com maior teor de óleo e adaptadas aos solos improdutivos para reflorestamento (PARAMATHMA et al., 2007). No Brasil, existem várias regiões com pequenos, médios e grandes agricultores que implantaram a cultura, sem o conhecimento formal dos genótipos utilizados. Por esta razão, informações e garantias sobre o potencial de rendimento são inexistentes (LAVIOLA et al., 2011).

Entretanto, esta é uma espécie que ainda se encontra em processo de “domesticação”, tendo sido mais pesquisada nos últimos 30 anos. Avaliando seu alto teor de óleo e produtividade, o pinhão-mansão é visto como uma cultura potencial para atender as exigências do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel no Brasil (SATURNINO et al., 2005). Os programas de melhoramento genético do pinhão-mansão foram implementados em todo o mundo, inclusive no país, com o intuito de alavancar os conhecimentos sobre a base genética do pinhão-mansão (ROSADO et al., 2010; LAVIOLA et al., 2011), mas para o desenvolvimento de cultivares, deve considerar uma série de características simultaneamente, entre elas a produtividade, a arquitetura da planta, a altura, etc. (BHERING et al., 2012).

O pinhão-mansão pode ser considerado uma opção agrícola para áreas áridas e semiáridas, pois pode promover a integração do acesso à produção com renda (originada da venda do óleo das sementes para fins combustíveis), suprimento de energia (o óleo pode ser utilizado em motores e máquinas para a geração de eletricidade) e contribuir para o desenvolvimento rural (com o emprego da mão-de-obra familiar). Como consequência, eleva a fixação do homem no campo e a segurança alimentar, visto que permite o uso de culturas anuais alimentícias em consórcio, além de melhorias ambientais, como a formação de um microclima que favorece o desenvolvimento de outras culturas nas entrelinhas (SATO et al., 2007). Em áreas degradadas, onde a limitação hídrica é característica, o pinhão-mansão poderia ser utilizado para o recobrimento da superfície do solo, além de agregar valor com a produção de biodiesel.

### 2.3 Indicadores de qualidade do solo

O uso sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo, tem-se constituído em tema de crescente relevância, em razão das atividades antrópicas e seus impactos. Quando se menciona a preocupação com biodiversidade e extinção de espécies, a mídia sempre se refere às espécies acima do solo. Entretanto, as comunidades de organismos macro e microscópicos que habitam o solo por não estarem visíveis aos olhos humanos, raramente são mencionados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). No entanto, segundo estes mesmos autores, essas comunidades “invisíveis” principalmente os micro-organismos, realizam atividades imprescindíveis para a manutenção e sobrevivência das comunidades vegetais e animais.

A discussão sobre qualidade do solo intensificou-se a partir de 1990 quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, nas publicações, suas preocupações com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A qualidade do solo foi conceituada por Doran e Parkin (1994), como “*a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal*”. Nesse contexto, pode-se acrescentar que é a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilita a exercer suas funções na plenitude (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Diversas propostas de indicadores, formas e fórmulas para avaliar a qualidade do solo surgiram e, geralmente, estão relacionadas com a área de concentração dos pesquisadores. Estando os índices microbiológicos baseados em mais de um parâmetro, são capazes de discriminar o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre qualidade do solo (PARR et al., 1992).

Estudos têm mostrado que indicadores biológicos são mais sensíveis que indicadores químicos e físicos para revelar com maior antecedência alterações que ocorrem no solo em função de seu uso (DORAN, 1980). Dentre os atributos utilizados para caracterizar o componente biológico dos solos destacam-se as medidas de biomassa, atividade e diversidade microbiana (MENDES et al., 2009).

A biomassa microbiana, considerada a parte viva da matéria orgânica, inclui fungos, bactérias, arqueas, actinobactérias, protozoários, algas e a microfauna. Ela apresenta a parte da fração ativa da matéria orgânica do solo, representando cerca de 2 a 5% do C orgânico e cerca de 1 a 5% do N total (JENKINSON; LADD, 1981). A quantificação desta biomassa é



considerada um bom indicador da qualidade do solo, entretanto, não provê indicações sobre os níveis de atividade das populações microbianas (ANDERSON, DOMSCH, 1989). Assim sendo, é necessário o uso de parâmetros para medir a atividade microbiana a fim de avaliar o estado metabólico atual e potencial das comunidades de micro-organismos do solo.

Dentre alguns dos bioindicadores mais usados destacam-se: respiração basal (C-CO<sub>2</sub> liberado), o carbono da biomassa microbiana (CBM), o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005), quociente microbiano ( $qMic$ ), bem como a avaliação de fungos micorrízicos. Segundo Siqueira (2006), tanto índices como as características consideradas, até o momento, como indicadores de qualidade ainda não abrangem e desvendam a complexidade do sistema edáfico, de modo a atender plenamente a definição de Doran e Parkin (1994) para a maioria dos solos dos ecossistemas.

### ***2.3.1 Respiração Basal (C-CO<sub>2</sub> liberado)***

A definição de respiração do solo, segundo Lundegardh (1927), é a soma total das funções metabólicas, nas quais o CO<sub>2</sub> é produzido e as bactérias e fungos são responsáveis pela maior liberação desta via degradação da matéria orgânica. De-Polli e Pimentel (2005) afirmam que C-CO<sub>2</sub> liberado possui uma estreita relação com as condições abióticas do solo, entre elas, com a umidade, temperatura e aeração. Além da influência dessas características há a disponibilidade de substrato no solo como um item diretamente ligado à respiração basal (CATTELAN; VIDOR, 1990).

A determinação do C-CO<sub>2</sub> é um dos métodos mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo (ZIBILISKE, 1994; ALVAREZ et al., 1995) e atua como um indicador sensível da decomposição de resíduos, da mineralização do carbono orgânico do solo e de distúrbios no ecossistema, pois pode mostrar amplas variações em decorrência da umidade, temperatura e disponibilidade de substrato (ANDERSON; DOMSCH, 1985; SPARLING, 1997).

### ***2.3.2 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)***

Promissor como avaliador de qualidade do solo para indicação de distúrbio no meio, o CBM é considerado um indicador por ter um ciclo mais rápido comparado ao da matéria orgânica no solo, por responder mais prontamente aos distúrbios do que outros atributos

físico-químicos do solo e a produtividade das culturas (BALOTA et al., 1998; KASCHUK et al., 2010).

### **2.3.3 Quociente metabólico ( $qCO_2$ )**

A razão entre a respiração basal do solo e o tempo, o  $qCO_2$ , tem sido utilizado para acessar a eficiência do uso do substrato pelos organismos do solo (ANDERSON; DEMOSCH, 1989). Há uma relação inversa entre o CBM e o  $qCO_2$ , indicando que na presença de maiores teores de carbono, ocorrem incrementos do CBM e redução da atividade metabólica (INSAM.; MITCHELL; DORMAAR; 1991). Dentro deste contexto, o  $qCO_2$  pode ser apontado como um indicador de estresse microbiano, pois expressa a energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária para a síntese da própria biomassa (BARDGETT; SAGGAR, 1994).

### **2.3.4 Quociente microbiano ( $qMic$ )**

O  $qMic$  reflete o aporte de carbono e a conversão de substratos orgânicos para CBM, calculado pela relação entre o CBM e o carbono orgânico do solo (COS) (SPARLING, 1992). O  $qMic$  é um índice indicativo das alterações em ecossistemas com interferência antrópica (INSAM; DOMSCH, 1988).

Em circunstâncias de estresse, decorrente da deficiência de nutrientes ou da elevada acidez, por exemplo, a capacidade de utilização de carbono é diminuída. Nesse caso, a relação CBM : C orgânico total diminui ( $< qMic$ ). Caso contrário, quando a matéria orgânica é de boa qualidade, a biomassa microbiana pode aumentar ( $> qMic$ ), mesmo sem alterações de COS (WARDLE, 1994).

## **2.4 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)**

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são componentes importantes do sistema solo-planta e sua diversidade está intimamente ligada à diversidade e a produtividade de comunidades vegetais (SOUZA; SILVA; BERBARA, 2008).

Distante dos fungos saprofíticos, os FMA são biotróficos obrigatórios, portanto, dependem do estabelecimento da simbiose com plantas hospedeiras compatíveis, para que possam complementar o seu ciclo de vida (SOUZA et al., 2010). Deste modo, a planta

abastece o fungo com energia para o crescimento e reprodução via fotossintatos, enquanto o fungo provê à planta e ao solo uma variedade de benefícios. Um dos principais benefícios é a translocação às plantas de nutrientes absorvidos, além da zona de depleção da raiz (SOUZA; SILVA; BERBARA, 2008).

Esta absorção é realizada pelo micélio extra-radicular do fungo e consiste na absorção de nutrientes obtidos de áreas localizadas além da zona de depleção da raiz, com importância destacada para o fósforo (P) e a translocação e disponibilização desses nutrientes para as células do córtex de raízes de plantas micotróficas (MIYASAKA; HABTE, 2001). Em troca do fornecimento destes nutrientes às plantas hospedeiras, os fungos obtêm carboidratos (PARNISKE, 2008).

Os FMA são simbioses complexos, formados por vários componentes que determinam a taxa de colonização, a incidência de propágulos e os efeitos e funções da simbiose para as plantas e ecossistemas. Os componentes principais desse sistema são o fungo, a planta e o solo, os quais apresentam forte inter-relação e interdependência (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e podem ser influenciados por fatores (Quadro1).

Quadro 1. Fatores que influenciam a formação e a ocorrência das micorrizas arbusculares.

Componentes	Principais Fatores
Solo	Disponibilidade de nutrientes, pH, elementos tóxicos, salinidade, textura, estrutura e agregação, densidade, umidade, organismos.
Planta	Espécies, variedades, cobertura vegetal, estado nutricional, idade, ciclo e taxa de crescimento, alelopatia, sistema radicular, exsudação e senescência.
Ambiente	Intensidade luminosa, temperatura, sazonalidade, precipitação, poluição atmosférica e dos solos e estresses diversos.
Manejo	Histórico da área, tipo de cultivo, erosão, irrigação, fertilizantes e corretivos, controle de plantas daninhas, pastejo, uso de biocidas e mudança da vegetação.

Fonte: Moreira e Siqueira (2006)

Os micro-organismos do solo, em especial os FMA, possuem mecanismos que favorecem a formação e estabilidade dos agregados do solo. Esta pode ocorrer por meio de mecanismo físico, com hifas extra-radulares envolvendo partículas minerais e orgânicas no solo, ou como quelante, devido ação de glomalinas (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006; PURIN; RILLIG, 2007). As hifas exsudam polissacarídeos e outros compostos orgânicos, formando uma malha pegajosa que une as partículas individuais do solo e micro-agregados,

contribuindo na formação dos macro-agregados (GONZÁLES-CHAVEZ; GUTIÉRREZ-CASTORENA; WRIGHT, 2004; BORIE; RUBIO; MORALES, 2008).

A glomalina é uma glicoproteína imunorreativa recalcitrante que compõe a parede celular das hifas e se acumula no solo após a decomposição por micro-organismos (RAMOS; MARTINS, 2010). Esta possui alta relação com a estabilidade de agregados e estoque de carbono no solo, devido a sua produção abundante, levando a aderência das partículas do solo, aparente recalcitrância e características hidrofóbicas (BÁEZ-PEREZ et al., 2010).

A importância econômica desses fungos, para a agricultura sustentável, está relacionada à recuperação de áreas degradadas (SOUZA; SILVA, 1996) e ao uso eficiente de recursos não renováveis, como o P (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006). Em solos de baixa fertilidade natural, várias espécies de plantas não conseguiriam sobreviver na ausência da simbiose micorrízica (SOUZA; SILVA, 2010; BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006)

Assim, o manejo das micorrizas arbusculares na agricultura, especialmente em solos ácidos e de baixa fertilidade, como os de Cerrado, é uma alternativa complementar para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes fosfatados por plantas de interesse agrônômico. A eficiência de processos de recuperação de áreas degradadas pode ser otimizada pela inoculação com FMA, ainda mais em solos que perderam sua camada arável e apresentam reduzida atividade de propágulos de micro-organismos benéficos para as plantas, transformando a inoculação em um processo muito importante do ponto de vista ecológico e de grande interesse tecnológico (MIRANDA et al., 2001).

## **2.5 Utilização de resíduos**

Material orgânico ou resíduo pode ser classificado em produtos de origem animal, vegetal, agroindustrial e industrial, mas independente dessa classificação, a origem do resíduo está ligada ao processo de produção. Os resíduos orgânicos com maior potencial de aproveitamento são os esterco animais, o lodo de esgoto, o composto de lixo, os subprodutos da fabricação de açúcar e álcool e os restos de cultura (SILVA, 2008).

A preocupação com a degradação ambiental renovou o interesse dos agricultores pelo uso de adubos orgânicos ou resíduos, principalmente pela agricultura sustentável (CANTLIFFE, 1995; STEWART; ROBINSON, 1997; BRUMMER, 1998), pois, além do fornecimento de nutrientes, destacam-se por um papel fundamental e mais importante, o fornecimento de matéria orgânica para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (RAIJ, 1991).

Os aspectos relacionados à produção de resíduos têm relação direta com a quantidade, aos locais de geração do material, os processos que regulam a composição e as propriedades desses materiais. Na maioria das vezes, são informações difíceis de serem obtidas, em razão da falta de dados atualizados e da dificuldade de se estimar precisamente as quantidades geradas em cada setor ou atividade econômica (SILVA, 2008).

Existe uma grande diversidade de fontes de resíduos que podem ser usados. Um fator determinante na escolha é a disponibilidade local, como por exemplo, as macrófitas que tem se tornado problema para usinas na geração de energia, e a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, subproduto da fabricação do álcool. Ambos são ricos em nutrientes, mas, geralmente, são vistos como simples resíduos ou materiais de descarte.

### ***2.5.1 Macrófitas***

As condições químicas, físicas e bióticas dos corpos hídricos lóticos são transformadas com a construção dos reservatórios em sistemas lênticos, propiciando alterações importantes nas biocenoses, com as instalações de novas populações ou drásticos aumentos das densidades populacionais de algumas espécies autóctones (THOMAZ et al., 1997). Dentre as quais, segundo Pitelli et al. (2008), as populações favorecidas pela construção de reservatórios, destacam-se as macrófitas.

A eutrofização é uma importante modificação provocada pelo homem em ambientes aquáticos, que altera vários atributos da estrutura das comunidades, tais como a riqueza, a equitabilidade e as relações de dominância das populações, podendo levar a exclusão de determinadas espécies e elevado o crescimento populacional de outras (WATSON McCAULEY; DOWNING, 1997), principalmente determinadas algas e macrófitas (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997; VELINI, 2000).

As macrófitas exercem papel de destaque nos ecossistemas aquáticos, onde podem apresentar intenso crescimento, tornando-se potencialmente prejudiciais à geração de energia. Estes prejuízos são maiores quando somados aos custos envolvidos na interrupção temporária da geração de energia elétrica pela paralisação das turbinas (POMPEO, 2008). As infestações elevadas de macrófitas nos reservatórios de usinas hidrelétricas e outros corpos hídricos geram situações em que a necessidade de executar uma medida de controle torna-se indispensável (MARTINS et al., 2003).

Especificamente no caso em estudo segundo Thomaz e Bini (2003), no período chuvoso, notadamente entre janeiro e abril, ocorre aumento de vazão no reservatório,

provocando uma fragmentação das plantas aquáticas submersas, a formação de ilhas flutuantes de taboa (*Typha latifolia*) e aguapé-de-cordão (*Eichhornia azurea*) e o deslocamento de plantas flutuantes como o aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface-d'água (*Pistia stratiotes*). Essa vegetação desloca-se pelo reservatório rumo à usina. A alternativa para esta situação no Brasil é o controle mecânico com a retirada das plantas do corpo hídrico e tem sido usada principalmente pelas restrições ambientais a outros métodos (VELINI, 2005). O controle mecânico se dá em quatro etapas: retirada das plantas dos rios, canais ou lagos; transporte das plantas ainda no corpo hídrico; transferência desse material para o ambiente terrestre transporte e descarte do material coletado (VELINI, 2000).

As macrófitas têm sido utilizadas de várias maneiras, mas principalmente como fonte de carboidratos ou proteínas para alimentação animal; na construção de casas ou tapumes, na produção de papel e outros usos industriais variados; para alimentação de organismos aquáticos, como peixes consumidos pelo homem; na remoção de nutrientes e poluentes de águas eutrofizadas e de efluentes; na produção de energia (biogás metano ou como substituto de carvão) e como fertilizante (MURPHY, 1988). A biomassa das macrófitas, rica em macro e micronutrientes, é uma alternativa para uso em solos desprovidos de húmus, matéria orgânica e, desta forma, sem vida (LUTZENBERGER, 1985), desde que não leve ao acúmulo de substâncias nocivas e metais pesados.

O material orgânico destas plantas, quando incorporado no solo, pode exercer influência sobre numerosas propriedades físicas, químicas e biológicas, as quais acabam por alterar sua dinâmica do mesmo e, conseqüentemente, sua fertilidade. Nakagawa (1992) afirmou que todo e qualquer resíduo orgânico animal e vegetal, incorporado ou amontoado no solo, é degradado devido a ação de micro-organismos que se alimentam das substâncias presentes, principalmente o carbono orgânico, e os nutrientes são liberados para a biota terrestre, incluindo raízes de plantas superiores.

### ***2.5.2 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar***

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar, subproduto primário desta indústria, é utilizada como fertilizante do solo, sem estudos controlados de seus componentes e valor nutricional (FREITAS, 2005). O destino corrente, de 7,11 milhões de toneladas de cinza, tem sido o solo, onde vem sendo colocada ora como adubo, ora como um simples material de descarte (MANHÃES, 1999; FREITAS, 2005).

A utilização de cinzas como insumo no processo produtivo agrícola é ambiental e economicamente viável, pois o material possibilita alta capacidade de retenção de água, melhorando o desenvolvimento da cultura, por ser também fonte de macro e micro nutrientes, e, conseqüentemente, capazes de corrigir a acidez do solo, onde uma tonelada de cinza equivale a 0,5 toneladas de calcário (BRUNELLI; PISANI JÚNIOR, 2006). Esse resíduo rico em nutrientes pode ser corretamente aproveitado para melhorar as propriedades físico-químicas e biológicas de áreas de solo degradado.

## 2.6 Polímero hidroabsorvente (Hidrogel)

Várias ferramentas têm sido utilizadas na agricultura reduzir e ou otimizar aplicações de água, e ainda favorecer a sobrevivência das plantas em campo. O uso de hidrogel, um polímero absorvente, com capacidade para armazenar grande quantidade de água e liberá-la gradativamente no solo, possibilita aumentos nos turnos de rega (COELHO et al., 2008), por atuar como agente auxiliar na retenção de água (BUZETTO ; BIZON.; SEIXAS, 2002).

Ele tem sido considerado como uma alternativa para situações em que não há disponibilidade de água no solo, como o estresse hídrico associado a períodos longos de estiagem, frequentemente em ocasiões nas quais a baixa umidade no solo pode afetar de forma negativa o crescimento e o crescimento das plantas (ANJOS; SILVA; LOPES, 2001; BERNARDI et al., 2005). A adição de hidrogéis no solo melhora a disponibilidade de água, diminui as perdas por percolação e lixiviação de nutrientes e melhora a aeração e drenagem, acelerando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas (VLACH, 1991).

Nos Estados Unidos da América, o Serviço Florestal do Estado do Colorado obteve elevar o índice de sobrevivência de mudas florestais somente com o uso de polímeros agrícolas no momento do transplante ou semeadura, além de acelerar o crescimento dessas plantas pelo maior suprimento e disponibilidade de água (WOFFORD JÚNIOR, 1990). No Brasil, os estudos com hidrogéis obtiveram destaque vários trabalhos. O uso da formulação 7,0 g L<sup>-1</sup> de hidrogel aplicado diretamente na cova com volume de 0,5 L cova<sup>-1</sup> aumentou o sucesso do estabelecimento do povoamento de pinhão-manso e formulações acima da sugerida reduziram o crescimento das mudas, nas condições do oeste do Paraná.

Thomas (2008) relatou que a imersão do sistema radicular de mudas *Eucalyptus pilularis* e *Corymbia citrodora* reduziu de 12 para 5% e de 26 para 14% a taxa de mortalidade de mudas, respectivamente, na concentração de 2,5 L<sup>-1</sup>. Azevedo et al. (2002),

estudando a eficiência do hidrogel no fornecimento de água para o cafeeiro (*Coffea arabica* L) cultivar Tupi, constatou que o efeito do polímero sobre as características estudadas (altura de plantas, massa seca da parte aérea e massa seca de 19 plantas) foram significativas, podendo-se afirmar que a presença do hidrogel no substrato permite ampliar os intervalos entre irrigações, sem comprometer o crescimento da planta por déficit de água, além de afirmar que quanto menor o fornecimento de água maior a importância do polímero.

A eficiência do hidrogel no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* em pós-plantio foi relatada por Buzetto, Bizon e Seixas (2002), que constataram que o polímero proporcionou maior retenção de água de irrigação num maior período de tempo, disponibilizando-a de maneira gradativa para as plantas, o que resultou na diminuição da mortalidade das mudas cultivadas com o hidrogel sem, contudo, acelerar o crescimento em altura das mesmas.

Estudando o efeito do polímero de acrilamida (Stockosorb) sobre a sobrevivência e crescimento de mudas de *E. urophylla* em pós-plantio, utilizando uma mistura de solo de cova com doses de 2 g e 4 g de polímero seco e 0,4 L e 0,8 L de solução pré-hidratada, Buzetto, Bizon e Seixas (2002) verificaram que a taxa de sobrevivência foi maior quando se utilizou a dose de 0,8 L da solução pré-hidratada. Quanto ao crescimento das plantas observou-se que não houve influência do polímero dentro do período de tempo estudado (nove meses após o plantio)

O interesse fundamental do uso de superabsorventes na agricultura está centrado na melhor gestão da água, tanto no momento do plantio como no transplantio e na expectativa de aumento no índice de sobrevivência de mudas florestais. Por isto ao ser utilizado em áreas de solo degradado, poderá contribuir para trazer resultados positivos.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Histórico da área experimental

O experimento foi conduzido por 12 meses, com início em dezembro de 2010, em área localizada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da UNESP – Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, à margem direita do rio Paraná, a jusante da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, localizada em Selvíria, MS (20° 22' S e 51° 22' O).

Figura 1. Visão geral da localização do experimento: voçoroca e assoreamento (A e B), com exposição do subsolo e área experimental (C e D)

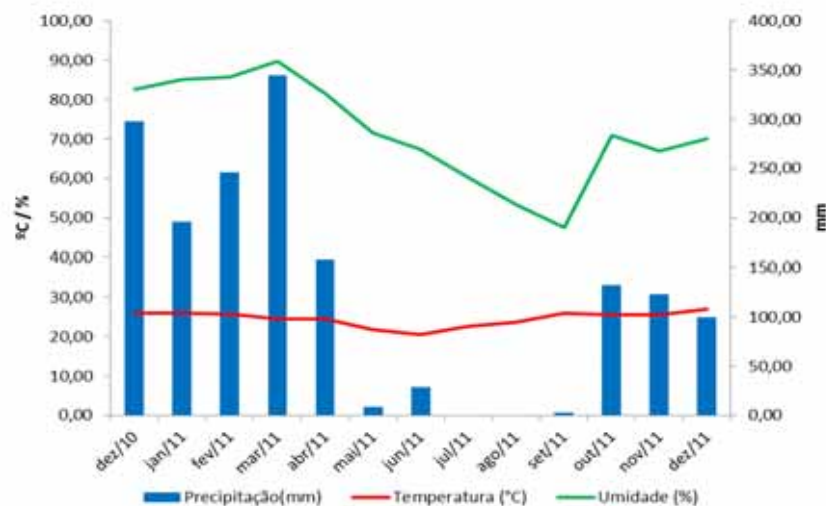


Fonte: Santos (2013).

A altitude média na região é de 335 m, o clima foi classificado como Aw pelo sistema de Koppen, com temperatura média anual de 23,7 °C e precipitação média anual de 1.300 mm. A temperatura e umidade da área, ao longo dos 12 meses experimentais, estão apresentadas na Figura 2. O solo predominante na região é o Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2006).

O local do experimento exibia como cobertura vegetal o Cerrado *Sensu stricto* que no término da década de 1960, em consequência da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, foi desmatado e utilizado como “área de empréstimo”, de onde foram removidas camadas de solo até 12 m de profundidade. Atualmente pequenos fragmentos estão em processo de regeneração natural, porém, em sua maior extensão, o subsolo permanece exposto e sem cobertura vegetal, com acentuado processo erosivo (RODRIGUES; MALTONI; CASSIOLATO, 2007).

Figura 2. Médias de temperatura (°C) e precipitação (mm) e umidade (%) para o período de 12 meses de condução do experimento. UNESP-Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão.



Fonte: Santos (2013).

### 3.2 Caracterização da área antes de implantação do experimento

Para a caracterização da área, antes de implantar o experimento, foi realizada a coleta de uma amostra composta de quatro amostras simples de solo, na profundidade de 0-0,10 m, peneirada em malha de 2 mm, seca à sombra e homogeneizada.

Parte desta amostra foi enviada para fertilidade no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP, Campus de Ilha Solteira. O pH foi determinado em  $\text{CaCl}_2$ ; o P foi extraído com resina trocadora de íons, na relação solo:água:resina de 1:10:1, enquanto o Al foi extraído com KCl 1N. O P foi determinado por colorimetria, a acidez potencial (H+Al) empregou o pH SMP e o  $\text{Al}^{+3}$  foi determinado por titulação com NaOH 0,025N. A metodologia empregada foi a descrita por Raij et al. (2001), sendo obtidos os seguintes valores:  $\text{P}(\text{mg dm}^{-3}) = 3$ ;  $\text{MO}(\text{g dm}^{-3}) = 5$ ;  $\text{pH}(\text{CaCl}_2) = 4,2$ ;  $\text{H+Al}(\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}) = 35$ ;  $\text{Al}(\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}) = 12$  e  $\text{SB}(\%) = 2,8$ .

A outra parte das amostras de solo (100 g) foi utilizada para determinação do número de esporos de FMA autóctones. Estes foram separados e coletados segundo uma associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e de centrifugação e flutuação com sacarose (JENKINS, 1964). A contagem dos esporos foi realizada em uma placa de acrílico com anéis concêntricos sob microscópio estereoscópico (40x). Foram encontrados 3 esporos por 100 g de solo seco.

### **3.3 Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, ocupando cada um deles uma área de  $960 \text{ m}^2$  (30 x 32m). Cada bloco foi composto 16 linhas com 10 plantas de pinhão-manso por linha (160 plantas), sendo considerada como área útil as 14 linhas internas. O espaçamento foi de 3 m entre linhas e de 2 m entre plantas (3 m x 2 m). O experimento foi realizado em esquema fatorial 2 x 2 x 4, ou seja, 2 tratamentos de inoculação (com e sem solo inóculo), 2 tratamentos com hidrogel (com e sem adição) e 4 tratamentos de cova (macrófitas, cinza de cana-de-açúcar, macrófitas + cinza de cana-de-açúcar e controle), com 4 repetições (blocos), sendo avaliadas 5 plantas por bloco, por tratamento, totalizando 320 plantas avaliadas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### **3.4 Obtenção do solo-inóculo**

O solo de área de Cerrado preservado foi utilizado como fonte de micro-organismos, especialmente de FMA. O solo coletado foi cultivado em casa-de-vegetação, com uma planta

multiplicadora, *Urochloa decumbens* Stapf, com a finalidade aumentar a população das espécies de micro-organismos, especialmente os FMA.

Para tanto, o solo coletado foi transferido para vasos plásticos (3 L), onde foram depositadas sementes de *U. decumbens*, previamente desinfestadas com hipoclorito de sódio a 2% e enxaguadas. Após 75 dias de cultivo, a parte aérea dessas plantas foi descartada, o substrato e o sistema radicular misturados, secos à sombra. O número de esporos de FMA foi avaliado como anteriormente descrito. O volume 100 g de solo-inóculo apresentou 300 esporos de FMA.

### 3.5 Obtenção e preparo de hidrogel, das macrófitas e da cinza de cana-de-açúcar

O hidrogel adsorvente utilizado foi o Stockosorb, fabricado pela Degussa-Hüls Ltda., construído a base de polímeros formados por acrilamida (ácido acrílico à base de sal potássico). As macrófitas taboa (*Typha latifolia*) e aguapé-de-cordão (*Eichhornia azurea*), assim como as plantas flutuantes como o aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface-d'água (*Pistia stratiotes*) utilizadas, foram secas ao ar e trituradas, para redução e uniformização do tamanho (cerca de 1 cm de comprimento). Este material foi analisado no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP, Campus de Ilha Solteira, para determinação dos teores de nutrientes, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os resultados obtidos são os que seguem: N = 26; P = 3; K = 9,5; Ca = 25 em g kg<sup>-1</sup> massa seca e S = 33; B = 52; Zn = 96; Cu = 51; Fe = 248 e Mn = 127, em mg kg<sup>-1</sup> massa seca. O hidrogel e as macrófitas foram cedidos pela Companhia energética de São Paulo (CESP).

A cinza cana-de-açúcar, coletada na Usina ALCOVALE, localizada no município de Aparecida do Tabuado-MS, foi enviada para a caracterização química no Laboratório de Fertilidade do Solo, da Faculdade de Engenharia-UNESP-Campus de Ilha Solteira, de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001), apresentando os seguintes resultados: P (mg dm<sup>-3</sup>) = 54; MO (g dm<sup>-3</sup>) = 15; pH CaCl<sub>2</sub> = 4,8; H+Al (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 40; Al (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 2 e SB (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 19,6.

### 3.6 Preparo das mudas de *Jatropha curcas* L.

As mudas de pinhão-mansão foram adquiridas em tubetes com substrato comercial, no estádio de 2 pares de folhas, transplantadas para sacos plásticos de polipropileno, contendo 2

kg de solo coletado na área experimental, na camada de 0-0,10 m. As mudas foram mantidas em viveiro coberto por 4 meses, onde receberam rega diária. Antes do transplante para o campo, em dezembro 2010, foram colocadas fora do viveiro, onde permaneceram por 15 dias, para adaptação às condições de campo.

### **3.7 Preparo da área e implantação do experimento**

A área foi preparada em outubro de 2010, sendo subsolada a 0,40 m de profundidade e gradeada para uniformização do solo. As covas foram abertas com 0,30 m de diâmetro e 0,90 m de profundidade, com emprego de broca hidráulica, no espaçamento três metros entre linhas e dois entre plantas (3 m x 2 m). O volume de solo da metade inferior foi devolvido na cova e o da metade superior da cova foi retirado para ser misturado com os resíduos, de acordo com os tratamentos estabelecidos e então devolvido a cova para a introdução das mudas de pinhão-manso.

Nos tratamentos com macrófitas foi aplicado o equivalente a 15 t ha<sup>-1</sup> de massa seca por cova e para os tratamentos com a cinza o equivalente a 30 t ha<sup>-1</sup>, ou seja, 480 e 980 g cova<sup>-1</sup>, respectivamente. Como condição básica, em todos os tratamentos foi realizada a correção e a adubação química, em quantidade mínima para não interferir nos tratamentos com inoculação, sendo utilizado calcário dolomítico (36 g cova<sup>-1</sup>), sulfato de amônio (24 g cova<sup>-1</sup>), superfosfato simples (14 g cova<sup>-1</sup>) e cloreto de potássio (1,4 g cova<sup>-1</sup>).

Para os tratamentos de inoculação, no momento do plantio das mudas, em dezembro de 2010, foram depositados na cova 200 g de solo-inóculo, suficiente para proporcionar cerca de 600 esporos de FMA por cova. Nos tratamentos com hidrogel, aplicaram-se 3 g do produto diluídas em 700 mL de água, no momento do plantio das mudas de pinhão-manso. Este foi adicionado na superfície e recoberto com uma camada de solo.

Para facilitar a retenção de água da rega ou chuvas, realizou-se o coroamento nas covas antes do plantio das mudas. Capinas foram efetuadas no perímetro da coroa, sempre que necessário. Fotos da área logo após o plantio, com 06 e 12 meses estão apresentadas na Figura 3.

### **3.8 Coleta de solo, atributos químicos e microbiológicos analisados**

As amostras de solo foram composta de 5 amostras simples coletadas nas covas do tratamento, próximo às plantas, com auxílio de um trado de cilindro em profundidade de 0 a

0,10 m, sendo posteriormente peneiradas e secas a sombra. As raízes encontradas foram separadas, lavadas em água corrente e preservadas temporariamente em álcool (50%).

Figura 3. Área experimental após o plantio do pinhão-manso, em dezembro de 2010 (A), após 6 meses (B) e após 12 meses (C).



Fonte: Santos (2013).

As avaliações foram realizadas aos 30, 120, 240 e 360 dias após o plantio (DAP) para os atributos químicos do solo, número de esporos, porcentagem de colonização por fungos micorrízicos, quantificação da respiração basal. Algumas avaliações foram realizadas apenas aos 360 DAP como a quantificação do carbono da biomassa microbiana, a determinação do quociente metabólico e a determinação do quociente microbiano.

### ***3.8.1 Caracterização dos atributos químicos do solo degradado***

As amostras de solo foram enviadas para fertilidade no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP, Campus de Ilha Solteira. A metodologia empregada foi a descrita por Raij et al. (2001), como anteriormente apresentado no item 3.2.

### ***3.8.2 Porcentagem de colonização micorrízica***

Para a determinação da colonização micorrízica, as raízes preservadas foram novamente lavadas em água corrente, clarificada em KOH (10%), acidificadas com HCl (1%), coloridas com azul de tripano (0,05 %) em lactoglicerol (PHILLIPS; HAYMAN,

1970). A determinação da porcentagem de segmentos colonizados foi realizada avaliando 100 segmentos de raízes finas, por amostra, em microscópio óptico (40x).

### ***3.8.3 Determinação do número de esporos***

De cada amostra de solo, 100 g foram utilizadas para determinação do número de esporos de FMA autóctones. Estes foram separados e coletados como descrito no item 3.2. A contagem dos esporos foi realizada em uma placa de acrílico com anéis concêntricos sob microscópio estereoscópico (40x).

### ***3.8.4 Quantificação da respiração basal (C-CO<sub>2</sub> liberado)***

Para tal quantificação foram utilizados 100 g do solo amostrado no qual foi peneirado, pesados e colocadas em jarros de vidro com tampa de rosca, a umidade do solo foi corrigida até 70% sendo no centro depositado um frasco contendo 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, e os jarros fechados hermeticamente.

O tempo de incubação foi determinado por meio da curva de calibração, resultante de um monitoramento em dias alternados. A titulação do NaOH livre, realizada empregando HCl (0,1 mol L<sup>-1</sup>) e o utilizado foi indicador fenolftaleína(1%). O controle feito com jarros de vidro, sem solo, contendo frascos com NaOH. A titulação da base livre permitiu calcular, por subtração, a quantidade de CO<sub>2</sub> que reage com NaOH (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

### ***3.8.5 Quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM)***

Para a quantificação do CBM, utilizando o método de fumigação-extração (VANCE BROOKES; JENKINSON, 1987), foram utilizadas 2 amostras de 10g de solo por repetição, sendo 10 g fumigado com clorofórmio, que elimina a microflora do solo. O carbono liberado pela morte dos micro-organismos nas amostras fumigadas foi determinado por extração seguido de digestão, e comparado às amostras de solo não fumigadas. O carbono microbiano extraído, para ambas as amostras, foi avaliado com o emprego do extrator K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, após agitação por 30 minutos e filtração em papel de filtro Whatman nº1. O extrato oxidado, contendo o carbono microbiano, foi misturado com dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> mol L<sup>-1</sup>) e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado e colocado no bloco digestor, onde permaneceram por 30 minutos a uma temperatura de 90°C.

O excesso de dicromato foi titulado com sulfato ferroso amoniacal  $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ , utilizando difenilamina como indicador, revelando deste modo a quantidade de dicromato utilizado na oxidação e, assim, a quantidade de carbono extraída. A biomassa foi então determinada por  $B = C_f - C_{nf} / K_{ec}$  onde:

$C_f$  e  $C_{nf}$  representam o carbono extraído dos solos fumigados e não fumigados;

$K_{ec}$  representa a proporção do total do carbono microbiano extraído após a fumigação

### ***3.8.6 Determinação do quociente microbiano ( $q_{MIC}$ )***

O quociente microbiano ( $q_{MIC}$ ) foi calculado apenas aos 360 DAP pela expressão  $(\text{CBM}/\text{Corg do solo})/10$ , de acordo com Sparling (1992).

### ***3.8.7 Determinação do quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ )***

A determinação do quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ ) foi realizada apenas aos 360 DAP representa a quantidade de C- $\text{CO}_2$  liberado por unidade de CBM, segundo Anderson (1994) e foi estimada pela razão C- $\text{CO}_2$  liberado / CBM, ou seja:  $\text{mg C-CO}_2 \text{ g solo fresco}^{-1} \text{ h}^{-1} / \text{mg de C de biomassa} - \text{g de C}^{-1} \text{ solo}^{-1}$ .

## **3.9 Coleta de plantas e atributos analisados**

As avaliações foram realizadas aos 30, 120, 240 e 360 dias após o plantio (DAP) para volume médio de plantas, índice relativo de clorofila. Aos 360 DAP também foram analisadas a atividade de fosfatase acida foliar, a produtividade de frutos e os teores de N e P foliar.

### ***3.9.1 Volume médio de plantas***

Para o volume da planta (VP) foram avaliadas cinco plantas por tratamento, por repetição. Para tanto foi avaliada a altura da planta e duas medidas de comprimento de ramos laterais, sendo escolhido o ramo mais longo tanto à direita quanto à esquerda do eixo principal, como mostrado na Figura 4. Estes valores foram multiplicados como segue:  $VP = \text{largura} * \text{comprimentos} * \text{largura}$ . Os resultados foram multiplicados por 1000 para se o volume pudesse ser apresentado em  $\text{dm}^{-3}$ .



Figura 4. Elucidação do método de avaliação do volume de plantas de pinhão-mansô



Fonte: Santos (2013).

### 3.9.2 Índice relativo de clorofila (IRC)

O Índice relativo de clorofila (IRC) foi determinado utilizando um medidor portátil do tipo ClorofiLOG1030®. As leituras foram realizadas no período da manhã, sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência de a luz solar. A leitura foi realizada em duas folhas por planta, em dois pontos por folha (terceiro ou quarto par de folhas a partir do ápice), sendo avaliadas 5 plantas por tratamento, por repetição.

### 3.9.3 Produtividade

A produtividade foi avaliada ao longo do ciclo de produção (Quadro2) das plantas de pinhão-mansô, sendo que a última coleta próxima aos 360 DAP. Os frutos foram coletados de 5 plantas por tratamento, por repetição.

Quadro 2. Ciclo do pinhão-mansô nas condições do experimento em campo.

2010	2011												2012
Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan
Período Chuvoso					Período Seco					Período Chuvoso			
Período com folhas					Período sem folhas					Período com folhas			
										Floração			
											Produção		

Fonte: Santos (2013).

Os frutos foram coletados de novembro de 2011 a janeiro de 2012, devido a irregularidade na floração e maturação dos frutos, característica da espécie (Quadro 2). Estes foram secos ao sol, descascados e as sementes pesadas para o posterior cálculo da produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$  (Figura 5).

Figura 5. Frutos de pinhão-mansinho coletados, secos e descascados.



Fonte: SANTOS (2013).

#### ***3.9.4 Atividade de fosfatase ácida foliar***

A atividade da enzima fosfatase ácida foliar foi avaliada apenas aos 360 DAP de acordo com o procedimento de BESFORD (1980). Utilizaram-se 100 g de limbo foliar, de plantas coletadas até as 10 h da manhã, foram cortados em segmentos de  $1 \text{ cm}^2$ . Estes foram incubados em 8 mL de paranitrofenilfosfato (*p*-NPP) em tampão acetato de sódio (pH 4,0), por 20 minutos, a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , ao abrigo da luz. Retirou-se 5 mL desta mistura foram alcalinizados com 2 mL de NaOH na concentração  $2 \text{ mol L}^{-1}$ , estimando-se por calorimetria (420 nm) a quantidade de *p*-NPP formado. Os resultados foram expressos em  $\text{mg } p\text{-NPP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

#### ***3.9.5 Teores de nitrogênio (N) e fósforo (P) foliar***

Para a avaliação dos teores de N e P foliar, folhas de pinhão-mansinho foram coletadas e colocadas para secar em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 48 horas. O material seco foi moído, em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de malhas com abertura de 1 mm, e acondicionado em saquinhos de papel para análises, seguindo-se os métodos descritos em Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fertilidade do solo degradado

A degradação do solo pode ser considerada como a redução da qualidade e da capacidade produtiva do mesmo, ou seja, o empobrecimento do solo em consequência da ação antrópica que ocorre quando, dentre outros fatores, há perda da camada fértil do solo. A área de solo degradado é objeto de estudo neste trabalho, pois se trata de um subsolo exposto, onde o solo dos horizontes A e parte do B foram removidos (Figura 1). Nesta área foi implantada a cultura do pinhão-manso, onde foi observada a influência positiva da aplicação de resíduos.

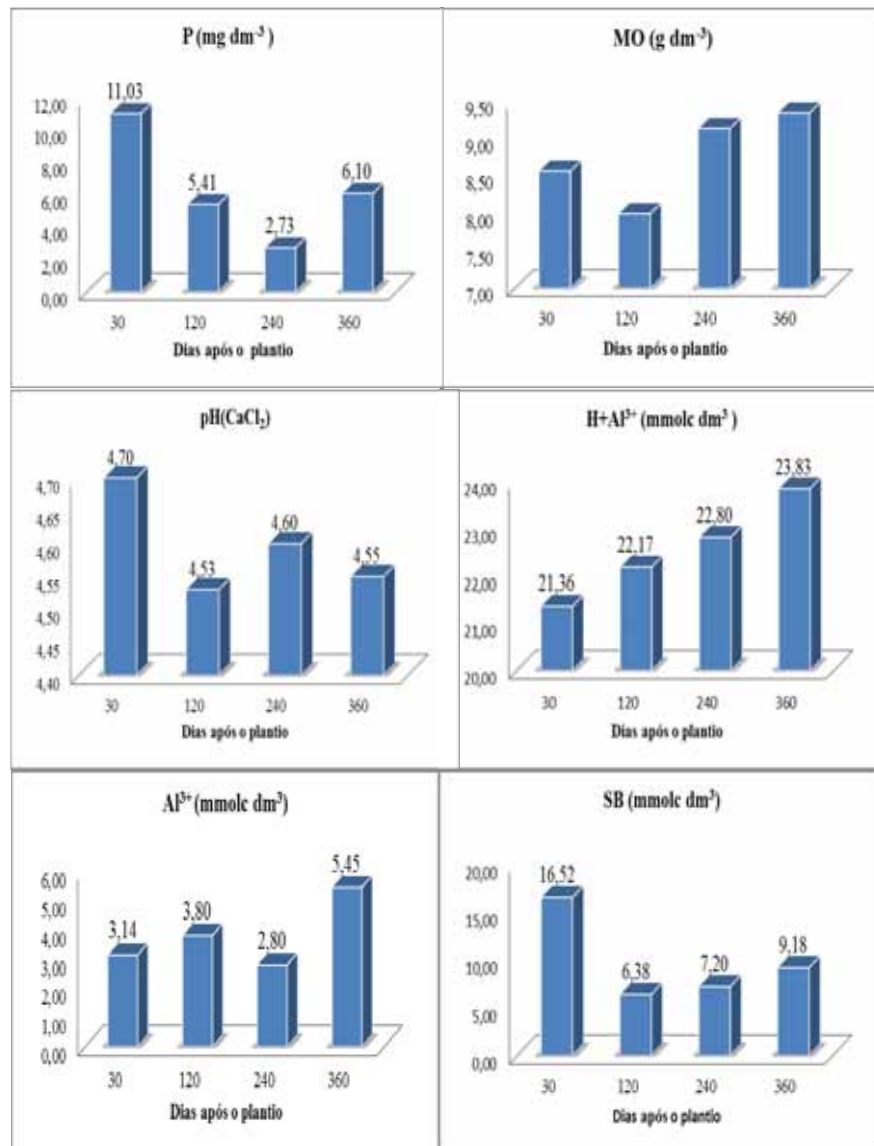
Independente dos tratamentos, observou-se uma tendência de redução dos teores de P, MO, SB e dos valores de pH nas primeiras avaliações, com um pequeno incremento aos 360 dias. Ao longo do período de experimental, os valores de H+Al e Al permaneceram elevados (Tabelas 1 e 2; Figura 6).

Constatou-se que o tratamento com ausência de inoculação proporcionou os maiores valores de P, ao longo de todo o período experimental (360 DAP). Ainda na ausência de inoculação, aos 30 DAP, observou-se os maiores valores de pH e SB e os menores de H+Al e Al (Tabelas 1 e 2).

Para a interação entre inoculação e hidrogel, tanto aos 30 como aos 120 DAP, os maiores teores de P foram verificados no tratamento em ausência de inoculação e de hidrogel (Tabela 3). Na interação entre inoculação e resíduos, os maiores teores de P foram exibidos nos tratamentos com resíduos e na ausência de inoculação. Aos 360 DAP, os maiores valores para SB foram detectados no tratamento em ausência de inoculação e com adição de macrófitas, o qual não diferiu do tratamento com macrófitas+cinza, que não diferiu na presença ou ausência de inoculação (Tabela 4).

Os menores valores de P, pH e SB foram associados à inoculação, possivelmente por apresentarem maior população microbiana em atividade que, associado aos tratamentos com resíduos (nutrientes) e hidrogel (água), acarretaram na imobilização temporária de nutrientes em sua biomassa. Este comportamento pode estar relacionado ao estado de degradação da área em estudo, com baixos teores de nutrientes e de MO, o que não garantiria sua multiplicação e estabelecimento durante o período experimental.

Figura 6. Média geral de algumas propriedades químicas do solo sob *Jatropha curcas*, cultivada em solo degradado.



Fonte: Santos (2013).

Os micro-organismos atuam de forma direta ou indiretamente na decomposição, mineralização, imobilização orgânica, oxidação/redução, solubilização, precipitação e volatilização de elementos no sistema solo-planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Durante o processo de multiplicação estes imobilizam temporariamente os nutrientes, sendo liberados somente após sua morte e decomposição, quando se tornam disponíveis às plantas (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

Tabela 1. Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para atributos químicos do solo degradado cultivado com pinhão-mansão, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos, de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 30 e 120 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos	----- 30 dias apos plantio -----						----- 120 dias apos plantio -----					
	P	MO	pH	H+Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	P	MO	pH	H+Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> -----	-----	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> -----	-----
<b>Inóculo</b>	5,03	8,37	4,67b	22,00a	3,78a	13,88b	3,06	7,98	4,51	22,34	3,59	6,95
<b>(Inoc)</b>	7,03	8,75	4,85a	20,71b	2,50b	19,15a	7,75	8,06	4,53	22,00	4,00	5,80
<b>Hidrogel</b>	6,65	8,31	4,66b	21,68	3,65	13,36b	3,59	8,05	4,53	22,56	3,60	6,46
<b>(Hidr)</b>	7,40	8,81	4,84a	21,03	2,62	19,68a	7,50	7,93	4,52	21,78	4,00	6,46
<b>Macrófitas (M)</b>	15,87	9,00a	4,93a	19,68b	2,18ab	20,86a	6,31	8,12	4,60	21,75	3,25	6,43
<b>Resíduos</b>	12,62	8,18bc	4,58b	23,37a	4,06ab	10,95b	6,62	7,87	4,55	23,18	3,93	6,11
<b>(Res)</b>	12,81	9,75a	4,92a	20,56b	2,06b	24,36a	6,75	8,18	4,57	21,37	3,25	7,05
<b>Controle</b>	2,81	7,31c	4,60ab	21,81ab	4,25a	9,91b	1,93	7,81	4,43	22,37	4,75	5,93
<b>Inoc</b>	33,75 <sup>**</sup>	1,87 <sup>ns</sup>	4,57 <sup>*</sup>	4,29 <sup>*</sup>	5,20 <sup>*</sup>	4,45 <sup>*</sup>	52,39 <sup>**</sup>	0,696 <sup>ns</sup>	0,234 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	2,27 <sup>ns</sup>	3,09 <sup>ns</sup>
<b>Hidr</b>	17,94 <sup>**</sup>	3,24 <sup>ns</sup>	4,57 <sup>*</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	3,37 <sup>ns</sup>	6,42 <sup>*</sup>	31,33 <sup>**</sup>	0,696 <sup>ns</sup>	0,104 <sup>ns</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	3,89 <sup>*</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
<b>Res</b>	7,55 <sup>**</sup>	14,30 <sup>**</sup>	4,94 <sup>**</sup>	6,70 <sup>**</sup>	4,38 <sup>*</sup>	8,31 <sup>*</sup>	12,82 <sup>**</sup>	1,500 <sup>ns</sup>	2,250 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	7,05 <sup>**</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
<b>Inoc x Hidr</b>	11,28 <sup>**</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	38,15 <sup>**</sup>	6,26 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	7,14 <sup>*</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>
<b>Inoc x Res</b>	4,77 <sup>**</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	6,83 <sup>**</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>
<b>Hidr x Res</b>	5,08 <sup>**</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	2,77 <sup>ns</sup>	1,85 <sup>ns</sup>	10,20 <sup>**</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	3,27 <sup>**</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	3,96 <sup>*</sup>	3,79 <sup>*</sup>
<b>CV(%)</b>	74	12,96	7,11	11,58	71	60	30,44	47,91	7,50	3,34	10,33	28,35

Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> : significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup> : não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor

Tabela 2. Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para atributos químicos do solo degradado cultivado com pinhão-mansão, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos, de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos	----- 240 dias após plantio -----						----- 360 dias após plantio -----					
	P mg dm <sup>-3</sup>	MO g dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	H+Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	SB	P mg dm <sup>-3</sup>	MO g dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	H+Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	SB
<b>Inóculo</b>	3,03a	9,28	4,57	23,09	2,87	7,63	5,75b	9,21	4,52	24,25	5,71	8,15
<b>(Inoc)</b>	2,43b	8,96	4,64	22,65	2,78	6,87	6,43a	9,46	4,57	23,40	5,18	10,20
<b>Hidrogel</b>	2,87a	9,18	4,59	23,21	2,90	7,03	6,09	9,21	4,52	24,03	5,34	9,25
<b>(Hidr)</b>	2,59a	9,06	4,62	22,53	2,75	7,47	6,09	9,46	4,57	23,62	5,56	9,09
<b>Macrófitas (M)</b>	3,12a	9,43a	4,68a	21,12b	2,06c	8,42a	6,43a	9,37a	4,64a	21,62b	3,56b	11,40
<b>Resíduos</b>	2,25b	8,93a	4,55a	24,43a	2,50bc	6,25b	5,75a	9,31a	4,43b	25,93a	7,18a	7,49
<b>(Res)</b>	3,50a	9,37a	4,64a	21,75b	2,93b	7,56ab	6,50a	9,81a	4,71a	21,81b	3,56b	11,19
<b>Controle</b>	2,06b	7,50b	4,50b	24,18a	3,81a	6,77b	2,00b	6,87b	4,40b	25,93a	7,50a	6,20
<b>Inoc</b>	8,14 <sup>**</sup>	2,75 <sup>ns</sup>	3,86 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	5,75 <sup>*</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	2,47 <sup>ns</sup>	2,80 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>ns</sup>	9,44 <sup>**</sup>
<b>Hidr</b>	1,82 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	2,47 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
<b>Res</b>	10,97 <sup>**</sup>	3,16 <sup>*</sup>	4,49 <sup>**</sup>	9,64 <sup>**</sup>	12,56 <sup>**</sup>	2,85 <sup>*</sup>	3,67 <sup>*</sup>	3,78 <sup>*</sup>	18,74 <sup>**</sup>	23,35 <sup>**</sup>	44,38 <sup>**</sup>	13,84 <sup>**</sup>
<b>Inoc x Hidr</b>	0,02 <sup>ns</sup>	2,75 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	5,97 <sup>**</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	3,27 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
<b>Inoc x Res</b>	1,76 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	1,98 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	1,85 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	2,70 <sup>*</sup>
<b>Hidr x Res</b>	1,94 <sup>ns</sup>	1,83 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	4,53 <sup>**</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>
<b>CV(%)</b>	30,44	8,25	2,76	9,48	29,81	4,47	18,81	8,44	3,15	8,46	24,08	29,08

Médias seguidas de mesma letra, na vertical e para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> e <sup>ns</sup>: significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor

Tabela 3. Desdobramento das interações significativas entre os tratamentos de inoculação (Inoc) de micro-organismos e de hidrogel (Hidr) para P, pH e  $H+Al^{3+}$  do solo degradado cultivado com pinhão-manso, aos 30, 120 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos	Com Hidr	Sem Hidr	Com Hidr	Sem Hidr
----- 30 dias após plantio -----				
----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----				
Com Inoc	5,12aA	5,23bA		
Sem Inoc	9,18aB	12,87aA		
----- 120 dias após plantio -----				
----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----			----- H+Al <sup>3+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) -----	
Com Inoc	3,25aA	2,87bA	23,50aA	21,18aB
Sem Inoc	3,93aB	5,56aA	21,50bA	22,37aA
----- 360 dias após plantio -----				
----- pH(CaCl <sub>2</sub> ) -----				
Com Inoc	4,53aA	4,50bA		
Sem Inoc	4,50aB	4,65aA		

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor

Na interação inoculação e hidrogel, aos 120 DAP, a  $H+Al$  apresentou os maiores valores no tratamento na presença de inoculação e de hidrogel (Tabela 3). Para P, diferenças estatísticas foram observadas aos 30 e 120 DAP, onde os maiores teores do nutriente foram encontrados na ausência de inoculação e de hidrogel. Os maiores valores de pH foram detectados na ausência de inoculação e de hidrogel, aos 360 DAP. Isso pode ser possível devido aos processos bioquímicos que ocorrem nos solos, decorrentes da busca pelos organismos por nutrientes e energia; e durante o processo de transformação e ciclagem de nutrientes, causando transformações indiretas, modificando o pH do solo rizosférico (RAIJ, 2011), ou por imobilizarem P na biomassa microbiana.

Os teores de P, aos 30 DAP, na interação entre hidrogel e resíduos, foram maiores para o tratamento com macrófitas, indiferente da presença ou ausência de hidrogel, porém este não diferiu do tratamento com macrófitas+cinza que, na presença de hidrogel, exibiu os maiores valores (Tabela 4). Aos 120 DAP, nos tratamentos com resíduos e na ausência de hidrogel, ocorrem os maiores teores de P. De acordo com Azevedo et al. (2002), o hidrogel no solo otimiza a disponibilidade de água, reduz as perdas por percolação e lixiviação de nutrientes, efeitos que não foram verificados neste trabalho.

Ainda para a interação entre hidrogel e resíduos, nos tratamentos com macrófitas+cinza, na ausência de hidrogel verificaram-se valores mais elevados para pH e menores para Al (Tabela 4). De modo geral, nos solos onde fontes de carbono orgânico são incorporadas,

ocorrem variações em seus atributos químicos, como o aumento do pH, acarretando reduções dos teores de alumínio trocável (CAMBUIM; CORDEIRO, 1986; CAMARGO et al., 1987), influenciando diretamente em sua fertilidade.

Tabela 4. Desdobramento das interações significativas entre os tratamentos de inoculação (Inoc) de micro-organismos e de hidrogel (Hidr) com resíduos (orgânico e inorgânico) para P, pH,  $H+Al^{3+}$  e SB do solo degradado cultivado com pinhão-manso, aos 30, 120 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos	Macrófitas (M)	Cinza (C)	M + C	Controle
----- 30 dias após plantio -----				
----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----				
Com Inoc	7,50bA	6,62bA	7,50bA	3,50aB
Sem Inoc	14,25aA	10,62aA	10,12aA	2,12aB
Com Hidr	13,37aA	6,37aB	10,50aA	3,37aB
Sem Hidr	13,37aA	7,87aA	8,12bA	2,25aB
----- 120 dias após plantio -----				
----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----				
Com Inoc	4,25bA	3,10bA	4,38bA	1,87aB
Sem Inoc	8,37aA	7,12aA	9,5aA	2,00aB
----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----				
Com Hidr	4,62bA	2,62bA	4,25bA	2,87aA
Sem Hidr	8,00aA	8,62aA	9,25aA	1,00aB
----- pH (CaCl <sub>2</sub> ) -----				
Com Hidr	4,56aA	4,56aA	4,48bA	4,52aA
Sem Hidr	4,51aAB	4,55aAB	4,66aA	4,36bB
----- Al <sup>3+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) -----				
Com Hidr	2,87aA	3,50aA	3,75aA	4,00bA
Sem Hidr	3,62aBC	4,37aAB	2,75aC	5,50aA
----- SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) -----				
Com Hidr	7,65aA	6,01aA	5,40bA	6,78aA
Sem Hidr	5,21aAB	6,21aAB	8,70aA	5,40aB
----- 360 dias após plantio -----				
----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----				
Com Hidr	7,25aA	5,50aB	5,87bAB	5,50aB
Sem Hidr	5,62bA	6,00aA	7,12aA	5,62aA
----- SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> ) -----				
Com Inoc	8,96bA	7,02aA	9,92aA	6,68aA
Sem Inoc	13,85aA	7,96aB	12,46aA	6,52aB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor

Aos 360 DAP, os maiores teores de P e SB foram observados no tratamento com macrófitas, na presença de hidrogel e no tratamento macrófitas+cinza, na ausência de hidrogel. Esta avaliação coincide com o período chuvoso (Figura 2), ainda assim se observou



efeito positivo do hidrogel no tratamento com macrófitas, o que se relaciona, para SB, a uma possível redução no processo de lixiviação, como também cita Azevedo et al. (2002), além da contribuição das macrófitas na adição de bases.

Cabe ressaltar os efeitos gerais oriundos da aplicação de resíduos ao solo, onde a contribuição da adição de macrófitas é clara e positiva, mais intensa aos 30 DAP, porém persistente até os 360 DAP para P, MO, pH, H+Al, Al e SB.

A redução da H+Al foi verificada nos tratamentos com adição de macrófitas, mostrando a relevância destes tratamentos, com sensíveis reduções se comparados ao controle (Tabelas 1 e 2). Observações semelhantes foram relatadas por Scabora, Maltoni e Cassiolato, (2010) em solo degradado, os quais estudaram a adubação orgânica e a adubação química em espécies arbóreas do cerrado, onde a redução da H+Al ocorre devido à adição de bases trocáveis.

Os teores de P no solo diminuíram ao longo do tempo de  $15,87 \text{ mg dm}^{-3}$  aos 30 DAP para  $3,12 \text{ mg dm}^{-3}$  aos 240 DAP, indicando consumo/imobilização de P pelas plantas e micro-organismos. Aos 360 DAP, porém, os teores de P voltam a aumentar, atingindo  $6,43 \text{ mg dm}^{-3}$  nos tratamentos que receberam macrófitas ou macrófitas+cinza (Tabelas 1 e 2).

Este comportamento, ao longo do tempo, pode ser explicado inicialmente pela imobilização de P pelos micro-organismos do solo, como também observaram Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), que citam ainda a disponibilização de nutrientes após a morte e decomposição destes micro-organismos.

O incremento observado ao final de 360 DAP pode então ser atribuído aos micro-organismos, mas não se deve desconsiderar o incremento inicial promovido pela adição das macrófitas. Antunes (2004) avaliando a incorporação de macrófitas em área de solo degradado, pela retirada da camada superficial do solo para construção de rodovia, encontrou efeitos positivos da incorporação desta ao solo, sobre as concentrações de P. Analisando o crescimento inicial de mudas de eucalipto, com biomassa de plantas aquáticas, Clemente (2004) relata, também, efeitos positivos desta biomassa nas concentrações de P no solo.

Merenda (2011) incubou resíduo de macrófitas em solo degradado em sala climatizada e encontrou valores significativamente superiores de P quando foram aplicadas doses de  $7,5$  e  $10,0 \text{ t ha}^{-1}$  de macrófitas, doses inferiores à empregada no presente trabalho ( $32 \text{ t ha}^{-1}$ ), permitindo reafirmar a importância da contribuição das macrófitas para melhorar os teores de P na área experimental.

Avaliando os efeitos da aplicação da adubação química e composto orgânico na fertilidade do subsolo em recuperação e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*,

Calgaro et al. (2008) verificaram, após um ano, incrementos em alguns atributos químicos do solo nos dois tratamentos com adição de aguapé (N+P+aguapé e calagem+N+P+aguapé). Os teores de P, encontrados neste trabalho, no tratamento macrófitas+cinza foram, aproximadamente, 3 a 5 vezes maiores aos citados por Calgaro et al. (2008) para os tratamentos N+P+ aguapé (P= 2,00 mg dm<sup>-3</sup>) e calagem+N+P+aguapé (P= 2,95 mg dm<sup>-3</sup>).

Os tratamentos com resíduos influenciaram positivamente os teores de matéria orgânica, produzindo teores mais elevados de MO, entretanto, quando comparado ao controle, estes valores ainda são considerados baixos (Tabelas 1 e 2). Segundo Raji et al. (1997), o teor médio de MO deveria estar entre 16 e 30 g dm<sup>-3</sup>, enquanto os teores de MO observados sob cerrado nativo atingem 45,2 g kg<sup>-1</sup> (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), sugerindo que, mesmo com a adição de resíduos ao subsolo, as condições experimentais ainda ficaram distantes do natural. Os valores de MO no presente trabalho foram, no entanto, mais elevados que os encontrados por Calgaro et al. (2008), em solo semelhante, onde adicionou N+P+aguapé e calagem+N+P+aguapé com valores 4,70 e 5,10 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Merenda (2011) constatou efeito positivo da adição de resíduos de macrófita sobre o teor MO, enquanto Modesto et al. (2009) relataram efeitos significativos nos teores de MO com o uso de resíduos, especialmente com a mistura de lodo de esgoto, torta de filtro e maravalha de madeira (24,7 e 25,2 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente), para jatobá do cerrado e monjoleiro, na recuperação de um subsolo em área de cerrado.

A adição de fontes de material orgânico, segundo Kitamura et al. (2008), tem sido utilizada com o objetivo de melhorar as propriedades do solo, mas em condição de subsolo exposto, como no presente trabalho, apenas a adição de resíduos e plantio de espécies vegetais selecionadas não pareceu ser suficiente.

Macrófitas têm sido incorporadas ao solo e alguns autores afirmam efeitos positivos, desta, sobre o pH, como relatado por Pitelli (2003), com a incorporação de *Egeria crassipes*. Macedo (2004), no entanto, não observou efeitos da incorporação de *Egeria densa*, sobre esta variável, em solo sob pastagem degradada.

Comportamento oposto foi verificado para H+Al e Al, com menores valores nos tratamentos macrófitas e macrófitas+cinza. De acordo com Pavan (1997), os ácidos orgânicos hidrossolúveis, de baixo peso molecular, oriundos da decomposição de resíduos vegetais, são capazes de promover a ciclagem de íons, induzindo a formação de complexos organometálicos, onde o Al é substituído pelo Ca no complexo catiônico.

Os resíduos incorporados ao solo diminuíram a H+Al, com efeito no Al, melhorando alguns atributos químicos do solo. Efeitos como estes também foram relatados por Antunes

(2004) que, a incorporação da macrófita *E. crassipes*, coletada no reservatório de Salto Grande, Americana-SP, apresentou efeito positivo sobre atributos químicos de um solo degradado, elevando as concentrações de P, MO, pH, SB e reduzindo a H+Al. Estes resultados permitem indicar a utilização de macrófitas como coadjuvante no processo de recuperação de áreas fortemente impactadas, onde o comprometimento dos atributos químicos se destacam.

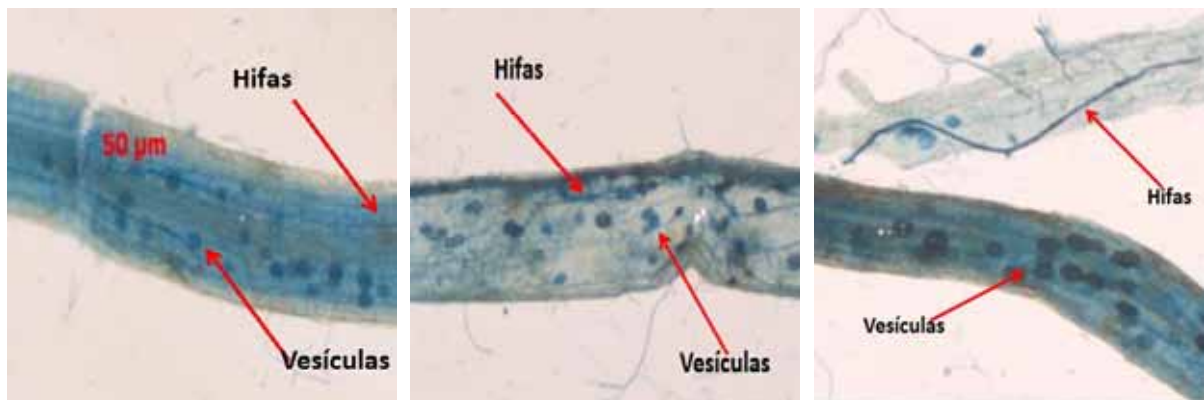
Nader Neto et al. (2012) também sugerem a incorporação da biomassa das macrófitas *P. stratiotes* e *E. crassipes* como uma alternativa viável para destinação desse resíduo, podendo ainda ser utilizada como biofertilizante em áreas ambientalmente degradadas.

#### 4.2 Micorrização

As micorrizas são sistemas biológicos que sofrem influência do ambiente e de inúmeros fatores edáficos e afetam, de modo direto ou indireto, sua formação, funcionamento e ocorrência (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Estes fungos associam-se às raízes da maioria das plantas vasculares trazendo benefícios a ambos, aumentando a absorção de água e nutrientes minerais, logo proporcionando maior desenvolvimento das plantas.

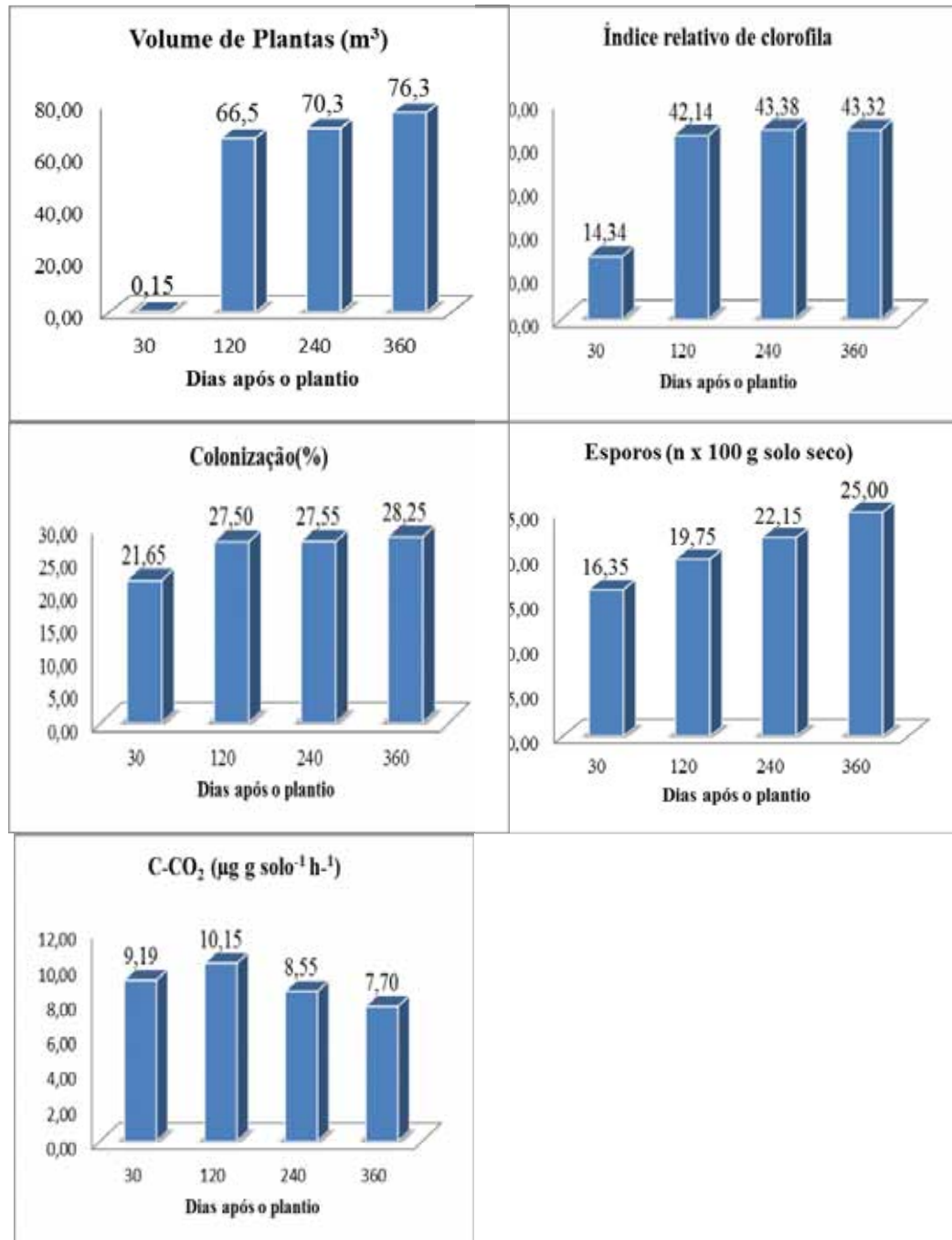
Ao longo do período de avaliação do experimento (360 DAP), o número de esporos de FMA apresentou comportamento crescente e diferente ao da porcentagem de colonização, que estabilizou a partir dos 120 DAP (Figuras 7 e 8; Tabela 5).

Figura 7. Raízes de *Jatropha curcas* após coloração das estruturas formadas pelos fungos micorrízicos arbusculares, aos 360 dias após plantio.



Fontes: Santos (2013).

Figura 8. Média geral para volume de plantas de ( $m^3$ ), índice relativo de clorofila, porcentagem de colonização radicular e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e respirometria ( $C-CO_2$  liberado), em *Jatropha curcas* cultivado em solo degradado.



Fontes: Santos (2013).

Tabela 5. Médias, valor de F e coeficientes de variação (CV%) para número de esporos e porcentagem de colonização de fungos micorrízicos absculares em pinhão-manso cultivado em solo degradado, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos e de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 30, 120, 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos	----- 30 dias -----		----- 120 dias -----		----- 240 dias -----		----- 360 dias -----	
	Esporos (n x 100 g solo seco)	Colonização (%)	Esporos (n x 100 g solo seco)	Colonização (%)	Esporos (n x 100 g solo seco)	Colonização (%)	Esporos (n x 100 g solo seco)	Colonização (%)
<b>Inóculo (Inoc)</b>	Com Inoc 24,75a	37,09a	30,03a	47,04a	34,44a	46,76a	37,81a	47,87a
	Sem Inoc 7,94b	6,21b	9,48b	7,92b	9,82b	8,34b	12,17b	8,65b
<b>Hidrogel (Hidr)</b>	Com Hidr 16,75a	22,93a	20,36a	28,14a	21,41	28,61a	23,67b	29,42a
	Sem Hidr 15,2b	20,37b	19,36b	26,82b	22,85	26,49b	26,30a	27,10b
<b>Resíduos (Res)</b>	Macrófitas (M) 18,21a	24,56a	20,48b	30,42a	23,99a	30,58a	28,87a	31,50a
	Cinza (C) 15,68b	20,12b	17,30c	23,88b	18,93b	23,95b	19,64b	24,30b
	M+C 17,93a	23,31a	24,05a	31,89a	23,84a	31,83a	28,63a	33,19a
	Controle 14,1b	18,62b	17,45c	23,73b	21,76b	23,80b	22,81b	24,05b
<b>Valor de F</b>	Inoc 3396,80 <sup>**</sup>	2653,16 <sup>**</sup>	4583 <sup>**</sup>	24476 <sup>**</sup>	7847,5 <sup>**</sup>	15246 <sup>**</sup>	928 <sup>**</sup>	5033 <sup>**</sup>
	Hidr 8,12 <sup>**</sup>	18,27 <sup>**</sup>	15,68 <sup>**</sup>	27,57 <sup>**</sup>	27,05 <sup>**</sup>	46,64 <sup>**</sup>	9,78 <sup>**</sup>	17,62 <sup>**</sup>
	Res 33,13 <sup>**</sup>	21,08 <sup>**</sup>	114,20 <sup>**</sup>	18,21 <sup>**</sup>	72,44 <sup>**</sup>	186,77 <sup>**</sup>	29,06 <sup>**</sup>	7436 <sup>**</sup>
	Inoc x Hidr 12,71 <sup>**</sup>	4,35 <sup>*</sup>	76,34 <sup>**</sup>	194,19 <sup>**</sup>	1,86 <sup>ns</sup>	6,81 <sup>*</sup>	11,76 <sup>**</sup>	16,32 <sup>**</sup>
	Inoc x Res 9,87 <sup>**</sup>	4,80 <sup>**</sup>	63,67 <sup>**</sup>	17,27 <sup>**</sup>	58,46 <sup>**</sup>	162,91 <sup>**</sup>	19,53 <sup>**</sup>	54,06 <sup>**</sup>
	Hidr x Res 7,49 <sup>**</sup>	2,00 <sup>ns</sup>	6,76 <sup>**</sup>	138,00 <sup>**</sup>	16,73 <sup>**</sup>	9,33 <sup>**</sup>	8,87 <sup>**</sup>	4,29 <sup>**</sup>
<b>CV(%)</b>	8,05	11,07	6,14	4,48	5,02	4,52	13,47	7,28

Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. e : significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor

Em todas as épocas de avaliação, a interação entre inoculação e hidrogel, tanto para número de esporos quanto para a porcentagem de colonização, as médias foram significativamente mais elevadas na presença de inoculação, com os maiores valores na presença de hidrogel (Tabelas 5 e 6). Comportamento semelhante foi observado para a interação entre inoculação e resíduos, onde, para todas as épocas de avaliação, os tratamentos com inoculação que receberam macrófitas e macrófitas+cinza, proporcionaram as maiores médias para número de esporos e porcentagem de colonização.

Tabela 6. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para número de esporos e porcentagem de colonização de fungos micorrízicos abusculares em pinhão-manso cultivado em solo degradado aos 30, 120, 240 DAP. Ilha Solteira, 2010/11

Tratamentos	---- Esporos (n x 100 g solo seco) ----		----- Colonização (%) -----	
	Com Hidr	Sem Hidr	Com Hidr	Sem Hidr
----- 30 dias -----				
Com Inoc	25,67aA	23,82aB	39,00aA	35,18aB
Sem Inoc	7,84bA	8,05bA	6,87bA	5,56bA
----- 120 dias -----				
Com Inoc	31,96aA	28,10aB	48,33aA	45,74aB
Sem Inoc	8,76bB	10,21bA	7,49bA	7,91bA
----- 240 dias -----				
Com Inoc	-	-	48,23aA	45,29aB
Sem Inoc	-	-	9,00bA	7,68bB
----- 360 dias -----				
Com Inoc			48,23aA	45,29aB
Sem Inoc			9,00bA	7,68bB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor

A interação entre hidrogel e resíduo, ao longo do período experimental apresentou as maiores médias para esporos e colonização, nos tratamentos com macrófitas e macrófitas+cinza independente do hidrogel, contudo no tratamento controle ocorreram as maiores médias na presença de hidrogel para 30 e 120 DAP, ou seja, na fase inicial do experimento (Tabelas 7 e 8).

O incremento do número de esporos, na presença de hidrogel e macrófitas ou macrófitas+cinza, ocorreu devido ao aumento na umidade do solo, o que está em acordo com Howeler, Sieverding e Saif (1987) e Miranda et al. (2001). Os autores observaram acréscimo gradativo do número de esporos e a colonização com a umidade do solo, o que coincide com o período chuvoso, que é seguido de decréscimo no período seco.

Tabela 7. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em pinhão-mansão cultivado em solo degradado aos, 120, 240 e 360 DAP plantio. Ilha Solteira, 2010/11

Tratamentos	----- número de esporos (100 g solo seco) -----			
	Macrófitas (M)	Cinza (C)	M + C	Controle
----- 30 dias -----				
Com Inoc	26,65aA	23,07aB	26,67aA	22,60aB
Sem Inoc	9,77bA	8,30bAB	7,51bBC	6,20bC
Com Hidr	18,72aA	15,27aB	17,38aA	15,65aB
Sem Hidr	17,70aA	16,10aB	16,80aAB	13,15bC
----- 120 dias -----				
Com Inoc	30,84aB	24,92aD	37,62aA	26,75aC
Sem Inoc	10,12bA	9,15bAB	10,47bA	8,20bB
Com Hidr	21,77aB	16,77aD	24,17aA	18,72aC
Sem Hidr	19,19bB	17,3aC	23,92aA	16,22bC
----- 240 dias -----				
Com Inoc	36,52aA	28,21aB	37,13aA	35,91aA
Sem Inoc	11,47bA	9,65bB	10,55bAB	7,62bC
Com Hidr	22,17bB	17,35bC	24,18aA	21,93aB
Sem Hidr	25,82aA	20,51aC	23,50aB	21,60aC
----- 360 dias -----				
Com Inoc	38,77aB	29,49aC	46,25aA	36,72aB
Sem Inoc	18,97bA	9,79bB	11,02bB	8,90bB
Com Hidr	24,25bB	18,12aC	30,00aA	22,32aBC
Sem Hidr	33,50aA	21,15aC	27,27aB	23,30aBC

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor

Explicando as observações feitas neste trabalho, para porcentagem de colonização, o processo de colonização ocorre a partir do contato de hifas com as raízes das plantas. De acordo Smith e Read (2008), este contato é seguido também de alterações morfológicas (Figura 8) e reações bioquímicas específicas, regulados por ambos os simbiontes e alterados por fatores abióticos, determinando o desenvolvimento da simbiose.

O incremento do número de esporos, na presença de hidrogel e macrófitas ou macrófitas+cinza, ocorreu devido ao aumento na umidade do solo, o que está em acordo com Howeler, Sieverding e Saif (1987) e Miranda et al. (2001), os quais observaram acréscimo gradativo do número de esporos e a colonização com a umidade do solo, o que coincide com o período chuvoso, que é seguido de decréscimo no período seco. Explicando as observações feitas neste trabalho, para porcentagem de colonização, pois o processo de colonização ocorre a partir do contato de hifas com as raízes das plantas. De acordo Smith e Read (2008), este

contato é seguido também de alterações morfológicas (Figura8) e reações bioquímicas específicas, regulados por ambos os simbiontes e alterados por fatores abióticos, determinando o desenvolvimento da simbiose.

Tabela 8. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para porcentagem de colonização de fungos micorrízicos arbusculares em pinhão-mansão cultivado em solo degradado aos 30, 120, 240 e 360 DAP. Ilha Solteira, 2010/11

Tratamentos	Colonização radicular (%)			
	Macrófitas (M)	Cinza (C)	M + C	Controle
----- 30 dias -----				
Com Inoc	41,62aA	34,37aB	39,25aA	33,12aB
Sem Inoc	7,50bA	5,87bB	7,37bA	4,12bB
<b>Com Hidr</b>				
<b>Sem Hidr</b>				
----- 120 dias -----				
Com Inoc	52,57aB	40,40aC	55,09aA	40,10aC
Sem Inoc	8,27bA	7,37bA	8,70bA	7,36bA
<b>Com Hidr</b>	31,40aB	24,57aC	33,27aA	23,31aC
<b>Sem Hidr</b>	29,45bA	23,20bB	30,51bA	24,15aB
----- 240 dias -----				
Com Inoc	52,27aB	40,11aC	55,31aA	39,35aC
Sem Inoc	8,90bA	7,87bA	8,35bA	8,25bA
<b>Com Hidr</b>	32,17aA	25,22aB	33,58aA	23,47aC
<b>Sem Hidr</b>	29,00bA	22,76bB	30,07bA	24,12aB
----- 360 dias -----				
Com Inoc	53,32aB	40,65aC	57,41aA	40,08aC
Sem Inoc	9,67bA	7,95bA	8,97bA	8,20bA
<b>Com Hidr</b>	32,77aA	25,43aB	35,71aA	23,77aB
<b>Sem Hidr</b>	30,22bA	23,17bB	30,67bA	24,33aB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor

O pinhão-mansão é uma espécie que mostrou responder à inoculação, exibindo colonização com valores médios atingindo 57,41%. Valores ainda superiores foram relatados por Carvalho (2008) que, em diferentes áreas de plantio de pinhão-mansão, no Estado de Minas Gerais, constatou taxas de colonização variando de 75,7 a 97,4%.

Os maiores números de esporos e estruturas de tolerância a estresses diversos, segundo Moreira e Siqueira (2006), se devem a umidade. No presente trabalho, a maior esporulação foi associada ao uso de hidrogel e ao de resíduos, os quais podem ter proporcionado condição de umidade mais favorável aos organismos do solo.



Em condição de solo degradado semelhante às deste trabalho, Modesto et al. (2009) relataram que a porcentagem de colonização micorrízica foi mais elevada nos tratamentos que receberam lodo ou lodo misturado com torta e maravalha, assim como no presente trabalho, os autores sugerem que a adição dos resíduos favoreceu o estabelecimento dos FMA, o que foi constatado por meio do aumento da porcentagem de colonização e esporulação, corroborando com o presente trabalho.

### 4.3 Atividade microbiana

A manutenção da produtividade de um ecossistema depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo. Esta é parte viva da matéria orgânica do solo, responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais no solo, que utiliza esses materiais como fonte de nutrientes e energia (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). A respiração do solo representa a oxidação da matéria orgânica por micro-organismos aeróbios do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A taxa de C-CO<sub>2</sub> liberado, por meio da respiração dos micro-organismos do solo (Tabela 9) aos 30 e 240 DAP para a interação entre inoculação e resíduos (Tabela 10) apresentou maiores valores no tratamento com macrófitas+cinza e com inoculação.

Ainda aos 240 DAP, houve interação entre inoculação e hidrogel, no qual na presença de inoculação não ocorreu diferença entre hidrogel, entretanto no tratamento em ausência de inoculação constataram-se as maiores médias na ausência de hidrogel no período de chuva.

Aos 120 e 360 DAP na interação entre inoculação e resíduos, as maiores médias de C-CO<sub>2</sub> liberado foram constatadas nos tratamentos com macrófitas+cinza e macrófitas na presença de inoculação. Contudo, aos 360 DAP, para interação entre resíduo e hidrogel observou-se diferença apenas para os tratamentos de macrófitas com maior média na ausência de hidrogel (Tabela 10).

Modesto et al. (2009) que avaliaram os efeitos da adição de lodo e resíduos orgânicos sobre o crescimento de jatobá do cerrado na recuperação de solo degradado, no qual verificaram menor atividade microbiana ( $4,27 \mu\text{g g solo}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) no tratamento controle e a maior atividade ( $13,30 \mu\text{g g solo}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) no tratamento com mistura de torta+lodo+maravalha. Vargas e Scholles (2000) também relatam o aumento da atividade microbiana, avaliada pelo C-CO<sub>2</sub> liberado, justificada pelo acúmulo de matéria orgânica.

Tabela 9. Médias, valor de F e coeficientes de variação (CV%) para respirometria (C-CO<sub>2</sub> liberado) aos 30, 120, 240 e 360 dias e carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente microbiano (qM<sub>ic</sub>), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) nos tratamentos de inoculação de micro-organismos e de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, em solo degradado cultivado com pinhão-manso, aos 360 dias Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos	-- 30 dias ---		-- 120 dias --		-- 240 dias --		-- 360 dias --		---CBM ---		--- qM <sub>ic</sub> ---		--- qCO <sub>2</sub> ---	
	C-CO <sub>2</sub>		C-CO <sub>2</sub>		C-CO <sub>2</sub>		C-CO <sub>2</sub>		µg C g <sup>-1</sup> solo seco		µg C g <sup>-1</sup>		µg C-CO <sub>2</sub>	
	µg g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg C g <sup>-1</sup> solo seco	µg C g <sup>-1</sup>	µg C g <sup>-1</sup>	µg C g <sup>-1</sup>	µg C-CO <sub>2</sub>	µg C-CO <sub>2</sub>
<b>Inóculo</b>														
<b>(Inoc)</b>														
<b>Com Inoc</b>	9,33	11,50a	8,77	8,57a	8,77	8,57a	8,57a	8,57a	18,56a	0,34a	0,34a	0,34a	0,46b	0,46b
<b>Sem Inoc</b>	9,04	8,80b	8,32	6,85b	8,32	6,85b	6,85b	6,85b	10,75b	0,19b	0,19b	0,19b	0,64a	0,64a
<b>Hidrogel</b>														
<b>(Hidr)</b>														
<b>Com Hidr</b>	9,05	9,90	8,34	7,62	8,34	7,62	7,62	7,62	15,21a	0,28a	0,28a	0,28a	0,52b	0,52b
<b>Sem Hidr</b>	9,32	10,31	8,74	7,80	8,74	7,80	7,80	7,80	14,09b	0,26b	0,26b	0,26b	0,58a	0,58a
<b>Macrófitas</b>														
<b>(M)</b>														
<b>Cinza(C)</b>	7,71c	9,08b	8,28b	6,39b	8,28b	6,39b	6,39b	6,39b	12,81b	0,24b	0,24b	0,24b	0,51b	0,51b
<b>M+C</b>	11,96a	11,91a	10,81a	9,64a	10,81a	9,64a	9,64a	9,64a	17,06a	0,30a	0,30a	0,30a	0,62a	0,62a
<b>Controle</b>	6,56d	7,96c	6,19c	5,76c	6,19c	5,76c	5,76c	5,76c	11,81b	0,22b	0,22b	0,22b	0,51b	0,51b
<b>Valor de F</b>														
<b>Inoc</b>	0,96 <sup>ns</sup>	93,86 <sup>**</sup>	3,33 <sup>ns</sup>	111,54 <sup>**</sup>	3,33 <sup>ns</sup>	111,54 <sup>**</sup>	111,54 <sup>**</sup>	111,54 <sup>**</sup>	633,9 <sup>**</sup>	361,29 <sup>**</sup>	361,29 <sup>**</sup>	361,29 <sup>**</sup>	169,65 <sup>**</sup>	169,65 <sup>**</sup>
<b>Hidr</b>	0,82 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	13,14 <sup>**</sup>	4,79 <sup>*</sup>	4,79 <sup>*</sup>	4,79 <sup>*</sup>	16,34 <sup>**</sup>	16,34 <sup>**</sup>
<b>Res</b>	74,43 <sup>**</sup>	49,28 <sup>**</sup>	60,48 <sup>**</sup>	137,01 <sup>**</sup>	60,48 <sup>**</sup>	137,01 <sup>**</sup>	137,01 <sup>**</sup>	137,01 <sup>**</sup>	77,83 <sup>**</sup>	28,58 <sup>**</sup>	28,58 <sup>**</sup>	28,58 <sup>**</sup>	12,57 <sup>**</sup>	12,57 <sup>**</sup>
<b>F</b>														
<b>Inoc x Hidr</b>	3,67 <sup>ns</sup>	3,25 <sup>ns</sup>	9,47 <sup>**</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	9,47 <sup>**</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
<b>Inoc x Res</b>	11,33 <sup>**</sup>	10,98 <sup>**</sup>	9,34 <sup>**</sup>	11,09 <sup>**</sup>	9,34 <sup>**</sup>	11,09 <sup>**</sup>	11,09 <sup>**</sup>	11,09 <sup>**</sup>	26,87 <sup>**</sup>	12,50 <sup>**</sup>	12,50 <sup>**</sup>	12,50 <sup>**</sup>	11,86 <sup>**</sup>	11,86 <sup>**</sup>
<b>Hidr x Res</b>	0,69 <sup>ns</sup>	1,72 <sup>ns</sup>	2,55 <sup>ns</sup>	5,350 <sup>**</sup>	2,55 <sup>ns</sup>	5,350 <sup>**</sup>	5,350 <sup>**</sup>	5,350 <sup>**</sup>	5,41 <sup>**</sup>	2,79 <sup>*</sup>	2,79 <sup>*</sup>	2,79 <sup>*</sup>	5,02 <sup>**</sup>	5,02 <sup>**</sup>
<b>CV (%)</b>														
	12,52	10,89	11,44	8,49	11,44	8,49	8,49	8,49	8,47	11,74	11,74	11,74	10,09	10,09

Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>\*\*</sup> e <sup>ns</sup> : significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup> : não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor

Tabela 10. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), aplicação de hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para respirometria (C-CO<sub>2</sub> liberado), em solo degradado cultivado com pinhão-mansão, aos 30, 120, 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/2011.

----- Respirometria (µg CO <sub>2</sub> g solo seco dia <sup>-1</sup> ) -----				
Tratamentos	Macrófitas (M)	Cinza (C)	M + C	Controle
----- 30 dias -----				
Com Inoc	10,02aB	6,86bC	12,66aA	7,76aC
Sem Inoc	10,99aA	8,57aB	11,26bA	5,36bC
----- 120 dias -----				
Com Inoc	12,10aA	10,06aB	13,21aA	10,57aB
Sem Inoc	11,00bA	8,09bB	10,62bA	5,34bC
----- 360 dias -----				
Com Inoc	10,37aA	6,58aB	10,92aA	6,42aB
Sem Inoc	7,72bA	6,21aB	8,35bA	5,10bC
Com Hidr	8,51bB	6,15aC	9,73aA	6,09aC
Sem Hidr	9,58aA	6,64aB	9,55aA	5,44aC
----- 240 dias -----				
Com Inoc	8,46aB	7,87aBC	11,59aA	7,14aC
Sem Inoc	9,32aAB	8,70aB	10,03bA	5,24bC
	<b>Com Inoc</b>	<b>Sem Inoc</b>		
Com Hidr	8,94aA	7,74bB		
Sem Hidr	8,59aA	8,90aA		

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor

No presente trabalho observou-se que os tratamentos com resíduos, associados à inoculação ou não, obtiveram maiores valores da atividade microbiana, avaliada pelo C-CO<sub>2</sub> liberado, em razão da deposição dos resíduos favorecerem a maior quantidade de água retida no solo e ser fonte de nutrientes, estimulando a manutenção da microbiota do solo.

A alta atividade da biomassa microbiana do solo pode significar rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas (TU; RISTAINO; HU, 2006), ou pode ser indicativo de estresse sobre a biomassa, pois esta atua como agente da transformação bioquímica dos resíduos adicionados ao solo, e compostos orgânicos como reservatório de nutrientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Aos 360 DAP para a interação entre inoculação e resíduos (Tabela 11) os tratamentos de resíduos macrófitas+cinza e macrófitas na presença de inoculação proporcionaram maiores valores de CBM e  $q_{MIC}$ , enquanto que para  $q_{CO_2}$  as maiores médias foram observadas na ausência de inoculação. Os valores mais elevados, de acordo com Bardgett e Sagar (1994), é indicativo de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou distúrbio, indicando que os tratamentos na ausência de inoculação proporcionam

maiores perdas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, uma vez que o *qMIC* indica que o C está sendo mantido no solo.

Tabela 11. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc) de microrganismos e adição de hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente microbiano (*qMic*), quociente metabólico (*qCO*<sub>2</sub>) em solo degradado cultivado com pinhão-manso, aos 360 dias. Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos	Macrófitas (M)	Cinza (C)	M + C	Controle
----- <b>CBM</b> (ug C g <sup>-1</sup> solo seco) -----				
<b>Com Inoc</b>	20,62aA	15,25aB	23,25aA	15,12aB
<b>Sem Inoc</b>	13,25bA	10,39bB	10,87bB	8,50bC
<b>Com Hidr</b>	18,37aA	12,50aB	17,50aA	12,50aB
<b>Sem Hidr</b>	15,50bA	13,12aB	16,62aA	11,12bC
----- <b>qMic</b> (μg C g <sup>-1</sup> ) -----				
<b>Com Inoc</b>	0,39aA	0,29aB	0,41aA	0,29aB
<b>Sem Inoc</b>	0,23bA	0,19bB	0,18bB	0,16bB
<b>Com Hidr</b>	0,33aA	0,23aB	0,31aA	0,24aB
<b>Sem Hidr</b>	0,29bA	0,25aBC	0,29aA	0,21bC
----- <b>qCO<sub>2</sub></b> (μg C-CO <sub>2</sub> ) -----				
<b>Com Inoc</b>	0,51bA	0,43bB	0,47bAB	0,42bB
<b>Sem Inoc</b>	0,58aB	0,60aB	0,77aA	0,60aB
<b>Com Hidr</b>	0,47bB	0,51aB	0,60aA	0,50aB
<b>Sem Hidr</b>	0,62aA	0,52aB	0,64aA	0,52aB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Fonte: Dados do próprio autor

Na interação entre resíduo e hidrogel maiores valores de CBM e *qMIC* foram observados na presença de hidrogel apenas para o tratamento de macrófitas. Para *qCO*<sub>2</sub> foi observada diferença apenas no tratamento de macrófitas onde, na ausência de hidrogel, constatou-se maior média (Tabela 11).

Os valores elevados de CBM podem indicar maior reserva de energia e nutrientes, isto ocorre por que estes tratamentos são fonte de material orgânico e os micro-organismos participam da formação da biomassa do solo. Vários estudos estimam que o C alocado para os FMA variam de 5 a 20 % dos fotossintatos da planta hospedeira (DOUDS et al., 1988; JAKOBSEN; ROSENDAHL, 1990; PEARSON, ABBOTT , JASPER 1993), demonstrando a importância desses fungos e da simbiose micorrízica como via de entrada de C no solo. De acordo com Stenberg (1999), maior quantidade de carbono da biomassa microbiana reflete a presença de maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo, capaz de manter elevada taxa de decomposição de restos vegetais e, portanto, de reciclar mais nutrientes.

Iniciativas de manejo e recuperação do solo devem buscar situações que promovam menores  $q\text{CO}_2$ , pois nesses sistemas a biomassa está em equilíbrio, apresenta menores perdas de  $\text{CO}_2$  pela respiração e com isso maior incorporação de C à biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES, 1999).

#### **4.4 Nutrição, crescimento e produtividade do *Jatropha curcas* L.**

Avaliou-se o volume de planta, índice relativo de clorofila, fosfatase ácida, nitrogênio e fósforo foliar além da produtividade do pinhão-manso (Figura 5). Aos 30 DAP (Tabela 12) maiores valores de volume das plantas foram detectados no tratamento sem inoculação e sem hidrogel.

Existem na literatura trabalhos que, como o presente, mostram a baixa resposta do desenvolvimento de plantas ao hidrogel, como afirma Vale et al. (2006) que, avaliando os efeitos do polímero hidrotentor Stockosorb® e da material orgânica sobre o pegamento e desenvolvimento inicial de mudas de cafeeiro, constataram que o uso deste, nas doses de três e seis gramas, misturado ao substrato da cova, não influenciou no desenvolvimento inicial da lavoura cafeeira. Da mesma forma Vallone et al. (2004), não encontraram benefícios no desenvolvimento de mudas de cafeeiro com a utilização do polímero hidrotentor, na dose fixa de  $10 \text{ kg m}^{-3}$  de substrato.

Marques e Bastos (2010) constataram que o uso do hidrogel Hydroplan proporcionou um melhor desenvolvimento das mudas de pimentão, pelo aumento da massa seca da parte aérea e de um maior número de folhas proporcionando uma muda de melhor qualidade com melhor aproveitamento da água de irrigação.

A inoculação influenciou positivamente o índice relativo de clorofila (IRC) ao longo do período experimental, que apresentou as maiores médias na presença de inóculo (Tabela 12). Colla et al. (2008) relatam que plantas micorrizadas, crescendo sob condições de estresse, apresentaram folhas mais verdes, sugerindo que o estresse interfere na síntese de clorofila, porém a inoculação favorece a planta, contribuindo para melhorar o IRC, corroborando os dados deste trabalho. A inoculação micorrízica também aumenta a absorção de nutrientes, o que por sua vez contribui para incrementos no teor de clorofila e, conseqüentemente, melhora o desempenho geral das plantas micorrizadas sob condições de estresse (SHENG et al., 2008).

Tabela 12. Médias, valor de F e coeficientes de variação (CV%) volume de planta (VP) e índice relativo de clorofila (IRC) em pinhão-mansão cultivado em solo degradado, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos, de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 30, 120, 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos	-- 30 dias após plantio --		-- 120 dias após plantio --		-- 240 dias após plantio --		-- 360 dias após plantio --	
	VP (dm <sup>3</sup> )	IRC	VP (dm <sup>3</sup> )	IRC	VP (dm <sup>3</sup> )	IRC	VP (dm <sup>3</sup> )	IRC
<b>Inóculo</b>	0,130b	14,87a	52,30b	45,19a	58,53	32,17a	69,78b	46,36a
<b>(Inoc)</b>	0,165a	13,68b	80,20a	39,07b	82,22	29,00b	82,83a	40,27b
<b>Hidrogel</b>	0,141b	13,27	65,10	42,75a	69,02	44,12a	67,07	44,14a
<b>(Hidr)</b>	0,155a	13,41	68,06	41,51b	71,73	42,63b	85,54	42,49b
<b>Macrófitas(M)</b>	0,133a	15,47a	118,66a	46,85a	124,03a	48,96a	122,61a	48,58a
<b>Resíduos</b>	0,143a	13,63b	14,59b	39,56b	19,44b	39,78b	35,94b	39,52b
<b>(Res)</b>	0,155a	15,28a	126,06a	46,91a	131,24a	49,07a	126,06a	49,50a
<b>Controle</b>	0,153a	12,97b	6,87b	35,21c	7,00b	35,69c	20,62b	35,67c
<b>Inoc</b>	21,02 <sup>**</sup>	28,61 <sup>**</sup>	5,39 <sup>*</sup>	114,04 <sup>**</sup>	3,51 <sup>ns</sup>	136,29 <sup>**</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	144,00 <sup>**</sup>
<b>Hidr</b>	4,05 <sup>*</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	4,72 <sup>*</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	9,90 <sup>**</sup>	1,97 <sup>ns</sup>	10,56 <sup>**</sup>
<b>Res</b>	2,83 <sup>*</sup>	38,62 <sup>**</sup>	27,52 <sup>**</sup>	101,36 <sup>**</sup>	27,81 <sup>**</sup>	202,98 <sup>**</sup>	18,00 <sup>**</sup>	179,67 <sup>**</sup>
<b>F</b>	0,66 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>ns</sup>	1,88 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>
<b>Inoc x Hidr</b>	2,44 <sup>ns</sup>	2,01 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	27,89 <sup>**</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	52,86 <sup>**</sup>	4,43 <sup>**</sup>	47,64 <sup>**</sup>
<b>Inoc x Res</b>	0,12 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	7,90 <sup>**</sup>	2,02 <sup>ns</sup>	12,24 <sup>**</sup>	1,87 <sup>ns</sup>	8,81 <sup>**</sup>
<b>Hidr x Res</b>	19,63	5,51	73	5,43	71,55	4,35	68,70	4,68

Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> : significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup> : não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor

A aplicação de hidrogel favoreceu o incremento nos valores de IRC, a partir dos 120 DAP, especialmente nos tratamentos com macrófitas e macrófitas+cinza onde foram constatadas as maiores médias de IRC ao longo dos 360 DAP (Tabela 12), destacando a importância da umidade e da adição de nutrientes para melhorar o IRC, fato também relatado por Sheng et al. (2008).

Para interação inóculo e resíduo, a partir dos 120 DAP, favoreceram as maiores médias de IRC (Tabela 13), que ocorreram no tratamento macrófitas+cinza na presença de inoculação, seguido do tratamento macrófitas, não influenciado pela inoculação. O efeito da aplicação do hidrogel, em combinação com os resíduos, passa a ser observado a partir dos 120 DAP, com valores maiores na presença deste. Efeitos positivos do hidrogel foram predominantes quando aplicado associado aos tratamentos macrófitas e macrófitas+cinza. Em linhas gerais a aplicação do hidrogel associada à aplicação de macrófitas produz maior IRC nas condições estudadas.

O volume de plantas (VP) não foi influenciado pela aplicação de hidrogel, ao longo dos 360 DAP, sendo os maiores valores exibidos na ausência de inoculação. O VP respondeu positivamente à adição de macrófitas e macrófitas+cinza, a partir dos 120 DAP. Tais resultados se justificam pela imobilização de nutrientes promovida pelos micro-organismos, em condição de estresse, como também relata Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008).

A interação inoculação e resíduo apresenta resultados significativos apenas aos 360 DAP, reafirmando a importância da presença dos resíduos para o aumento VP, destacando-se na ausência de inoculação (Tabela 13).

Os menores valores da atividade da fosfatase ácida foram encontrados nos tratamentos que receberam inoculação e nos tratamentos com adição de macrófitas e macrófitas+cinza (Tabela 14). Estes resíduos fornecem nutrientes e matéria orgânica ao solo, contribuindo com a retenção de água e, portanto, melhorando as condições do solo. A inoculação sugere, aos 360 DAP, que os micro-organismos adicionados contribuíram com o fornecimento de P, inicialmente imobilizado, mas posteriormente incorporado pelas plantas, o que pode ser corroborado pelos dados de produtividade.

A atividade da fosfatase ácida é considerada um indicador do estado nutricional das plantas, pois sua atividade aumenta à medida que se eleva a deficiência desse nutriente (ASCENCIO, 1994). Sabe-se que a atividade desta enzima aumenta na planta quando cultivada em ambiente com baixas concentrações de fósforo, ou quando a planta não consegue explorar o P disponível na solução do solo. Considerando que quanto

menor o teor de P inorgânico no tecido foliar maior a atividade de fosfatase, isto mostra a carência deste nutriente nas plantas. Neste sentido, os tratamentos com inoculação, macrófitas e macrófitas+cinza proporcionaram melhor condição nutricional às plantas de pinhão-mansó (Tabela 14).

Tabela 13. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para índice relativo de clorofila, índice relativo de clorofila, (IRC) em pinhão-mansó cultivado em solo degradado aos 120, 240 e 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11

Tratamentos	Macrófitas (M)	Cinza(C)	M + C	Controle
	Índice relativo de clorofila (IRC)			
----- 120 dias -----				
Com Inoc	47,81aB	40,27aC	54,14aA	38,89aC
Sem Inoc	45,88aA	38,85aB	39,68bB	31,80bC
----- 240 dias -----				
Com Inoc	49,00aB	40,50aC	56,70aA	38,32aC
Sem Inoc	48,93aA	39,05aB	41,44bB	33,07bC
----- 360 dias -----				
Com Inoc	48,93aB	40,35aC	57,51aA	38,66aC
Sem Inoc	48,22aA	38,70aC	41,49bB	32,68bD
----- Volume de planta (dm <sup>3</sup> ) -----				
Com Inoc	92,26bA	54,48aA	95,41bA	36,92aA
Sem Inoc	152,95aA	17,39aB	156,72aA	4,48aB
----- Índice relativo de clorofila, (IRC) -----				
----- 120 dias -----				
Com Hidr	47,90aA	38,11aB	47,35aA	37,63aB
Sem Hidr	45,79aA	41,01bB	46,45aA	32,79bC
----- 240 dias -----				
Com Hidr	50,23aA	38,33bB	49,72aA	38,20aB
Sem Hidr	47,69bA	41,22aB	48,43aA	33,19bC
----- 360 dias -----				
Com Hidr	49,96aA	38,44bB	50,01aA	38,16aB
Sem Hidr	47,19bA	40,61aB	48,99aA	33,19bC

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor

As maiores médias da atividade fosfatase ácida nas folhas de pinhão-mansó aos 360 DAP (Tabela 14) foram detectadas na ausência de inoculação, na presença de cinza e no controle, tratamentos com menores teores de P no solo (Tabela 2), reafirmando as observações feitas por Ascencio (1994).



Tabela 14. Médias, valor de F e coeficientes de variação (CV%) para produção, fosfatase, nitrogênio (N) e fósforo (P) foliar em pinhão-mansão cultivado em solo degradado, para os tratamentos de inoculação de micro-organismos, de hidrogel e de resíduos (orgânico e inorgânico) em cova, aos 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11.

Tratamentos		Fosfatase	Produtividade	N	P
		(mg p-NPP g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )
<b>Inóculo</b> <b>(Inoc)</b>	<b>Com Inoc</b>	5,52b	3,37a	23,30	1,57
	<b>Sem Inoc</b>	8,20a	2,96b	23,88	1,56
<b>Hidrogel</b> <b>(Hidr)</b>	<b>Com Hidr</b>	6,96	3,41a	23,53	1,55
	<b>Sem Hidr</b>	7,00	2,94b	23,65	1,58
<b>Resíduos</b> <b>(Res)</b>	<b>Macrófitas(M)</b>	6,02b	4,60b	24,07a	1,70a
	<b>Cinza(C)</b>	7,98a	1,37c	22,65b	1,48b
	<b>M+C</b>	5,70b	5,36a	25,26a	1,70a
	<b>Controle</b>	8,00a	1,38c	22,38b	1,37b
<b>Valor de</b> <b>F</b>	<b>Inoc</b>	396,50 <sup>**</sup>	13,89 <sup>**</sup>	2,38 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
	<b>Hidr</b>	0,54 <sup>ns</sup>	20,94 <sup>**</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>
	<b>Res</b>	88,78 <sup>**</sup>	421,50 <sup>**</sup>	12,82 <sup>**</sup>	22,61 <sup>**</sup>
	<b>Inoc x Hidr</b>	0,00 <sup>ns</sup>	6,50 <sup>*</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
	<b>Inoc x Res</b>	1,79 <sup>ns</sup>	10,91 <sup>**</sup>	4,41 <sup>**</sup>	2,74 <sup>*</sup>
	<b>Hidr x Res</b>	2,29 <sup>ns</sup>	21,44 <sup>**</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>
<b>CV(%)</b>		7,50	12,87	6,33	8,84

Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>\*\*</sup>e <sup>\*</sup>: significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor

Scabora, Maltoni e Cassiolato (2010) relataram que os teores de fosfatase ácida, para a espécie *Croton floribundus* Spreng, exibiram diferenças significativas entre os tratamentos com e sem inoculação, com os menores valores para o tratamento inoculado. Tristão et al. (2006), estudando cafeeiro sob influência de fungos micorrízicos em diferentes substratos, verificaram que as plantas inoculadas e cultivadas em diferentes substratos orgânicos exibiram a atividade desta enzima diminuída em cerca de 40%, comparadas às não micorrizadas.

A produtividade do pinhão-mansão (Tabelas 14 e 15), avaliada 360 DAP, isto é, ao final em seu primeiro ano, foi considerada muito baixa (1,37 a 5,36 kg ha<sup>-1</sup>) comparada com área de produção comercial de pinhão-mansão. De acordo com Cáceres, Portas e Abramides (2007), embora nos primeiros anos de crescimento a produtividade seja pequena, com aumento ao longo de sucessivas safras até sua estabilização, que ocorre entre os 5 e 6 anos de idade, a produção média esperada fica entre 6 e 7 ton ha<sup>-1</sup>.

Tabela 15. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos de inoculação (Inoc), hidrogel (Hidr) e resíduos (orgânico e inorgânico) para volume de planta, produção, nitrogênio e fósforo foliar em pinhão-mansão cultivado em solo degradado aos 360 dias após plantio. Ilha Solteira, 2010/11

Tratamentos	Macrófitas (M)	Cinza(C)	M + C	Controle
----- Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) -----				
Com Hidr	5,30aA	1,53aB	4,96bA	1,85aB
Sem Hidr	3,90bB	1,21aC	5,75aA	0,91bC
----- Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) -----				
--				
Com Inoc	5,20aA	1,20aB	5,38aA	1,69aB
Sem Inoc	4,00bB	1,55aC	5,33aA	1,07bC
----- N foliar (g kg <sup>-1</sup> ) -----				
Com Inoc	23,69aB	22,44aB	25,87aA	22,13aB
Sem Inoc	24,45aA	22,87aA	24,64aA	22,63aB
----- P foliar (g kg <sup>-1</sup> ) -----				
Com Inoc	1,73aA	1,40bB	1,70aA	1,42aB
Sem Inoc	1,67bA	1,56aA	1,70aA	1,32aB
-----				
	Com Hidr	Sem Hidr		
----- Produção (kg ha <sup>-1</sup> ) -----				
Com Inoc	3,47aA	3,26aA		
Sem Inoc	3,35aA	2,62bB		

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor

Horschutz et al. (2012) observou produtividade do pinhão manso da ordem de 1.808,44 kg ha<sup>-1</sup> no espaçamento de 2 x 4, em sequeiro, enquanto Arruda et al. (2004) obteve produtividade para pinhão-mansão entre 6.373 e 6.468 kg ha<sup>-1</sup> já no primeiro ciclo de colheita. Nunes et al. (2008) relata, para o primeiro ano de cultivo no oeste da Bahia, a obtenção de produtividade em torno de 713,82 kg ha<sup>-1</sup>.

Distante destes achados, a produtividade média relatada por Duarte (2009) que, estudando o efeito da densidade e época do ano sobre a produtividade de pinhão-mansão, para uma densidade de 2000 plantas ha<sup>-1</sup>, foi de 61,54 e 251,42 kg ha<sup>-1</sup> de frutos aos 395 e 449 DAP, respectivamente e, para uma população de 1500 plantas, a produtividade média foi de 50,14 kg ha<sup>-1</sup> aos 416 DAS. Estes valores são elevados se comparados aos 1,37 a 5,36 kg ha<sup>-1</sup> obtidos no presente trabalho, que se justificam pelas condições do subsolo onde foi introduzida a cultura, que apresenta baixa fertilidade.

A avaliação da área experimental permite destacar como positiva a inoculação, a aplicação de hidrogel e adição de resíduos, principalmente o tratamento macrófitas e macrófitas+cinza (Tabela 14). O desdobramento da interação inoculação e resíduos

mostra o efeito positivo da inoculação, quando se utilizou macrófitas como resíduo combinado ou não a cinza, enquanto o tratamento cinza tenha apresentado os menores valores de produtividade do pinhão-mansão (Tabela 15).

Na presença de inoculação e macrófitas, a maior produtividade do pinhão-mansão pode estar relacionada à maior retenção de umidade, característica do resíduo utilizado, bem como ao fornecimento de nutrientes, justificando o comportamento observado. A produtividade do pinhão-mansão, embora baixa ( $3,47 \text{ kg ha}^{-1}$ ), foi maior na presença de inoculação e hidrogel (Tabela 15), indicando a importância da presença da umidade no sistema, garantida pela adição de hidrogel. A combinação de hidrogel e resíduos reafirmam as observações feitas, sobre os efeitos positivos da aplicação de macrófitas na produtividade do pinhão-mansão, com destaque para o tratamento macrófitas na presença do hidrogel.

Como o pinhão-mansão seja é considerada uma cultura rústica e adaptada às mais diversas condições edafoclimáticas, esperava-se que encontrasse condições mínimas para sobreviver em solos de baixa fertilidade (ARRUDA et al., 2004). No entanto, para obter alta produtividade da planta, de acordo com Oliveira et al. (2012), é necessário água e solos férteis, além de boas condições físicas. Logo, a irrigação e a correção da acidez e fertilidade do solo são fatores decisivos para se conseguir lucratividade com a cultura, justificando os melhores resultados da produtividade observados neste trabalho, na presença de macrófitas e hidrogel.

Apesar de muito baixa, a produtividade mostra incremento significativo entre o tratamento controle ( $0,91-1,85 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e os tratamentos macrófitas ( $3,9-5,3 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e macrófitas+cinza ( $4,96 - 5,75 \text{ kg ha}^{-1}$ ) reafirmando a importância da macrófitas, o que está relacionado à melhoria da fertilidade do solo, nestes tratamentos (Tabelas 1 e 2), o que é corroborado por Oliveira et al. (2012) ao afirmar a importância da fertilidade para a produtividade do pinhão-mansão.

A avaliação direta do estado nutricional das plantas é importante para elucidar situações que não podem ser esclarecidas apenas com a caracterização química do solo (RAIJ, 2011). A análise foliar de N e P do pinhão-mansão mostra que tanto N quanto P foliar foram influenciados pela aplicação de resíduos ao solo, com destaque para os tratamentos macrófitas e macrófitas+cinza, que apresentam interações positivas com a aplicação de inoculo para N, apenas no tratamento macrófitas+cinza, enquanto que para o P isto ocorre no tratamento macrófitas. Para os dois elementos os incrementos, embora estatisticamente significativos, foram muito baixos (Tabelas 14 e 15).

Os teores de N foliar obtidos para o pinhão-mansão aos 360 DAP (22,38 a 25,26 g kg<sup>-1</sup>) foram inferiores aos observados em mudas de pinhão em experimento conduzido em casa de vegetação por Schiavo (2010), que relatou efeito positivo quando da inoculação com *Glomus clarum* e adição de 0 e 60 t ha<sup>-1</sup> de composto comercial.

Os maiores teores de N foliar observado quando da adição de resíduos, podem afirmar que a associação adição de macrófitas e macrófitas+cinza favoreceu a nutrição do pinhão-mansão (Tabela 15). Este é um macronutriente, essencial à planta, especialmente para as que apresentam alta taxa de crescimento, visto que o N é essencial para assimilação do C e formação de novos órgãos na planta (TAIZ; ZEIGER, 2006).

Apesar de estar entre o quarto e o quinto nutriente mais requerido pela cultura do pinhão-mansão, de acordo com Laviola e Dias (2008), o N é limitante na fase inicial de crescimento da cultura. No entanto, o P que pode ter resultado na baixa produtividade das plantas, devido aos baixos teores no solo (Tabelas 1 e 2). Os micro-organismos desempenham funções primordiais no aumento da disponibilidade de P do solo para as plantas, por meio de diferentes mecanismos, dentre os quais se destacam a extensão dos sistemas radiculares pelas associações com os fungos micorrízicos, solubilização e a mineralização microbiana do P por algumas bactérias e fungos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). No entanto, em substrato tão pobre, como o do presente estudado, a inoculação não produziu os efeitos esperados (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

Schiavo (2010) observou diferenças para P na dose 120 t ha<sup>-1</sup> e com maior teor de P na presença de *G. clarum*, teores de P superiores aos obtidos neste trabalho, o que contribui para justificar a baixa produtividade obtida.

## 5 CONCLUSÕES

A inoculação de microrganismos, por meio de solo-inóculo, favoreceu a redução da fosfatase ácida e o aumento da produtividade do pinhão-mano, o aumento no número de esporos e colonização radicular, do carbono da biomassa e do quociente microbiano;

A associação de hidrogel com macrófitas+cinza proporcionou maior atividade respiratória, porcentagem de colonização e índice relativo de clorofila, enquanto a produtividade foi favorecida pela adição de macrófitas+cinza;

A adição de macrófitas+cinza ou apenas macrófitas proporcionou melhoras nas condições de cultivo, com efeitos positivos sobre a fertilidade do solo, no desenvolvimento da planta (índice relativo de clorofila, volume de plantas, fosfatase, N e P foliar), na atividade microbiana (respirometria, carbono da biomassa e quociente microbiano) e na simbiose micorrízica arbuscular (número de esporos e porcentagem de colonização).

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.; SANTANATOGLIA, O. J.; GARCIA, R. Effect of temperature on soil microbial biomass and its metabolic quotient in situ under different tillage systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, n. 2-3, p. 227- 230, 1995.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 1, n. 2, p. 81-89, 1985.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.
- ANJOS, J. B.; SILVA, M. S. L.; LOPES, P. R. C. **Efeito da adição de hidrorretentores de água em argissolo amarelo eutrófico**. Fortaleza: [s. n.], 2001. Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.rg.com.br/3simposio/pdf/011-2001.pdf>> Acesso em: 20 maio 2009.
- ANTUNES, R. F. D. **Efeitos da adição da biomassa seca de *Eichhornia crassipes* sobre algumas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado**. Jaboticabal, 2004. 45 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 66-75, 2007.
- ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, Australia, v. 25, p. 1553-1564, 1994.
- ASSAD, M. L. R. C. L. Recursos biológicos: ocorrência e variabilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 8., Planaltina, 1996. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 20-24.
- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o Semi-Árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, p. 789-799, 2004.
- AZEVEDO, T. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A. Níveis de polímero superabsorvente, frequência de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 24, p. 1239-1243, 2002.
- BÁEZ-PEREZ, A.; GONZALES-CHAVES, A.; ETCHEVERS-BARRA, J. D., PRAT, C.; HIDALGO-MORENO, C. Glomanina y secuestro de carbono em tepetates cultivados. **Agrociência**, Chapingo, v. 44, n. 5, p. 517-529, 2010.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 641-649, 1998.

BARDGETT, R. D.; SAGGAR, S. Effect of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled ( $^{14}\text{C}$ ) in a pasture soil. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 26, p. 727-733, 1994.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. III. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-85.

BESFORD, R. T. A rapid tissue test for diagnosing phosphorus deficiency in the tomato plant. **Annals of Botany**, Oxford, v. 45, p. 225-227, 1980.

BHERING, L. L.; LAVIOLA, B. G.; SALGADO, C. C.; SANCHEZ, C. F. B.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A. Genetic gains in physic nut using selection indexes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 3, p. 402-408, 2012.

BORIE, F.; RUBIO, R.; MORALES, A. Arbuscular mycorrhizal and soil aggregation. **Journal Soil Science and Plant Nutrition**, Germany, v. 8, p. 9-8, 2008.

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JÚNIOR, R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo do solo. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Leste. **Anais...** Punta del Leste: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006. v. 1. p. 1-9.

BRUMMER, E. C. Diversity, stability and sustainable American agriculture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 1-2, 1998.

BUZETTO, F. A.; BIZON, J. M. C.; SEIXAS, F. **Avaliação de polímero adsorvente à base de acrilamida no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* em pós-plantio**. Piracicaba: IPEF, 2002. 5 p. (Circular Técnica, n. 195)

CÁCERES, D. R.; PORTAS, A. A.; ABRAMIDES, J. E. **Pinhão-manso**. [S. l.: s. n.], 2007. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_3/](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/)>. Acesso em: 09 out. 2008.

CALGARO, H. F.; VALÉRIO FILHO, W. V.; AQUINO, S. S.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 337-1347, 2008.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; BERTON, R. S.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; MENK, J. R. F. **Alterações de características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro pela aplicação de vinhaça**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1987. 23 p. (IAC. Boletim Científico, 9)

CAMBUIM, F. A.; CORDEIRO, D. A. Ação de vinhaça sobre pH, acidez total e acumulação de nutrientes, em solo arenoso. **STAB**, Piracicaba, v. 4, p. 23-30, 1986.

CANTLIFFE, D. J. Challenges facing horticulture in a changing world presidential address. **Hort Science**, Alexandria, v. 30, p. 1139-1340, 1995.

CARVALHO, A. M. X. **Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2008. 51f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 133-142, 1990.

COELHO, J. B. M; BARROS, M. F. C.; CORREA, M. M; WANDERLEY, R. A; COELHO JÚNIOR, J. M.; FIGUEREDO, J. L. C. Efeito do polímero hidratassolo sobre propriedades físico-hídricas de três solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 3, p. 253-259, 2008.

COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; TULLIO, M.; RIVERA, C.M.; REA, E. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. **Biology and Fertility Soils**, Florence, v.44,501-509, 2008.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO - CESP. **Ilha Solteira**: a cidade e a usina. São Paulo: CESP, 1988. 93 p.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília: Embrapa-SCT, 2005. p. 17-28.

DIAS, L. A.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PERIERA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; DIAS, D. C. A. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L) para produção de óleo combustível**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 40 p.

DOUDS, D.D., JOHNSON, C.R., KOCH, K.E. Carbon cost of the fungal symbiont relative to net leaf P accumulation in a split-root VA mycorrhizal symbiosis. **Plant Physiology**, Rockville, 86, 491-496, 1988.

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 765-771, 1980.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. v. 35, p. 1-20.

DUARTE, J. C. B.; NIED A. H.; M.; VENDRUSCOLO. C; PEREIRA; MENIN, L.F. Estudo da produtividade do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes densidades e época do ano em tangará da SERRA-MT. In: JORNADA CIENTIFICA DA UNEMAT, 2., 2009, Barra do Bugres. **Anais...** Barra dos Bugres: UNEMAT, 2009.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 2006. 412 p.

FREITAS, E. S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos Goytacazes para uso na construção civil**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado EM Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2005.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F. A. O (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistema tropicais e subtropicais**. Seropédica: UFRRJ, 1999. 108p.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metropolis, 2008. 654 p.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of British Mycological Society**, Cambridge, v. 46, p. 234-244, 1963.

GONZÁLES-CHAVEZ, M. C. A; GUTIÉRREZ-CASTORENA, M. C.; WRIGHT, S. Hongos micorrízicos en la agregación del suelo y su estabilidad. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 22, n. 4, p. 507-514, 2004.

HORSCHUTZ, A C. O.; TEIXEIRA, M. B.; ALVES, J. M.; SILVA, F. G.; SILVA, N. F. Crescimento e produtividade do pinhão-mansão em função do espaçamento e irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p.1093–1099, 2012.

HOWELER, R. H.; SIEVERDING, E.; SAIF, S. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 100, p. 249-283, 1987.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, Oxford, v.15, p.177-188, 1988.

INSAM, H.; MITCHELL, C. C.; DORMAAR, J. F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, p. 459-464, 1991.

JAKOBSEN, L., ROSENDAHL.L. Carbon inflow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. **New Phytologist**, United Kingdom, 115: 77-83. 1990.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 73, p. 288-300, 1964.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. M. **Microbial biomass in soil: measurement and turnover**. In: Paul, E. A.; Ladd, J. N. (ed.) *Soil biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1981. p.415-571.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 42, p. 1-13, 2010.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 405-416, 2008.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1969-1975, 2008.

LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT, J. C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão-manso na fase jovem. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 371-379.

LUNDEGARDH, H. Carbon dioxide evolution of soil in crop growth. **Soil Science**, Madison, v. 23, p. 417-453, 1927.

LUTZENBERGER, J. **Ecologia**: do jardim ao poder. [S. l.: s. n.], 1985. Disponível em: <<http://www.fgaia.org.br/texts/t-aguape.html>>. Acesso em: 20 out. 2008.

MACEDO, R. R. **Efeito de incorporação de biomassa seca de *Brachiaria arrecta*, *Egeria densa* e *Sagittaria montevidensis* sobre propriedades de um solo sob pastagem degradada**. 2004. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

MANHÃES, M. S. Adubação, correção do solo e uso de resíduos da agroindústria. In: \_\_\_\_\_. **Tecnologia canavieira nas regiões Norte Fluminense e Sul do Espírito Santo**. Campos dos Goytacazes: UFRJ, 1999. p. 24-31. (Boletim Técnico, n.12).

MARQUES, P. A. A.; BASTOS, R. O. Uso de diferentes doses de hidrogel para produção de mudas de pimentão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.3 n.2, 2010.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R.; VELINI, E. D. Caracterização química das plantas aquáticas coletadas no reservatório de Salto Grande (Americana - SP). **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, p. 21-25, 2003.

MARX, D. H.; BERRY, C. R.; KORMANIK, P. P. Application of municipal sewage sludge in forest and degraded land. In: SYMPOSIUM SPONSORED BY DIVISIONS S-6 AND S-7 OF THE SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA AND A-5 OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, 1993, Cincinnati, Ohio. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1995. p. 275-295. (ASA special publication, 58).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 55-114.

MENDES, I. de C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F. B. dos; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 31 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 246).

MERENDA, A. M. C. M. P. **Avaliação da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de aimorés, composição química das principais espécies e influência da incorporação nas características químicas de um solo degradado.** 2011. 86 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N.; VILELA, L.; VARGAS, M. A.; CARVALHO, A. M. **Manejo da micorriza arbuscular por meio da rotação de culturas nos sistemas agrícolas do cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. (Comunicado Técnico, n. 42).

MIYASAKA, S. C.; HABTE, M. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p. 1101-1147, 2001.

MODESTO, P. T.; SCABORA, M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1489-1498, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2 ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. p. 543-716.

MURPHY, K. J. Aquatic weed problems and their management: a review I. The worldwide scale of the aquatic weed problem. **Crop Protection**, Kidlington, v. 7, n. 4, p. 232-244, 1988.

NAKAGAWA, J. Compostagem: obtenção e uso. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO – PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, FCA, 1992. p. 159-187.

NADER NETO, A.; YAMAUCHI, A. K. F.; CRUZ, C.; PITELLI, R. A. Incorporação da biomassa seca de Pistia stratiotes E Eichhornia crassipes e a influencia sobre as propriedades químicas de solo degradado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS - CBCPD, 28., 2012, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBCPD, 2012. p. 1-5.

NUNES, C. F.; PASQUAL, M.; SANTOS, D. N. dos; CUSTÓDIO, T. N.; ARAÚJO, A. G. de. Diferentes suplementos no cultivo in vitro de embriões de pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 43, p. 9-14, 2008.

OLIVEIRA E. L.; FARIA, M. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; P. C. MELO. Resposta do pinhão-manso à aplicação de níveis de irrigação e doses de adubação potássica **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.593-598, 2012.

- PARAMATHMA, M.; UMA MAHESWARI, D.; PREMALATHA, M.; JUDE SUDHAGAR, R. Hybrid breeding in *Jatropha*. In: PARAMATHMA, M.; VENKATACHALAM, P.; SAMPATHRAJAN, A. ***Jatropha* improvement, management and production of biodiesel**. Coimbatore: Tamil Nadu Agricultural University, 2007. p. 41-46.
- PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature**, London, v. 6, p. 763-775, 2008.
- PARR, J. F.; PAPENDICK, S. B.; HORNICK, S. B.; MEYER, R. E. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, Cambridge, v. 7, p. 5-11, 1992.
- PAVAN, M. A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de ions no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 41, p. 8-12, 1997.
- PEARSON, N., ABBOTT, L.K., JASPER, D.A. Mediation of competition between two colonizing va mycorrhizal fungi by the host plant. **New Phytologist** 123: 93-98. 1993
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. **Transaction of British Mycology Society**, Cambridge, v. 55, p. 158-161, 1970.
- PITELLI, A. M. C. M. **Efeitos da incorporação de biomassa seca de *Egeria densa* e *Eichornia crassipes* sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas de um solo degradado**. 2003. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- PITELLI, R. L. C. M.; TOFFANELI, C. M.; VIEIRA, E. A.; PITELLI, R. A.; VELINI, E. D. Dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana, RJ. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 473-480, 2008.
- PURIN, S.; RILLIG, M. C. Immuno-cytolocalization of glomalin in the mycelium of arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **Soil Biology and Biochemistry**, Kidlington, v. 40, p. 1000–1003, 2007.
- POMPEO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 406-424, 2008.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, A. C.; MARTINS M. A. Fisiologia de micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. CARDOSO, E. J. B. N; MUI TSAI, S. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 73-80, 2007.

ROSADO, T. B.; LAVIOLA, G. B.; FARIA, D. A.; PAPPAS, M. R.; BHERING, L. L.; QUIRINO, B.; GRATAPAGLIA, D. Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germoplasm collection of the biofuel crop *Jatropha curcas* L. in Brazil. **Crop Science**, Madison, v. 50, p. 1-11, 2010.

SATO, M.; BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; FRIGO, E. P. A cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.): Uso para fins combustíveis e descrição agrônômica. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 7, p. 47-62, 2007.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, P. N. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.26, n.229, p.44-78, 2005.

SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento, fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas, em solo de cerrado degradado. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 445-451, 2010.

SCHIAVO, J. A.; SILVA, C. A.; ROSSET, J. S.; SECRETTI, M. L.; SOUSA, R. A. C.; CAPPI, N. Composto orgânico e inoculação micorrízica na produção de mudas de pinhão manso - **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 322-329, 2010.

SHENG, TANG M.; CHAN, H.; YANG, B.; ZHANG, F.; HUANG, Y. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. **Mycorrhiza**, v.18, 287-296.2008.

SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.

SMITH, S.E. e READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3.ed. London, Academic Press, 2008. 785p

SOUZA, F. A.; SILVA, E. M. R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras/DCS e DCF, 1996. p. 255-290.

SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In:



SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 133–153.

SOUZA, F. A.; SILVA, I. C. L.; BERBARA, R. L. L. Fungos micorrízicos arbusculares: muito mais diversos do que se imagina. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. p. 483-536.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, p. 195-207, 1992.

SPARLING, G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Ed.). **Biological indicators of soil health**. Cambridge: CAB International, 1997. p. 97-120.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, v.49, p.1-24,1999

STEWART, B. A.; ROBINSON, C. R. Are agroecosystems sustainable in semiarid regions? **Advances in Agronomy**, Newark, v. 60, p. 191-228, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Atmed, 2006.

TAPANES, N. O.; ARANDA, D. A. G.; CARNEIRO, J. W. M. **Transesterificação dos glicerídeos do óleo de *Jatropha curcas* L.:** estudo teórico. [S. l.: s. n.], 2007. Disponível em:< <http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/producao/Glice27.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2007.

THOMAS, D. S. Hydrogel applied to the root plug of subtropical eucalypt seedlings halves transplant death following planting. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p.1305-1314, 2008.

THOMAZ, S. N.; BINI, L. M.,**Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas** .Maringá : EDUEM, 341 p. 2003.

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L., SILVEIRA, A. P. D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 649-658, 2006.

TU, C.; RISTAINO, J. B.; HU, S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 247-255, 2006.

VALE, G. F. R.; CARVALHO, S. P.; PAIVA, L. C. Avaliação da eficiência de polímeros hidroretentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v.1, n.1 p.7-13. 2006.

VALENTE, J. P.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Contribuição da cidade de Botucatu-SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética. Química**, Araraquara, v. 22, p. 31-48, 1997.

VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S.; CARVALHO, J. de A.; FERREIRA, R. de S.; OLIVEIRA, S. de. Substituição do substrato comercial por casca de arroz carbonizada para produção de mudas de cafeeiro em tubetes na presença de polímero hidroretentor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 593-599, maio/jun.2004. Disponível em: <[http://www.editora.ufla.br/revista/28\\_3/art15.htm](http://www.editora.ufla.br/revista/28_3/art15.htm)>. Acesso em: 8 jul. 2010.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 773-777, 1987.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral em um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 35-42, 2000.

VELINI, E. D. Controle de plantas daninhas aquáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Palestras...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p.137-147.

VELINI, E. D. **Desenvolvimento de técnicas e equipamentos para o monitoramento e controle de plantas aquáticas**. 2005. 238 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

VLACH, T.R. **Creeping bentgrass responses to water absorbing polymers in simulated golf greens(on line) Wisconsin, Aug.** [S.l: s.n], 2011. Disponível em: <<http://archive.lib.msu.edu/tic/groot/article/1990jul34.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2011.

ZIBILISKE, L. M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMLEY, P. J. (Ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 10-35. (Special Publication, n. 5).

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 542 p. (EMBRAPA/ CNPAF. Documentos, n. 46).

WATSON, S.; McCAULEY, E.; DOWNING, J. A. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of different nutrient status. **Limnology and Oceanography**, Alberta, v. 42, p. 487-495, 1997.

WOFFORD JÚNIOR, D. J. **Worldwide research suggestions for cross-linked polyacrilamide in agriculture**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE FOR AGRICULTURAL RESEARCH ADMINISTRATORS. 1992, McLean, Virginia, U.S.A. Sedona: [s. n.], 1992. Disponível em: <<http://www.hydrosorce.com/clpbbs12.htm>>. Acesso em: 28 dez. 2007.