



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE
PLANTAS DE GIRASSOL *Helianthus annuus* L. E PINHÃO MANSO
Jatropha curcas L.

MARCOS ANTÔNIO MARQUES DE BRITO

CRUZ DAS ALMAS - BA
OUTUBRO 2010

**ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE
PLANTAS DE GIRASSOL *Helianthus annuus* L. E PINHÃO MANSO
Jatropha curcas L.**

MARCOS ANTÔNIO MARQUES DE BRITO

Biólogo

Universidade do Estado da Bahia, Campus VII, 2003.

Dissertação submetida ao Colegiado de curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração: Fitotecnia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. ANA CRISTINA FERMINO SOARES

Co-orientador: Prof. Dr. ANDRÉ DIAS DE AZEVEDO NETO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2010

B862 Brito, Marcos Antonio Marques de
Estreptomicetos promotores de crescimento de plantas de Girassol
(*Helianthus annuus* L.) e de Pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) / Marcos Antonio
Marques de Brito. - . Cruz das Almas, 2010.
74.; il.

Orientador: Ana Cristina Firmino Soares.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
Área de Concentração: Ciências Biológicas.

1. Plantas Oleaginosas – controle biológico. 2. Plantas Oleaginosas
crescimento – actinomicetos. 3. Pinhão – manso. 4. Girassol. I. Universidade
Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e
Biológicas. II. Título. III. Soares, Ana Cristina Firmino. IV. Programa de Pós-
Graduação em Ciências Agrárias e Biológicas.

CDD: 633.85

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO ALUNO
MARCOS ANTÔNIO MARQUES DE BRITO**

Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Fermino Soares
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
(Orientador)

Prof. Dr. Marlon da Silva Garrido
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Dr. Antônio Alberto Rocha Oliveira
Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Ciências Agrárias em

Conferindo o grau de Mestre em Ciências Agrárias em.....

DEDICO

Aos meus pais, Antonio Marques de Brito e Maria Florisvalda Marques de Brito, a minha esposa Patrícia Mariana Santana Leite, por todo carinho, compreensão, incentivo e amor incondicional.

OFEREÇO

Ao meu filho Mateus, a minha irmã Márcia, aos meus sobrinhos Antônio Benjamim, Bruno e Vitória, a minha vovó Ninha, a todos familiares e amigos, que fazem parte da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, por me dar força nos momentos difíceis, e por me conceder a sabedoria para chegar até aqui;

A minha família pelo apoio e incentivo, em especial, a minha esposa Patrícia Mariana Santana Leite, aos meus pais Antonio Marques de Brito e Maria Florisvalda Marques de Brito por estarem sempre ao meu lado me dando força e torcendo por mim;

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Baiano, Campus Senhor do Bonfim, pela oportunidade oferecida para a realização do Curso de Mestrado Minter, em especial o Diretor Geral Prof. João Luís Almeida Feitosa e aos demais Dirigentes e Colegas de trabalho do IF Baiano, que de alguma forma colaboraram com esta grandiosa conquista;

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Agrárias pela oportunidade e condições oferecidas durante a realização do curso de Mestrado Minter;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão do apoio financeiro e incentivo à pesquisa;

A Professora Dr^a. Ana Cristina Fermino Soares, pela oportunidade de fazer parte de seu grupo de pesquisa, orientação, ensinamentos em microbiologia, apoio, confiança, amizade, estímulo e sugestões que foram decisivos para a realização desta dissertação, como também pela excelente Coordenação do Curso de Mestrado Minter;

Ao Professor Dr. André Dias de Azevedo Neto, pelos ensinamentos em bioquímica, co-orientação, confiança, amizade e acompanhamento das atividades;

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias que participaram do Programa Minter, pelos conhecimentos transmitidos durante as

aulas e pela disponibilidade: Dr. Anacleto Ranulfo, Dr. Clóvis Peixoto, Dr. Elvis Vieira, Dr. Joelito Rezende, Dr. José Fernandes, Dr. Carlos Ledo, Dr. Manoel Teixeira e Dr. Washington Luiz;

A todos os colegas do Mestrado Minter, Alex, Cristina, Darlan, Denio, Josemar, Hugo, Luiz Henrique, João Mariano, Nelson, Telma, em especial aos grandes amigos Francisco Genésio Cunha Pereira e Adriana Conceição, companheiros de muitas lutas, caminhadas e vitórias, pelo apoio, incentivo e amizade;

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia Agrícola, em especial a Técnica de Laboratório Zozilene Nascimento S. Teles (Lene), aos Doutorandos (as): Jefferson de Sá, Augusto, Jurema, Darcilúcia e Rafael. Aos Mestrandos (as) Erasto e Josilda. Aos alunos de graduação especialmente à Márcia, Cristiano. Ao M.Sc. Nailson e à M.Sc. Carolina Yamamoto, à Dr^a. Carla Souza. Às mestrandas da UESC Eliane (Lica) e Cristiane. Agradeço a todos pela colaboração, apoio, incentivo e amizade;

Aos colegas do laboratório de Bioquímica: Danilo, Daniel, Pedro Paulo, Ana Carla, por toda a colaboração e amizade;

Aos colegas de física, manejo e química do solo: M.Sc. Erivaldo da Silva e M.Sc. José Renato e ao Mestrando José Augusto, e também à Romualdo (Lôla) pela amizade, apoio e incentivo;

Aos colegas de residência: Bruce Mota (Engenheiro Agrônomo), Elielson Almeida (graduando em Medicina Veterinária) e Ítalo de Santana (graduando em Engenharia de Pesca), pela boa convivência, colaboração, apoio e amizade.

Aos familiares, amigos e as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, os meus mais sinceros agradecimentos.

A TODOS UM MUITO OBRIGADO!!

SUMÁRIO

Página

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO1

Capítulo 1

ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE GIRASSOL
(*Helianthus annuus* L.) E PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.): CRESCIMENTO
DAS PLANTAS.....12

Capítulo 2

ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE GIRASSOL
(*Helianthus annuus* L.) E PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.): NUTRIÇÃO DAS
PLANTAS.....39

CONSIDERAÇÕES FINAIS 76

ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) E PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.)

Autor: Marcos Antônio Marques de Brito

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Fermino Soares

Co-orientador: Prof. Dr. André Dias de Azevedo

RESUMO: Os actinomicetos são bactérias Gram-positivas que desempenham importante papel no controle biológico e na promoção do crescimento das plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de treze isolados de actinomicetos do gênero *Streptomyces* na promoção de crescimento de plantas de girassol e do pinhão manso, oleaginosas com potencial para produção de biodiesel. Os isolados de estreptomicetos apresentaram capacidade de produção de enzimas extracelulares, como celulase (92%) e xilanase (77%), e também a produção de ácido indolacético (100%), mas não apresentaram capacidade de solubilização de fosfato *in vitro*. Em casa de vegetação, foram montados dois experimentos com dois solos com características químicas diferentes que foram infestados e incubados, por quarenta e cinco dias com os mesmos isolados de actinomicetos. No final desse período, fez-se a quantificação da população de actinomicetos e análise química do solo. Fez-se a semeadura e o cultivo de plantas de girassol e pinhão manso durante 60 dias, avaliando-se no final do cultivo, a altura das plantas, produção de matéria seca, teores e acúmulos de nitrogênio, fósforo e potássio. Os actinomicetos promoveram incrementos significativos na matéria seca das plantas de girassol e de pinhão manso de até 39% e 36%, respectivamente, quando cultivados em solo de área pastagem (SP), com baixo teor de nutrientes. No solo de área de jaqueira (SJ), mais rico em nutrientes e matéria orgânica, foram observados aumentos de até 36% para o girassol e 33% para o pinhão manso. Em relação ao acúmulo de nutrientes no limbo foliar e raiz de plantas de girassol cultivadas no solo SP, foram obtidos incrementos de até 50% para nitrogênio (N), 46% para fósforo (P) e 37% para potássio (K) no limbo foliar, e de 51% (N e P) e 43% (K) na raiz. Quanto às plantas de girassol cultivadas no SJ, com os isolados de estreptomicetos, foram observados incrementos de até 38% (N e P) e 27% (K) no limbo, e de até 42% (N), 44% (P) e 33% (K) na raiz. Em relação ao acúmulo de nutrientes no limbo foliar e na raiz de plantas de pinhão manso cultivadas em SP, foram obtidos incrementos de até 46% (N), 40% (P) e 36% (K) no limbo, como também 49% (N), 46% (P) e 39% (K) na raiz. Quando as plantas de pinhão manso foram cultivadas em SJ, verificaram-se incrementos em até 38% (N), 35% (P) e 27% (K) no limbo, como também 45% (N), 44% (P) e 36% (K) na raiz. Isolados selecionados de estreptomicetos incorporados ao solo, com incubação deste, promovem o crescimento e melhoria do estado nutricional de plantas de pinhão manso e girassol, independente das características químicas do solo.

Palavras chave: actinomicetos, oleaginosas, biodiesel.

STREPTOMYCETES AND GROWTH PROMOTERS OF SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) AND PHYSIC NUT (*Jatropha curcas* L.)

Author: Marcos Antônio Marques de Brito

Advisor: Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Fermino Soares

Co-advisor: Prof. Dr. André Dias de Azevedo

Abstract: Actinomycetes are Gram positive bacteria that have an important role in biological control and plant growth promotion. This work aimed to study the potential of thirteen streptomyces isolates in growth promotion of sunflower and physic nut oil plants, which are crops with great potential for biodiesel production. The streptomyces isolates presented the capacity for production of extracellular enzymes, such as cellulase, (92%) and xylanase (77%), and also the production of indol acetic acid (100%), but did not present the capacity for in vitro phosphate solubilization. Two experiments were carried out under green house conditions, with two soils with different chemical characteristics, which were inoculated with the streptomyces isolates and incubated for forty five days. Soil chemical analysis and quantification of actinomycete population were performed, and sunflower and physic nut were sown and cultivated for sixty days. Plant height, dry weight matter, and leaf and root contents of nitrogen, phosphorous and potassium were determined. The Streptomyces isolates promoted significant increase in plant dry weight matter of sunflower and physic nut, for up to 39% and 36% respectively, when planted in soil from pasture (SP) land, low in nutrients. In soil from an area with jackfruit (SJ), with higher nutrient and organic matter levels, inoculated with streptomyces isolates, increments of up to 36% and 33% were obtained for sunflower and physic nut plant dry matter, respectively. For nutrient accumulation in leaf and roots of sunflower plants cultivated in soil SP, streptomyces isolates promoted increments of 50% for nitrogen (N), 46% for phosphorus (P), and 37% for potassium (K) contents in leaves and of 51% of nitrogen and phosphorus content and 43% of potassium content in roots. Sunflower plants cultivated in soil SJ, also with streptomyces isolates increased nutrient leaf contents of 38% (N and P) and 27% (K), and also in root contents of 42% (N), 44% (P) and 33% (K). Nutrient contents in leaves and roots of physic nuts plants also increased in soil SP inoculated with streptomyces, with increments of up to 46 % (N), 40% (P) e 36% (K) in leaves, and 49% (N), 46% (P) and 39% (K) in roots. In soil SJ, increments in nutrient leaf contents of physic nut plants were up to 38% (N), 35% (P) and 27% (K), and in root contents were as high as 45% (N), 44% (P) and 36% (K). Selected isolates of streptomyces when incorporated to soil and incubated, promote growth and better nutrition of sunflower and physic nut plants, independent of soil chemical characteristics.

Keywords: actinomycetes, oilseed plants, biodiesel.

INTRODUÇÃO

O aumento das concentrações de gases de efeito estufa tem sido apontado como o principal agente de mudança nos processos dinâmicos da atmosfera, promovendo alterações climáticas com ameaças à humanidade (MONTEIRO, 2007). Esses fenômenos estão associados com a exploração, refino e uso do petróleo e seus derivados, que aliado à elevação dos preços desses produtos no mercado internacional, tem despertado o grande interesse mundial por fontes alternativas de energia, de menor custo, menos agressivas ao meio ambiente e não dependentes de reservas fósseis esgotáveis (RIBEIRO, et al., 2008).

A busca por fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis tem proporcionado o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de biocombustíveis para assim, diminuir a dependência das nações pelos combustíveis de origem fóssil. Em 2004, o Governo Federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB, com o objetivo de inserir o biodiesel na matriz energética brasileira de maneira sustentável, dando prioridade à agricultura familiar (GARCIA, 2007).

A preocupação crescente da sociedade com a preservação ambiental aliada à crescente demanda por matéria-prima para a produção do biodiesel aumenta a necessidade de pesquisas que visem à melhoria da produtividade de plantas oleaginosas aptas ao desenvolvimento das condições edafoclimáticas do semiárido e outras regiões no Brasil, com menor impacto ambiental. Neste sentido, a utilização de microrganismos benéficos à agricultura com ação de biocontrole e/ou promoção de crescimento vem sendo apontada como uma alternativa viável aos sistemas de produção agrícolas ecologicamente e economicamente sustentáveis.

Praticamente todas as espécies de plantas terrestres estudadas estabelecem relações complexas com uma grande variedade de microrganismos (BRUNDRETT, 2009). Alguns são conhecidos por promover o crescimento das plantas e aumentar a tolerância dos vegetais aos estresses bióticos e abióticos. Muitos microrganismos promotores de crescimento de plantas colonizam a rizosfera, região do solo influenciada pelas raízes (LUGTENBERG & KAMILAVA, 2009). Dentre os inúmeros grupos de microrganismos rizosféricos benéficos aos vegetais, os actinomicetos, principalmente os pertencentes ao gênero *Streptomyces*, compõem um importante grupo de bactérias de solo com a capacidade de colonização do sistema radicular,

adaptação a diferentes condições ambientais e de atuação na decomposição da matéria orgânica. Os estreptomicetos também são conhecidos por sua ação no controle de microrganismos fitopatogênicos e na promoção de crescimento de plantas.

Um dos objetivos da pesquisa agrícola nas últimas décadas vem sendo a busca por microrganismos benéficos ao crescimento vegetal e agentes de controle biológico, visando ao aumento da produtividade agrícola e ao desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis. De fato, uma das estratégias de manejo que não causam maiores danos ao meio ambiente é o uso de rizobactérias como agentes de biocontrole e promoção de crescimento de plantas (BENIZRI et al., 2001).

Actinobactérias no biocontrole e promoção de crescimento de plantas

Os actinomicetos são bactérias Gram-positivas pertencentes à classe Actinobactérias, predominantemente filamentosas, que apresentam alto teor de citosina e guanina no seu DNA. A maioria é aeróbia, mas existem alguns actinomicetos anaeróbios ou anaeróbios facultativos e crescem preferencialmente em solos de pH neutro à alcalino, embora muitos cresçam em solos ácidos (GARRITY et al., 2003).

Dentre as várias rizobactérias utilizados no biocontrole, os actinomicetos vêm sendo testados com promissores resultados (ROMEIRO, 2007). Os actinomicetos podem ser encontrados em nichos ecológicos, tais como a rizosfera e o rizoplano de plantas, onde sobrevivem, multiplicam-se e protegem-se do antagonismo da microbiota circunvizinha (BENIZRI et al., 2001; SILVA et al., 2003).

Ocorrem em ambientes aquáticos, pântanos e folhagens em decomposição. No solo, são numericamente menos dominantes que outras populações de bactérias, porém são mais numerosas que as populações fúngicas. Os actinomicetos compreendem mais de 30% da população total de microrganismos no solo. O gênero mais abundante é o *Streptomyces* (70-90% das colônias desenvolvidas em meio de cultura sólido) seguido de *Nocardia* (5-30%) e *Micromonospora* (1-15%) (GAVA & NEVES, 2002; OTINIANO et al., 2006). No solo, a população de estreptomicetos pode atingir valores variando entre 10^4 a 10^7 unidades formadoras de colônia por grama de solo seco, ocorrendo principalmente na forma de esporos. Este gênero contém hoje o maior número de espécies

estudadas, em parte devido à sua importância como fonte de novos compostos bioativos (KIM et al., 2004).

Os actinomicetos são fontes incomparáveis de metabólitos bioativos, incluindo antibióticos, sideróforos e enzimas antimicrobianas (SHAHIDI et al., 2004). O gênero *Streptomyces*, dentre outras ações, são os principais contribuintes do tampão biológico no solo, em razão da diversidade de metabólitos secundários produzidos e por possuir capacidade competitiva por substratos. Estes microrganismos agem no controle de fitopatógenos. O controle biológico é um processo de longa duração, barato, e inofensivo aos organismos vivos e aos ecossistemas (RAMANATHAN et al., 2002; INBAR et al., 2005).

As rizobactérias que produzem quitinase, por exemplo, são conhecidas por atuar na proteção de plantas contra infecções fúngicas. Quitina é um importante componente do exoesqueleto dos invertebrados e da parede celular dos fungos que está sempre presente no solo (MANUCHAROVA et al., 2005).

Os microrganismos potenciais agentes de biocontrole e/ou promoção de crescimento necessitam ter competência rizosférica, ou seja, ter a capacidade de colonizar o sistema radicular e sobreviver no solo ou rizosfera, na presença da microbiota nativa (COMPANT et al., 2005).

A rizosfera é conhecida como um sítio de alta atividade microbiana, capaz de manter um número elevado de bactérias que sobrevivem à custa dos exsudatos e secreções radiculares, tais como aminoácidos e açúcares. Essas misturas complexas representam grande parte das fontes de carbono disponíveis para os microrganismos. Ao contrário, fora da zona de influência das raízes, o solo pode ser considerado oligotrófico, ou relativamente pobre em fontes de carbono disponíveis (KHAN, 2005).

Bactérias promotoras de crescimento de plantas, conhecidas na literatura como "*plant-growth-promoting-rhizobacteria*" (PGPR) ou "rizobactérias promotoras do crescimento de plantas" (RPCP), colonizam diferentes órgãos das plantas e exercem efeitos benéficos sobre as mesmas, podendo promover aumentos na taxa de germinação de sementes, no desenvolvimento de órgãos, na produção de flores e no rendimento das culturas em casa de vegetação e no campo (AMORIM & MELO 2002, DEY et al., 2004). As interações na rizosfera têm um papel importante na transformação, mobilização e solubilização de nutrientes do solo e sua absorção pelos vegetais (DEY et al., 2004).

Os actinomicetos desempenham um papel importante como promotores de crescimento de plantas, pela ação direta por meio da solubilização de nutrientes do substrato, produção de substâncias reguladoras de crescimento de plantas e pela ação indireta, por meio do controle de patógenos que limitam o crescimento das plantas. Além disso, esses microrganismos apresentam a capacidade de sequestrar ou degradar moléculas tóxicas às plantas, tornando-se possível a recuperação de áreas contaminadas, permitindo o desenvolvimento de culturas de importância econômica nestes ambientes (OLIVEIRA et al., 2003).

Os principais grupos destes microrganismos promotores de crescimento de plantas são as *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., e *Streptomyces* spp. (PIZZINATTO & FREITAS, 1996).

Entre os microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico e mineralizadores de fosfato orgânico, os actinomicetos se destacam por sobreviver em uma variedade de solos e produzir uma infinidade de compostos bioativos que podem proporcionar efeitos benéficos ao crescimento de plantas (JAIN & JAIN, 2007).

Plantas oleaginosas

Devido à crescente demanda por novas fontes de matéria-prima para a produção de energia renovável, diversas plantas oleaginosas vêm sendo estudadas, com avanços no desenvolvimento de tecnologias para a produção de biodiesel, dentre elas girassol e pinhão manso.

A maior parte do biodiesel produzido no mundo deriva do óleo de soja e canola (CANAKCI & GERPEN, 2001). Entretanto, segundo Parente (2003), todos os óleos vegetais podem ser transformados em biodiesel. Dentre esses, o óleo de girassol destaca-se por suas excelentes características físico-químicas, cuja produção da oleaginosa está entre as maiores culturas do mundo, apresentando viabilidade técnico-ambiental na produção de biocombustíveis (LEITE et al., 2005).

Nos países tropicais e subtropicais, o cultivo do pinhão manso vem crescendo, em razão do seu potencial para a produção de biocombustíveis. Entre as espécies de árvores oleaginosas, o pinhão manso é desejado devido a sua

resistência à seca, crescimento rápido, fácil propagação, baixo custo das sementes e elevado teor de óleo (FRANCIS et al., 2005).

A cultura do girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual da família Asteraceae, originária do continente Norte Americano. Inicialmente utilizada como fonte de alimentos pelos índios, foi levada para Europa no século XVI como planta ornamental. Atualmente é cultivada com sucesso nos cinco continentes, em mais de 20 milhões de hectares, sendo os maiores produtores mundiais, a Rússia, a Argentina e os Estados Unidos (UNGARO, 2000; CÂMARA, 2001). No Brasil, seu cultivo ocupa uma área de aproximada 100.000 hectares, concentrado, principalmente, na região dos Cerrados (CONAB, 2008). A área cultivada com girassol vem aumentando em diversas regiões do Brasil. Nas regiões Nordeste e Sul, o aumento foi, respectivamente, de 1,0 e de 5,2 mil hectares, da safra de 07/08 para a de 08/09 (CONAB, 2009). A produtividade média nacional é de 1407 ha⁻¹ (BRASIL, 2009).

O girassol é uma das oleaginosas que compõem o programa do biodiesel brasileiro (OLIVEIRA et al., 2004). Entretanto, a sua importância econômica mundial deve-se à excelente qualidade do óleo comestível que se extrai de seus aquênios e o aproveitamento dos subprodutos de extração, tais como: tortas e/ou farinhas protéicas utilizadas na fabricação de ração para animais (DICKMANN et al., 2005). Para cada tonelada de grãos, são produzidos de 400 a 500 kg de óleo, 200 a 250 kg de casca e 300 a 350 kg de farelo, com 45% a 50% de proteína bruta aproveitado na produção de ração para alimentação animal, especialmente no período seco (LOBO, 2006).

O girassol é uma oleaginosa que apresenta características agrônômicas importantes, como ciclo curto, elevada qualidade e bom rendimento em óleo, maior resistência à seca, ao frio e ao calor, apresentando ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas e permitindo cultivos em todas as regiões do Brasil (SILVA & TILLMANN, 2008).

Devido a estas particularidades e à crescente demanda do setor industrial e comercial, a cultura do girassol está se tornando uma importante alternativa econômica no sistema de rotação, consórcio e sucessão de culturas nas regiões

produtoras de grãos, e vem despertando o interesse de agricultores, técnicos e empresas (BACKES et al., 2008).

A cultura do pinhão manso

O pinhão manso (*Jatropha curcas L.*) pertence à família das Euforbiáceas, sendo uma espécie que se encontra em processo de domesticação. É uma cultura perene de fácil propagação, monóica, rústica, tolerante à seca, adaptável a diversos ambientes e condições edafoclimáticas, com aparência de arbusto grande, com crescimento rápido e tendência à ramificação desde a base, sendo cultivada como cerca viva, em quase todas as regiões tropicais. Recentemente, tem assumido destacada importância no cenário nacional como uma espécie vegetal produtora de óleo, potencialmente capaz de contribuir para a produção de energia renovável, além de ser adequada para produção em pequenas propriedades, contribuindo desta forma, para o desenvolvimento da agricultura de base familiar (CALLE et al., 2005; FRANCIS et al., 2005).

O pinhão manso é nativo na América Central, mas é encontrado em abundância em muitas regiões tropicais e subtropicais, em toda a África e Ásia, tendo sido introduzido no Brasil no início da colonização. Atualmente encontra-se disperso por todo o país, sendo cultivado por produtores do Nordeste, Centro Oeste e Sudeste, com produção anual de 1.100 à 1.700 litros de óleo / ha (NUNES, 2007). É adaptável a uma ampla faixa climática: temperaturas entre 18 a 28,5°C, altitudes do nível do mar à cerca de 1.000 metros e precipitação média de 480 a 2.380 mm. Sua tolerância à seca possibilita sua sobrevivência em regiões com 200 mm de chuvas anuais e até com três anos de secas consecutivas, paralisando seu crescimento nesses períodos, perdendo as folhas e sobrevivendo da água armazenada nos caules (BELTRÃO, 2006).

Em cultivos comerciais, a produtividade média do pinhão manso é de 5 t/ha, com a cultura estabelecida e em condições favoráveis, com disponibilidade de água e nutrientes e cerca de 32% deste valor pode ser convertido em óleo vegetal (TEIXEIRA, 2005).

O óleo de pinhão proporciona a redução das emissões de CO₂, contém enxofre em valores inexpressivos (não formando dióxido de enxofre que causa a

chuva ácida), sendo, portanto, uma alternativa que atende aos fatores ambientais. Éster de forbol é a principal toxina presente no pinhão manso. Essa propriedade deixa a oleaginosa imprópria para consumo animal. Outros atributos estão relacionados ao óleo, pois não é comestível e, portanto, não seria desviado para a alimentação humana (ACKON & ERTEL, 2005).

Nos últimos anos tem-se constatado a grande potencialidade desta oleaginosa para a agricultura familiar no semiárido nordestino, como uma cultura adicional à mamona, dada a capacidade de resistir a regimes de déficit hídrico, sua grande rusticidade e como alternativa para fornecimento de matéria-prima para fabricação de biodiesel. Pode ainda ser cultivado em consórcio com outras culturas e com a vantagem de ser perene, não exigindo preparo do solo anual (ARRUDA et al., 2004; TEIXEIRA, 2005).

Entretanto, ainda faltam informações tecnológicas para validar essa cultura como uma oleaginosa definitivamente promissora para produção de óleo na região, pois se conhece pouco da bioquímica e fisiologia desta planta, inexistem cultivares definidas e alguns aspectos agrônômicos ainda carecem de investigação, como por exemplo, a população de plantas ideal por hectare e a configuração de plantio (BELTRÃO, 2006).

Sabendo da grande importância das oleaginosas para o melhor aproveitamento agrícola da região semiárida do Brasil e os efeitos benéficos das actinobactérias na promoção do crescimento das plantas, o objetivo do presente trabalho foi analisar as potencialidades dos actinomicetos do gênero *Streptomyces* na promoção de crescimento e nutrição de plantas de girassol e pinhão manso, oleaginosas com potencial para produção do biodiesel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKOM, E.K.; ERTEL, J. An alternative energy approach to combating desertification and promotion of sustainable development in drought regions. In: FORUM DER FORSCHUNG, 18, 2005, Eigenverlag. **Anais...** Eigenverlag: BTU Cottbus, p.74-78. 2005.

AMORIM, E.P.R.; MELO, I.S. Ação antagônica de rizobactérias contra *Phytophthora parasítica* e *P. citrophthora* e seu efeito no desenvolvimento de plântulas de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p.565-568, 2002.

ARRUDA, F. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E. ; SEVERINO, L. S., “Cultivo do Pinhão Manso (*Jatrofa curcas* L.) como Alternativa para o Semi-Árido Nordeste”. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande, PB, v.8, n.1, p.789-799, 2004.

BACKES, R.L.; SOUZA, A.M.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; GALLOTTI, G.J.M.; ALVIMAR BAVARESCO, A. “Desempenho de Cultivares de Girassol em Duas Épocas de Plantio de Safrinha no Planalto Norte Catarinense”, **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.1, p.41-48, 2008.

BELTRÃO, N. E de M. “**Considerações Gerais sobre o Pinhão Manso (*Jatrofa curcas* L.) e a Necessidade Urgente de Pesquisas, Desenvolvimento e Inovações Tecnológicas para esta Planta nas Condições Brasileiras**”. Campina Grande, PB. 4p., 2006.

BENIZRI, E.; BAUDOIN, E.; GUCKERT, A. Root colonization by inoculated plant growth-promoting rhizobacteria. **Biocontrol Science and Technology**, v.11, p.557-574, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário estatístico da agroenergia / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa / ACS, 160p., 2009.

BRUNDRETT, M.C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant and Soil**, v.320, p.37–77, 2009.

CALLE, M.J.L.; COELLO, G.J.; ACOSTA, B.F.; CASTRO, P.P.; NAZARIO R.M.; BAZÁN, L.C. Producción de biodiesel a pequena escala a partir de recursos oleaginosos amazónicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, II, Varginha. **Resumos**, p.298-301. CD-ROM. 2005.

CÂMARA, G.M.S. **O Agronegócio das plantas oleaginosas**: algodão, amendoim, girassol e mamona. ESALQ. Piracicaba. 204p., 2001.

CANAKCI, M.; GERPEN, J.V. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. **Trans. ASAE**., v.44, p.1429-1436, 2001.

COMPANT, S.; DUFFY, B.; NOWAK, J.; CLÉMENT, C.; BARKA, E.A. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future perspectives. **Applied and Environmental Microbiology**, v.71, n.9, p.4951-4959, 2005.

CONAB, **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos. Sexto levantamento, março 2008/ Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília. 33p., 2008.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos nono levantamento, junho 2009/** Companhia Nacional de Desenvolvimento. Brasília: Conab, 39p., 2009.

DEY, R.; PAL, K.K.; BHATT, D.M.; CHAUHAN, S.M. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v.159, p.371-394, 2004.

DICKMANN, L.; CARVALHO, M.A.C.; BRAGA, L.F.; SOUSA, M.P. Comportamento de Sementes de Girassol (*Helianthus annuus* L.) Submetidas a Estresse Salino. **Revista de Ciências Agro Ambientais**, Alta Floresta, v.3, p.64-75, 2005.

FRANCIS, G.; EDINGER, R.; BECKER, K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Natural Resource Fórum**, v.29, p.12–24, 2005.

GARCIA, R.G. **O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel Brasileiro e a Agricultura Familiar na Região Nordeste.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. 200p., 2007.

GARRITY, G.M.; BELL, J.A.; LILBURN, T.G. **Taxonomic Outline of the Prokaryotes. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology.** 2 ed. New York: Springer-Verlag, 2003. 397p.

GAVA, C.T.; NEVES, M.C.P. **Populações de actinomicetos como componentes da comunidade bacteriana do solo.** 2002. Disponível em: <www.cnpab.embrapa.br> Acesso em janeiro de 2010.

INBAR, E.; GREEN, S.J.; HADAR, Y.; MINZ, D. Competing factors of compost concentration and proximity to root affect the distribution of streptomycetes. **Microbial Ecology**, v.50, p.73-81, 2005.

JAIN, P.K.; JAIN, P.C. Isolation, characterization and antifungal activity of *Streptomyces sampsonii* GS1322. **Indian J. Exp. Biol.**, v.45, p.203-206, 2007.

KHAN, A.G. Role of soil microbes in the rhizosphere of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. **J. Trace Elem Med Biol**, v.18, p.355–364, 2005.

KIM, B. J.; KIM, C.J.; CHUN, J.; KOH, Y. H.; LEE, S. H.; HYUN, J. W.; CHA, C.Y.; KOOK, Y.H. Phylogenetic analysis of the genera *Streptomyces* and *Kitasatospora* based on partial RNA polymerase β -subunit gene (*rpoB*) sequences. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v.54, p.593-598, 2004.

LEITE, R.M.B.C; BRIGHENTI, A.M; CASTRO, C. **Girassol no Brasil.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Soja,

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Soja, Londrina, PR, 641p., 2005.

LOBO, T.F. **Níveis de lodo de esgoto no desenvolvimento, nutrição e produtividade da cultura do girassol.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 64p., 2006.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annu Rev Microbiol.** v.63, p.541–556, 2009.

MANUCHAROVA N.A.; BELOVA, E.V.; VOROB'EV, A.V.; POLYANSKAYA, L.M.; STEPANOV, A.L. Succession of Chitinolytic Microorganisms in Chernozem Soil. **Microbiology**, v.74, n.5, p.602–607. Moscow, Russian, 2005.

MONTEIRO, J.M.G. **Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semiárido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 302p., 2007.

NUNES, L.F. **Caracterização de frutos, sementes e plântula e cultivo de embriões de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Brasil 78p., 2007.

OLIVEIRA, A.L.M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J.I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microorganismos sobre o crescimento vegetal.** Seropédia: Embrapa Agrobiologia, 40p., 2003.

OLIVEIRA, M. F; VIEIRA, O. V; LEITE, R.M.V.B.C. **Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa.** Embrapa, Londrina-PR, n.273, 27p., 2004.

OTINIANO, A.J; FLORIAN, L.M.; SEVILLANO, R.B. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. **Idesia**, v.24, n.1, p.49-61, 2006.

PARENTE, E.J.S. **Biodiesel:** uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: TECBIO, 68p., 2003.

PIZZINATTO, M.A.; FREITAS, S.S. Efeito de *Pseudomonas* spp. fluorescentes sobre a sanidade e a germinação de sementes e o desenvolvimento do algodoeiro. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal. v.22, n.1, p.9-14, 1996.

RAMANATHAN, A.; SHANMUGAM, V.; RAGHUCHANDER, T.; SAMIYAPPAN, R. **Induction of systemic resistance in ragi against blast disease by *Pseudomonas fluorescens*.** Ann. PC Prot. Soc 10: p.313-318, 2002.

RIBEIRO, M.F.; PEIXOTO, J.A.A.; SOUZA C.G. **XXVIII Encontro nacional de engenharia de produção: A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável.** Rio de Janeiro, RJ, 14p., 2008.

ROMEIRO, R.S. **Controle Biológico de Doenças de Plantas - Fundamentos**. Viçosa MG. Editora UFV. 269p., 2007.

SHAHIDI, B.G.H.; FOOLADI, M.H.; MAHDAVI, M.J.; SHAHGHASI, A. Broadpectrum a Novel Antibacterial from *Streptomyces* sp. **Biotechnol.**, v.2, p.3126-130, 2004.

SILVA, H.S.A.; ROMEIRO, R.S.; MOUNTEER, A. Development of a root colonization bioassay for rapid screening of rhizobacteria for potential biocontrol agents. **Journal of Phytopathology**, v.51, p.42-46, 2003.

SILVA, L.X.; TILLMANN, E.A. **Viabilizando o desenvolvimento sustentável através do girassol: Discussões analíticas e evidências empíricas para o sul do Brasil**. XVI Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco – Acre, 19p., 2008.

TEIXEIRA, L.C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, v.26, n.229, p.18-27, 2005.

UNGARO, M.R.G. **Cultura do girassol**. 1ª edição. Campinas: Instituto Agronômico, 36p., 2000.

CAPITULO 1

ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) E PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.): CRESCIMENTO DAS PLANTAS¹

¹ Capítulo submetido ao periódico Pesquisa Agropecuária Brasileira

**ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE GIRASSOL
(*Helianthus annuus* L.) E PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.): CRESCIMENTO
DAS PLANTAS**

Autor: Marcos Antônio Marques de Brito

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Fermino Soares

Co-orientador: Prof. Dr. André Dias de Azevedo

RESUMO: A busca por alternativas tecnológicas de produção sustentável, menos agressivas ao meio ambiente, tem intensificado os estudos com microrganismos benéficos a agricultura. Os actinomicetos são bactérias Gram-positivas, predominantemente filamentosas, que desempenham importante papel no controle biológico e na promoção do crescimento das plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da infestação e incubação do solo com treze isolados de actinomicetos do gênero *Streptomyces* na promoção de crescimento de plantas de girassol e de pinhão manso, oleaginosas com potencial para produção de biodiesel. Todos os isolados produziram ácido indolacético, 92% produziram a enzima celulase e 77% produziram xilanase, mas nenhum apresentou capacidade de solubilização de fosfato *in vitro*. Foram montados dois experimentos em casa de vegetação, com dois solos de características químicas diferentes, infestados e incubados por quarenta e cinco dias com os mesmos isolados de actinomicetos. No final desse período, fez-se a quantificação da população de actinomicetos e a semeadura, seguido pelo cultivo de plantas durante sessenta dias. No final do cultivo, foram avaliados a altura das plantas e produção de matéria seca. Os actinomicetos promoveram incrementos significativos na matéria seca das plantas de girassol e de pinhão manso de até 39% e 36%, respectivamente, quando cultivados em solo de área de pastagem, com baixo teor de nutrientes e de matéria orgânica. No solo de área de jaqueira, mais rico em matéria orgânica e nutrientes, foram observados aumentos de até 36% para o girassol e 33% para o pinhão manso. Os melhores isolados com potencial para a promoção de crescimento dessas plantas foram AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC92C, AC92M e AC147. No entanto, o isolado AC30 foi prejudicial ao crescimento das plantas, não sendo recomendado usá-lo para esse fim. Os actinomicetos influenciaram expressivamente na produção de biomassa (raiz e parte aérea) das plantas de girassol e pinhão manso, independente das características químicas do solo.

Palavras-chave: actinomicetos, oleaginosas, biodiesel

STREPTOMYCETES GROWTH PROMOTERS OF SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) AND JATROPHA (*Jatropha curcas* L.): GROWTH OF PLANTS

Author: Marcos Antônio Marques de Brito

Advisor: Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Fermino Soares

Co-advisor: Prof. Dr. André Dias de Azevedo

ABSTRACT: The search for technological alternatives for sustainable agricultural production, less harmful for the environment, has intensified the studies with microorganisms which have beneficial effects on plants. Actinomycetes are Gram positive bacteria, mostly filamentous, that have an important role in biological control and plant growth promotion. This work aimed to study the effect of soil inoculation and incubation with thirteen streptomyces isolates, on growth promotion of sunflower and physic nut oil plants, which are crops with great potential for biodiesel production. All isolates produced indol acetic acid, 92% produced cellulase and 77% produced xylanase, but none of the isolates showed in vitro capacity for phosphate solubilization. Two experiments were carried out under green house conditions, with two soils with different chemical characteristics, which were inoculated with the streptomyces isolates and incubated for forty five days. Soil quantification of streptomyces population were performed, and sunflower and physic nut were sown and cultivated for sixty days. Plant height and dry weight was determined. The streptomyces isolates promoted significant increase in plant dry weight matter of sunflower and physic nut, for up to 39% and 36% respectively, when planted in soil from pasture land, low in nutrients. In soil from an area with jackfruit, with higher nutrient levels, inoculated with streptomyces isolates, increments of up to 36% and 33% were obtained for sunflower and physic nut plant dry matter, respectively. The best isolates with potential for plant growth promotion were AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC92C, AC92M and AC147. However, isolate AC30 was harmful for plant growth, and should not be recommended for this purpose. The selected streptomyces isolates affect significantly biomass (root and aerial parts) production of sunflower and physic nut plants, independent of soil chemical characteristics.

Keywords: actinomycetes, oilseed plants, biodiesel

INTRODUÇÃO

Os crescentes problemas relacionados à utilização de insumos químicos sintéticos na agricultura, devido aos impactos negativos à saúde humana e animal e ao ambiente, como também, o desenvolvimento de resistência de patógenos a diversos fungicidas e bactericidas, têm incentivado a busca por alternativas para o desenvolvimento de sistemas mais sustentáveis de produção agrícola (Antoun & Pre Vost, 2005). Neste sentido, a utilização de insumos biológicos, a exemplo de microrganismos benéficos para agricultura, que atuam na promoção do crescimento vegetal e no controle de fitopatógenos, vem sendo muito estudada no Brasil e no mundo, como uma alternativa ambientalmente mais sustentável para o aumento da produtividade de diversas culturas de importância econômica (Carrer et al., 2008).

Dentre os microrganismos benéficos na agricultura, têm-se os actinomicetos que são bactérias gram-positivas, pertencentes à Ordem Actinomycetales (Siqueira & Franco, 1998). Este importante grupo de actinobactérias comumente isoladas do solo é conhecido por sua ampla produção de metabólitos secundários, entre eles os antibióticos, enzimas extracelulares e inibidores enzimáticos, fitohormônio promotores de crescimento vegetal (Shahidi et al., 2004; Li et al., 2004). O gênero *Streptomyces spp.*, contém o maior número de espécies identificadas, devido à ação no controle de fitopatógenos, à grande diversidade de metabólitos secundários e pela elevada capacidade competitiva por substratos (Inbar et al., 2005; Kim et al., 2004).

Os actinomicetos desempenham importante papel na natureza, na degradação da matéria orgânica e na síntese de vários tipos de enzimas extracelulares que degradam moléculas complexas, especialmente celulose, lignocelulose, lignina e xilana, presentes em abundância na biomassa vegetal (Ding et al., 2004; Ouhdouch et al. 2001; Peláez, 2006).

Os efeitos benéficos dos actinomicetos no crescimento das plantas podem ser diretos ou indiretos. Os efeitos diretos incluem a produção de fitohormônios, solubilização do fosfato, fixação de nitrogênio, mineralização de nutrientes e promoção do aumento da absorção de nutrientes (Tsavkelova, et al. 2007). Indiretamente, estas bactérias podem exercer uma influência positiva no crescimento das plantas devido ao controle de patógenos com produção de

metabólitos secundários, competição, parasitismo e indução de resistência ao patógeno, (Bem & Faina, 2009; Van Loon, 2007).

O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma dicotiledônea anual da família Compositae, originária do continente Norte Americano. É uma das oleaginosas que compõem o programa do biodiesel brasileiro (Oliveira et al., 2004). Entretanto, a sua importância econômica mundial deve-se à excelente qualidade do óleo comestível que se extrai de seus aquênios e ao aproveitamento dos subprodutos de extração, tais como tortas e/ou farinhas protéicas utilizadas na fabricação de ração para animais (Dickmann et al., 2005).

O girassol apresenta características agrônômicas importantes, como ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas podendo ser cultivado em todas as regiões do Brasil. Apresenta ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas, permite cultivos tanto no verão como no outono/inverno. O rendimento é pouco influenciado pelas latitudes e altitudes, assim como pelo foto período, o que facilita a expansão do cultivo (Silva & Tillmann, 2008).

O pinhão manso (*Jatropha curcas L.*) pertencente à família das Euforbiáceas, originária da América Central, possuindo alto potencial produtivo de óleo. É uma planta rústica, tolerante à seca e adaptável a diversas condições edafoclimáticas, que está sendo apontado como uma importante alternativa para fornecimento de óleo para fabricação de biodiesel, principalmente na região semiárida (Arruda et al., 2004). Além de perene e de fácil cultivo, apresenta boa conservação da semente colhida sendo uma cultura que pode se desenvolver em pequenas propriedades com mão-de-obra familiar (Freitas, et al, 2010).

Conhecendo a grande importância dessas oleaginosas para o desenvolvimento agrícola da região semiárida do Brasil e os efeitos benéficos das actinobactérias na promoção do crescimento das plantas, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a potencialidade de actinomicetos do gênero *Streptomyces* na promoção de crescimento de plantas do girassol e de pinhão manso.

MATERIAL E MÉTODOS

Isolados de actinomicetos

Foram avaliados isolados de actinomicetos, identificados como pertencentes ao gênero *Streptomyces*, provenientes da coleção do Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus Cruz das Almas – BA, sendo estes identificados pelos seguintes códigos: AC12, AC16, AC26C, AC26L, AC30, AC37, AC39, AC43, AC50, AC92C, AC92M, AC103 e AC147, que foram pré-selecionados com potencial agente de promoção de crescimento de plantas (Sousa, 2006; Barreto, 2007; Paixão, 2008).

Multiplicação dos actinomicetos

Os isolados de estreptomicetos, preservados em glicerol 20% a temperatura de -18°C , foram multiplicados em placas de Petri com meio de cultura sólido AGS (arginina-glicerol-ágar), por um período de dez dias, em câmara de crescimento B.O.D. a $28\pm 2^{\circ}\text{C}$. O meio AGS continha: 1 g de L-arginina; 12,5 ml de glicerol; 1 g de K_2HPO_4 ; 1 g de NaCl; 0,5 g de $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1 ml de solução de micronutrientes; 20g de ágar em 1 litro de água destilada, com pH ajustado para 7,0. A solução de micronutrientes, continha: 1 g de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3\cdot (6\text{H}_2\text{O})$; 0,1 g de $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g de $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 0,1 g de $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ em 100 ml de água destilada.

Posteriormente foram adicionados 500 ml de água destilada a 300 g de arroz parbolizado em um béquer de dois litros, o qual permaneceu a temperatura ambiente por 1 hora para hidratação do arroz. Após este período, o excesso de água foi removido, utilizando-se uma peneira de 35 mesh e porções de 50 g do arroz hidratado foram colocadas em frascos de Erlenmeyer de 250 ml, sendo estes fechados com algodão e uma cobertura com folha de papel e fio barbante em volta. O arroz foi esterilizado em autoclave a 120°C por 55 minutos (Soares et al., 2007).

Para infestação do arroz, as colônias de estreptomicetos, crescidas conforme descrito acima, foram raspadas com o auxílio de alça de platina e a adição de 10 ml de água esterilizada por placa de Petri. Em seguida, 5 ml da suspensão contendo esporos e micélio foram adicionados a cada frasco com 50 g de arroz umedecido e

esterilizado, preparando-se três frascos para cada isolado de estreptomiceto, sendo estes incubados em câmara de crescimento B.O.D. à temperatura de 28°C durante 14 dias.

Infestação de estreptomicetos no solo

Os solos foram peneirados em peneira com malha de 2 mm. Em seguida, os solos foram distribuídos em sacos de plástico com capacidade para 100 litros, revestidos com saco nylon de mesma capacidade, colocando-se 16 litros de solo por saco.

Para infestação do solo, para cada isolado de estreptomiceto, foram pesadas 20 g do arroz colonizado e colocados em sacos de plástico descartáveis com capacidade para 1 litro, sendo adicionados 70 ml de água destilada esterilizada. O saco contendo o inóculo e água foi fechado e agitado para permitir o despreendimento dos actinomicetos do arroz e a suspensão de inóculo foi adicionada ao solo, sendo este agitado para homogeneização do inóculo. Este procedimento foi repetido três vezes para melhor remoção do inóculo do arroz e infestação do solo. A quantidade de água adicionada ao arroz foi determinada de acordo com a umidade do solo, possibilitando que o mesmo ficasse úmido. Para o tratamento testemunha, adicionou-se apenas água ao solo. Após infestação, os sacos contendo solo foram mantidos na estufa agrícola à temperatura ambiente para incubação do solo por 45 dias, sendo os sacos agitados semanalmente para homogeneização do solo e periodicamente adicionou-se água para manter o solo úmido.

Quantificação dos estreptomicetos no solo infestado e incubado

Ao final do período de incubação, foram coletadas amostras de solo de todos os tratamentos e mantidas em sacos de plástico a -5°C, para quantificação da população de estreptomicetos. Foram pesadas 10 g das amostras de solo e transferidas para frascos de Erlenmeyer de 250 ml com 90 ml de solução salina (0,85% NaCl) esterilizada. A suspensão de solo foi agitada por 30 minutos em agitador orbital à temperatura ambiente. Em seguida foram realizadas diluições decimais em série (1:10), em tubos de ensaio contendo 9 ml da solução salina estéril, obtendo-se diluições de 10^{-1} a 10^{-4} .

De cada diluição foi transferida uma alíquota de 100 µl para placas de Petri contendo meio de cultura AGS sólido, com três repetições, e o inóculo espalhado na placa, utilizando-se uma alça de Drigalsky esterilizada por flambagem. Em seguida, as placas foram incubadas a 28°C por sete dias.

A população de actinomicetos no solo foi estimada pela contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) e utilização da seguinte expressão matemática: $UFC\ g^{-1}$ de solo seco = $N \times 10 \times F \times Y$, sendo: N = número de colônias, F = 10 (fator de correção do plaqueamento de 100 µl de suspensão por placa), Y = fator de diluição.

Caracterização química do solo

Foram utilizados dois solos sob sistemas de manejo diferentes, um solo coletado em área de pastagem e outro solo coletado em área com plantio de Jaqueira, ambos, coletados no campus de Cruz das Almas da UFRB. Os dois solos são classificados como Latossolo Amarelo Coeso A moderado, textura franco argilo arenosa, fase floresta estacional semidecidual, relevo plano. As amostras foram coletadas na camada de 0-20 cm.

A análise química da amostra de solo foi realizada conforme metodologia proposta pela Embrapa (1999). Foram determinadas as seguintes características químicas: pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al) e matéria orgânica (MO).

Crescimento de plantas de girassol e pinhão manso em solos infestados e incubados com actinomicetos

Para avaliar o efeito dos actinomicetos no crescimento de plantas de girassol e pinhão manso foram instalados dois experimentos em estufa agrícola, com o solo de área de pastagem (SP) e o solo de área de jaqueira (SJ), incubados com os diferentes isolados de estreptomicetos, conforme descrito acima.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 14 tratamentos (13 isolados de estreptomicetos e a testemunha não inoculada) e sete repetições. Cada repetição foi composta por uma planta cultivada em um saco de polietileno contendo três litros de solo.

A semeadura foi realizada no mesmo dia para todos os tratamentos, colocando-se três sementes em cada saco de muda e o desbaste foi realizado quatro dias após a germinação, deixando uma planta por saco. O solo foi mantido sempre úmido, durante todo o cultivo. Na avaliação da altura das plantas, foi considerada a distância compreendida entre a superfície do solo e a base da folha mais jovem.

As plantas foram coletadas aos 60 dias após a germinação, sendo separados os caules, folhas e raízes. As raízes foram lavadas em água corrente sobre peneiras de 1 mm e 2 mm sobrepostas. Posteriormente as raízes, caules e folhas foram acondicionados separadamente em sacos de papel previamente identificados e em seguida colocados para secar em estufa com ventilação forçada a 65°C, até atingir massa constante. Após a secagem dos materiais vegetais, utilizou-se uma balança de precisão para determinação da massa seca das folhas, caules e raízes.

Características fisiológicas dos actinomicetos

Foi avaliada a presença de atividade xilanolítica, celulolítica, quitinolítica e de solubilização de fosfato em 13 isolados de actinomicetos: AC12, AC16, AC26C, AC26L, AC30, AC37, AC39, AC43, AC50, AC92C, AC92M, AC103 e AC147.

Produção de celulase e xilanase

As atividades enzimáticas foram determinadas conforme metodologia descrita por Lewis (1988). Os isolados de actinomicetos foram infestados, em triplicata, com uma agulha em “picada” em placas de Petri com meio mínimo de sais (Tuite, 1969), suplementado com 1 g de xilana ou celulose microcristalina como única fonte de carbono e incubadas em câmara tipo B.O.D. a 28 ± 2 °C, durante aproximadamente 15 dias. Após este período foram adicionados 10 ml da solução aquosa de vermelho congo a 0,5%, em cada placa, seguido de incubação a temperatura ambiente por 15 minutos. Após a incubação, foi removido o excesso da solução de vermelho congo e adicionados 10 ml da solução salina (NaCl a 1M) em cada placa, sendo estas mantidas a temperatura ambiente por 30 minutos. Após a remoção da solução salina, observou-se a formação ou não de halo de coloração alaranjada em torno das colônias, indicando a atividade celulolítica e xilanolítica dos isolados.

Produção de quitinase

A atividade quitinolítica foi determinada conforme a metodologia descrita por Renwick et al. (1991). Os isolados de actinomicetos foram infestados, em triplicata, com uma agulha em “picada” em placas de Petri contendo meio de sais minerais ágar (Tuite, 1969), suplementado com quitina coloidal, como única fonte de carbono. As culturas foram incubadas em câmara de crescimento tipo B.O.D., a $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ por dez dias. Após esse período, a atividade quitinolítica dos isolados foi avaliada pela visualização de um halo hialino em torno das colônias crescidas.

Produção de Ácido Indolacético

A capacidade de produção de ácido indolacético foi determinada segundo o método proposto por Bric et al. (1991) para os isolados de actinomicetos listados acima. Estes foram crescidos em meio triptocaseína de soja (10 %), acrescido de 5 mM de L-triptofano. Posteriormente, as colônias foram cobertas por uma membrana de nitrocelulose e as placas incubadas em câmara B.O.D., a $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 10 dias. Após incubação, as membranas foram removidas e saturadas com solução de Salkowski (Gordon & Welber, 1951). Os isolados que formaram um halo avermelhado na membrana, no período de 30 minutos, foram considerados produtores de ácido indolacético.

Solubilização de fosfato

A capacidade de solubilização de fosfatos foi determinada segundo o método proposto por Katznelson & Bose (1959). Os isolados de actinomicetos foram infestados, em triplicata, com uma agulha em “picada” em placas de Petri contendo meio de cultura triptocaseína de soja, diluído 1/10 e acrescido de CaHPO_4 . Em seguida, as placas foram incubadas em câmara de crescimento tipo B.O.D., a $28\pm 2^{\circ}\text{C}$, por dez dias. Após esse período, a solubilização de fosfato foi detectada pela formação de halo claro em torno das colônias crescidas dos isolados de estreptomicetos.

Análises estatísticas

Para análise dos dados foi utilizado o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000), sendo realizada a análise de variância e posteriormente a comparação de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

População de estreptomicetos no solo

A infestação e incubação das amostras de solo com isolados de actinomicetos possibilitaram o aumento da população destes microrganismos nesses solos. No tratamento testemunha (solo não infestado com actinomicetos), verificou-se que o solo da área com plantio de jaqueira apresentou uma população de actinomicetos nativos superior à do solo de área de pastagem. Após o período de incubação dos treze isolados de actinomicetos nos dois solos, observou-se também que o solo de área de jaqueira apresentou-se com maior número de colônias de actinomicetos em todos os tratamentos (Figura 1).

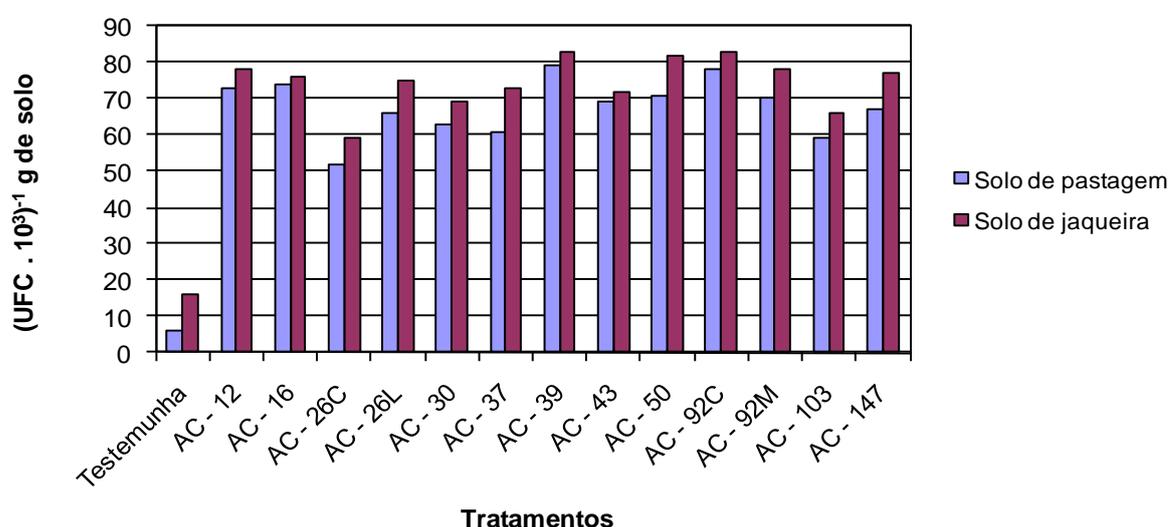


Figura 1. Quantificação de unidades formadoras de colônia (UFC $\times 10^3$) por grama de solo, em amostras de solo de área de pastagem e solo de área de jaqueira, após infestação com os isolados de estreptomicetos (identificados por códigos) e incubação por 45 dias a temperatura ambiente (28 ± 2 °C). O tratamento testemunha não foi infestado, mas foi incubado nas mesmas condições de temperatura e umidade.

Caracterização química do solo

O solo coletado em área com plantio de jaqueira apresentou valores superiores de nutrientes e matéria orgânica, quando comparado ao solo de área de pastagem. O pH de ambos está na faixa adequada ao crescimento de actinomicetos e de plantas, destacando que, de modo geral, os actinomicetos preferem solos com pH mais alto (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas de um Latossolo Amarelo Coeso A moderado, textura franco argilo arenosa, fase floresta estacional semidecidual, relevo plano sob dois sistemas de uso e manejo

pH	P	K	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	Na	CTC	MO
	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³					g kg ⁻¹	
Jaqueira									
7,20	24	60	0,90	5,4	3,8	9,2	0,16	10,41	13
Pastagem									
6,23	4	31	1,30	1,6	1,5	3,1	0,10	4,57	21

pH = potencial hidrogênico; P = fósforo; K = potássio; H+Al = acidez potencial; Ca = cálcio; Mg = magnésio; CTC = capacidade de troca catiônica; MO = matéria orgânica.

Caracterização fisiológica dos actinomicetos

Na avaliação enzimática realizada nos treze isolados de actinomicetos verificou-se que doze isolados apresentaram atividade celulolítica, dez apresentaram atividade xilanolítica e oito apresentaram atividade quitinolítica. Observou-se também que todos os isolados apresentaram a capacidade de produzir ácido indolacético. Entretanto, nos testes *in vitro* de solubilização de fosfato, não foi verificado nenhum resultado positivo (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de enzimas extracelulares, ácido indolacético e capacidade de solubilização de fosfato pelos isolados de actinomicetos.

Isolados de actinomicetos	Enzimas extracelulares			Ácido Indolacético	Solubilização de fosfato
	Celulase	Xilanase	Quitinase		
AC-12	+	+	+	+	-
AC-16	+	-	+	+	-
AC-26C	+	+	+	+	-
AC-26L	+	+	-	+	-
AC-30	-	-	+	+	-
AC-37	+	+	-	+	-
AC-39	+	+	+	+	-
AC-43	+	+	-	+	-
AC-50	+	-	-	+	-
AC-92C	+	+	+	+	-
AC-92M	+	+	-	+	-
AC-103	+	+	+	+	-
AC-147	+	+	+	+	-

Os sinais indicam resposta positiva (+) negativa (-) em relação a produção de enzimas, ácido indolacético e solubilização de fosfato.

Experimento I - solo de área de pastagem infestado e incubado com actinomicetos

Crescimento de planta de girassol

Todos os tratamentos com isolados de actinomicetos proporcionaram incrementos significativos na altura das plantas de girassol cultivadas em solo de pastagem (SP), quando comparados com a testemunha. Os maiores incrementos na altura das plantas, em relação à testemunha, variaram entre 12 e 18% e foram proporcionados pelos isolados AC147, AC26C, AC92C, AC12, AC 43, AC37, AC50 e AC39, seguidos pelos isolados AC16, AC26L, AC30, AC92M e AC103 que também proporcionaram incremento na altura das plantas, variando de 6 a 11%, sendo estes superiores à testemunha (Tabela 3).

Tabela 3. Crescimento de plantas de girassol cultivadas em solo de área de pastagem infestado e incubado com diferentes isolados de estreptomicetos.

Trat.*	Altura (cm planta ⁻¹)	Matéria seca (g planta ⁻¹)				
		Folha	Caule	Aérea	Raiz	Total
AC - 12	27,53a	2,10a	2,21a	4,31a	2,27b	6,58a
AC - 16	26,33b	1,72c	1,80b	3,52c	2,31b	5,83c
AC - 26C	28,09a	1,89b	2,14a	4,03b	2,39b	6,42b
AC - 26L	26,14b	2,09a	2,07a	4,16a	2,67a	6,83a
AC - 30	26,36b	1,86b	1,82b	3,68c	2,03c	5,71c
AC - 37	27,04a	1,95b	2,04a	3,99b	2,51a	6,50b
AC - 39	26,74a	2,08a	2,29a	4,37 ^a	2,30b	6,67a
AC - 43	27,56a	1,87b	2,12a	3,99b	2,30b	6,29b
AC - 50	26,80a	2,00a	2,06a	4,06b	2,28b	6,34b
AC - 92C	27,72a	2,10a	2,16a	4,26 ^a	2,59a	6,85a
AC - 92M	26,06b	1,83b	2,00a	3,83b	2,34b	6,17b
AC - 103	25,13b	1,72c	1,80b	3,52c	2,27b	5,79c
AC - 147	28,07a	1,89b	2,13a	4,02b	2,57a	6,59a
Testemunha	23,77c	1,51d	1,60c	3,11d	1,82c	4,93d
CV (%)	6,63	6,34	8,08	6,16	9,25	5,18

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Isolados de actinomicetos identificados por código. Testemunha – tratamento sem infestação.

Todos os tratamentos com isolados de actinomicetos proporcionaram aumentos significativos na biomassa da folha e do caule das plantas de girassol cultivado em SP, quando comparado com a testemunha. Entretanto, os maiores incrementos nas folhas de girassol, foram observados nos tratamentos com os isolados AC12 e AC92C (39%), AC26L e AC39 (38%) e AC50 (32%). Já no caule, observou-se que os maiores incrementos significativos foram obtidos com os isolados AC39 (43%), AC12 (38%), AC92C (35%), AC26C e AC147 (33%), AC43 (32%), AC26L e AC50 (29%), AC37 (27%) e AC92M (25%) (Tabela 3).

Todos os tratamentos com actinomicetos proporcionaram aumentos significativos na matéria seca da parte aérea do girassol cultivado em SP, quando comparado com a testemunha. No entanto, os maiores incrementos foram proporcionados pelos isolados AC39 (40%), AC12 (39%), AC92C (37%) e AC26L (34%) (Tabela 3). Em relação à matéria seca da raiz das plantas de girassol SP, verificou-se que somente o tratamento AC30 não diferenciou da testemunha, pois os demais tratamentos apresentaram aumentos significativos, com destaque para os isolados AC26L (47%), AC92C (42%), AC147 (41%) e AC37 (38%) que promoveram os maiores incrementos. Observou-se também que todos os isolados de actinomicetos proporcionaram aumentos significativos na matéria seca da total das plantas de girassol cultivadas em SP, quando comparados com a testemunha. Os melhores incrementos de matéria seca foram proporcionados pelos isolados AC92C (39%), AC26L (38%), AC39 (35%), AC147 (34%) e AC12 (33%), (Tabela 3).

O tratamento com o isolado AC92C foi superior aos demais tratamentos, em todos os parâmetros analisados no crescimento de plantas de girassol em SP, sendo seguido pelos isolados AC12, AC26L, AC39 e AC147, que também proporcionaram excelentes rendimentos, principalmente na matéria seca das plantas (Tabela 3).

Crescimento de plantas de pinhão manso

Todas as plantas de pinhão manso produzidas em solo de área de pastagem infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos apresentaram incrementos significativos na altura final, destacando-se os tratamentos com os isolados AC39 e AC92C, com 21 e 18% de incremento na altura da muda, respectivamente (Tabela 4). Os maiores incrementos de produção de matéria seca (MS) das folhas foram proporcionados pelos isolados AC92C (32%), AC39 (31%) e

AC12 (30%) e para MS do caule, os mesmos isolados mostraram efeitos significativos AC12 (35%), AC39 (34%) e AC92C (35%). Os isolados AC37 e AC43, AC50 e AC103 não apresentaram significância na produção de matéria seca das folhas e o isolado AC30 foi prejudicial à produção de MS foliar, quando comparado com a testemunha. Os isolados AC30, AC37 e AC50 não promoveram incrementos significativos na biomassa do caule e da parte aérea das plantas de pinhão manso cultivadas em SP, quando comparado com o tratamento testemunha. Os isolados AC92C, AC39 e AC12 destacaram-se dos demais tratamentos em relação à promoção de crescimento de plantas de pinhão manso, com incrementos variando de 33 a 34% na produção de biomassa seca da parte aérea dessas plantas (Tabela 4).

Tabela 4. Crescimento inicial de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de pastagem infestado e incubado com actinomicetos.

Trat.*	Altura (cm planta ⁻¹)	Matéria seca (g planta ⁻¹)				Total
		Folha	Caule	Aérea	Raiz	
AC - 12	21,42b	3,57a	7,31a	10,88a	3,14a	14,02a
AC - 16	21,41b	3,42b	6,73b	10,15b	2,86b	13,01b
AC - 26C	20,84c	3,15b	6,43b	9,58b	2,88b	12,46b
AC - 26L	20,53c	3,16b	6,57b	9,73b	2,62b	12,35b
AC - 30	19,89c	2,55d	5,23c	7,78c	2,49b	10,27c
AC - 37	20,19c	2,96c	5,95c	8,91c	2,67b	11,58b
AC - 39	22,98a	3,60a	7,28a	10,88a	3,20a	14,08a
AC - 43	20,26c	2,82c	6,51b	9,33b	2,73b	12,06b
AC - 50	19,42c	2,84c	5,97c	8,81c	2,64b	11,45b
AC - 92C	22,53a	3,64a	7,31a	10,95a	3,20a	14,15a
AC - 92M	21,33b	3,39b	6,89b	10,28b	3,06a	13,34a
AC - 103	20,44c	2,89c	6,58b	9,47b	2,82b	12,29b
AC - 147	21,41b	3,18b	6,66b	9,84b	3,02a	12,86b
Testemunha	19,00d	2,75c	5,43c	8,18c	2,25c	10,43c
CV (%)	5,21	9,7	13,49	11,48	14,36	10,63

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Isolados de actinomicetos identificados por código. Testemunha – tratamento sem infestação.

Para matéria seca da raiz, verificou-se que todos os isolados promoveram o maior crescimento das raízes, destacando-se os isolados AC39 e AC92C (42%), AC12 (39%), AC92M (36%) e AC147 (34%). Já na produção de matéria seca total da planta, com exceção do isolado AC30, todos promoveram o crescimento das plantas, com melhores resultados de promoção de crescimento obtidos com AC92C (36%), AC39 (35%), AC12 (34%) e AC92M (28%) (Tabela 4).

Observa-se na Tabela 4 que os isolados AC39 e AC92C destacaram-se dos demais, por favorecerem incrementos significativos em todas as variáveis analisadas para o crescimento inicial das plantas de pinhão manso. O tratamento com o isolado AC12, apesar de não ter sido o mais eficiente em promover o crescimento da planta em termos de altura, mostrou-se eficiente para todas as variáveis relacionadas à matéria seca da planta. O isolado AC92M proporcionou efeitos significativos na produção de matéria seca das raízes e na matéria seca total das plantas. Já o AC147 só promoveu incremento significativo na produção de matéria seca das raízes (Tabela 4).

Experimento II - solo de área de jaqueira infestado e incubado com actinomicetos

Crescimento de plantas de girassol

Ao analisar a altura das plantas de girassol cultivadas em solo da área de jaqueira (SJ) infestados e incubados com diferentes isolados de actinomicetos, observaram-se, efeitos significativos nos tratamentos com os isolados AC12, AC26L, AC39, AC43, AC92C, AC92M, AC103 e AC147, destacando-se os tratamentos com os isolados AC92M e AC39, que proporcionaram os maiores incrementos na altura do girassol. No entanto, as plantas de girassol cultivadas em SJ tratado com os isolados AC16, AC 26C, AC37 e AC50 não apresentaram efeitos significativos para a altura das plantas. Diferentemente dos demais isolados de actinomicetos, o AC30 mostrou-se prejudicial ao crescimento das plantas de girassol em SJ (Tabela 5).

Em relação à produção de matéria seca das folhas de girassol cultivado em SJ, observou-se que, com exceção do isolado AC30 que foi prejudicial ao crescimento das plantas e o AC37 que não proporcionou resultados superiores aqueles observados para o tratamento testemunha, os demais tratamentos com os isolados de actinomicetos apresentaram incrementos significativos. Os maiores

incrementos foram obtidos nos tratamentos com os isolados AC147 (34%), AC26L (30%) e AC92M (28%) (Tabela 5).

Tabela 5. Crescimento de plantas de girassol cultivadas em solo de área de jaqueira infestado e incubado com actinomicetos.

Trat.*	Altura (cm planta ⁻¹)	Matéria seca (g planta ⁻¹)				
		Folha	Caule	Aérea	Raiz	Total
AC - 12	40,57b	7,27b	9,56a	16,83a	5,62a	22,45b
AC - 16	37,90c	6,94b	8,18b	15,12b	4,38b	19,50c
AC - 26C	38,57c	7,16b	7,98b	15,14b	4,26b	19,40c
AC - 26L	40,77b	8,04a	10,39a	18,43a	5,88a	24,31a
AC - 30	31,78d	4,97d	4,95c	9,92c	3,82b	13,74d
AC - 37	36,01c	6,36c	7,44b	13,80b	4,46b	18,26c
AC - 39	43,11a	7,34b	10,73a	18,07a	5,77a	23,84a
AC - 43	40,07b	7,48b	9,46a	16,94a	5,33a	22,27b
AC - 50	36,71c	6,85b	8,26b	15,11b	4,44b	19,55c
AC - 92C	40,07b	7,46b	10,20a	17,66a	5,70a	23,36a
AC - 92M	45,37a	7,92a	11,00a	18,92a	5,50a	24,42a
AC - 103	40,48b	6,81b	9,28a	16,09a	5,56a	21,65b
AC - 147	41,24b	8,27a	10,70a	18,97a	5,82a	24,79a
Testemunha	38,00c	6,19c	7,81b	14,00b	4,19b	18,19c
CV (%)	8,11	9,88	19,14	13,77	17,67	12,21

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Isolados de actinomicetos identificados por código. Testemunha – tratamento sem infestação.

Na avaliação da matéria seca do caule, parte aérea e raízes de plantas de girassol cultivadas em SJ, observou-se, que os isolados AC12, AC26L, AC39, AC43, AC92C, AC92M, AC103 e AC147, promoveram incrementos significativos para todas estas variáveis, com incrementos na produção de matéria seca (MS) do caule em até 41%, MS da parte aérea em até 35%, MS das raízes em até 40% e MS total em até 36%, quando comparados com a testemunha. No entanto, os tratamentos com os isolados AC16, AC26C, AC37 e AC50 não diferenciaram da testemunha, em relação á produção de MS do caule, MS da parte aérea, MS das raízes e MS total das plantas de girassol cultivadas em SJ. Já o isolado AC30 foi prejudicial à

produção de MS de todas as partes do girassol cultivado em SJ, exceto a MS das raízes, que não diferenciou da testemunha. O tratamento com o isolado AC92M foi o que apresentou os melhores resultados em todas as variáveis analisadas no crescimento de plantas de girassol cultivadas em solo de área de jaqueira (Tabela 5).

Crescimento de plantas de pinhão manso

Foram observados incrementos significativos na altura das plantas de pinhão manso cultivadas em solo SJ tratado com os isolados de actinomicetos AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC43, e AC92C, AC103 e AC147. Entretanto os tratamentos com os isolados AC16, AC37, AC50 e AC92M não diferenciaram da testemunha. Já o isolado AC30 foi prejudicial ao crescimento das plantas de pinhão manso cultivadas em SJ (Tabela 6).

Tabela 6. Crescimento de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de jaqueira infestado e incubado com actinomicetos.

Trat.*	Altura (cm planta ⁻¹)	Matéria seca (g planta ⁻¹)				
		Folha	Caule	Aérea	Raiz	Total
AC - 12	33,99b	8,47b	14,48b	22,95b	4,60b	27,55b
AC - 16	33,20c	8,09c	14,35b	22,44b	4,49b	26,93b
AC - 26C	34,44b	8,90a	16,51a	25,41a	4,98a	30,39a
AC -26L	34,87b	8,66b	14,66b	23,32b	4,55b	27,87b
AC - 30	28,85d	6,56e	12,12c	18,68c	4,31b	22,99c
AC - 37	33,24c	7,83c	14,88b	22,71b	5,12a	27,83b
AC - 39	36,78a	9,05a	15,98a	25,03 ^a	5,04a	30,07a
AC - 43	34,23b	8,33b	15,34b	23,67b	5,02a	28,69b
AC - 50	32,17c	7,58d	14,76b	22,34b	5,22a	27,56b
AC - 92C	35,94a	9,11a	16,51a	25,62 ^a	5,23a	30,85a
AC - 92M	33,16c	7,94c	15,05b	22,99b	4,53b	27,52b
AC - 103	34,11b	8,12c	15,61b	23,73b	4,80b	28,53b
AC - 147	36,66a	9,27a	17,11a	26,38 ^a	5,25a	31,63a
Testemunha	31,20c	6,87e	13,38c	20,25c	3,60c	23,85c
CV (%)	4,74	5,77	8,32	6,59	13,11	7,02

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Isolados de actinomicetos identificados por código. Testemunha – tratamento sem infestação.

Os isolados de actinomicetos AC39, AC92C e AC147 destacaram-se dos demais, por promoverem maiores rendimentos em todas as variáveis analisadas nas plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de jaqueira, seguidos pelo isolado AC26C, que também promoveu excelente produção de matéria seca de todas as partes da planta (tabela 6).

O cultivo de plantas de pinhão manso em solo de área de jaqueira tratado com diferentes isolados de actinomicetos proporcionou aumentos de até 18% na altura das plantas, de até 35% na MS das folhas, de até 28% na MS do caule, de até 30% na MS da parte aérea, de até 46% na MS das raízes e de até 33% na MS total das plantas, quando comparado com o tratamento testemunha.

Comparação do crescimento das plantas de girassol e pinhão manso cultivadas em solo de área de pastagem e em solo de área de jaqueira infestado e incubado com isolados de actinomicetos

A infestação e incubação de isolados de actinomicetos em dois solos com características químicas diferentes promoveram efeitos expressivos no crescimento de plantas de girassol e pinhão manso, cultivadas em casa de vegetação (Figuras 2 e 3).

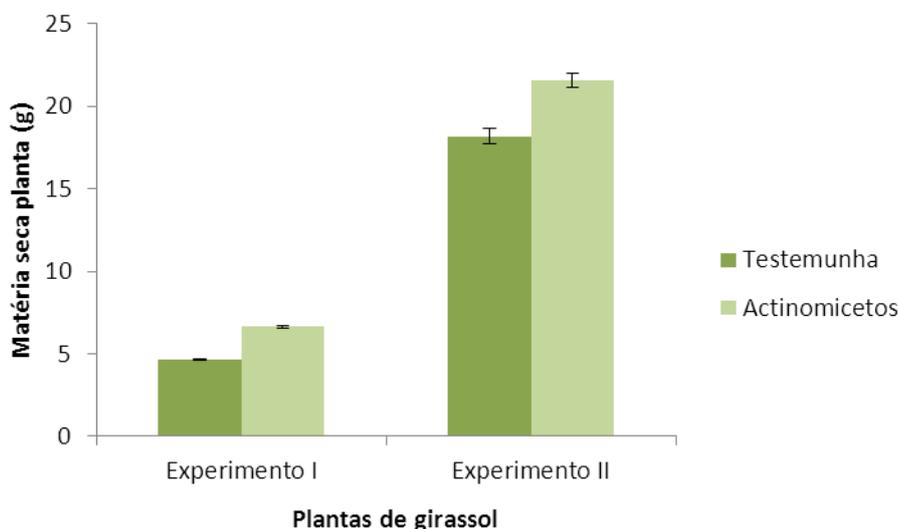


Figura 2. Matéria seca de plantas de girassol cultivadas em dois solos com características químicas diferentes, infestados e incubados com treze isolados de estreptomicetos. Experimento I - solo de área de pastagem, experimento II - solo de área de jaqueira. As barras representam o erro padrão da média.

Observou-se que as plantas de girassol obtiveram maior crescimento quando cultivadas em solo infestado e incubado com actinomicetos, tanto no experimento I, quanto no experimento II (Figura 2). No experimento I, as plantas de girassol foram cultivadas em solo de área de pastagem, um solo mais pobre em nutrientes e matéria orgânica. No experimento II, as plantas de girassol foram cultivadas em solo de área com plantio de jaqueira, um solo mais rico em nutrientes e matéria orgânica (Figura 1).

Verificou-se também no experimento I que os actinomicetos promoveram incrementos médios significativos de 39% para produção de matéria seca das plantas de girassol. No experimento II, observaram-se incrementos médios significativos de 36% na produção de matéria seca das plantas de girassol (Figura 2).

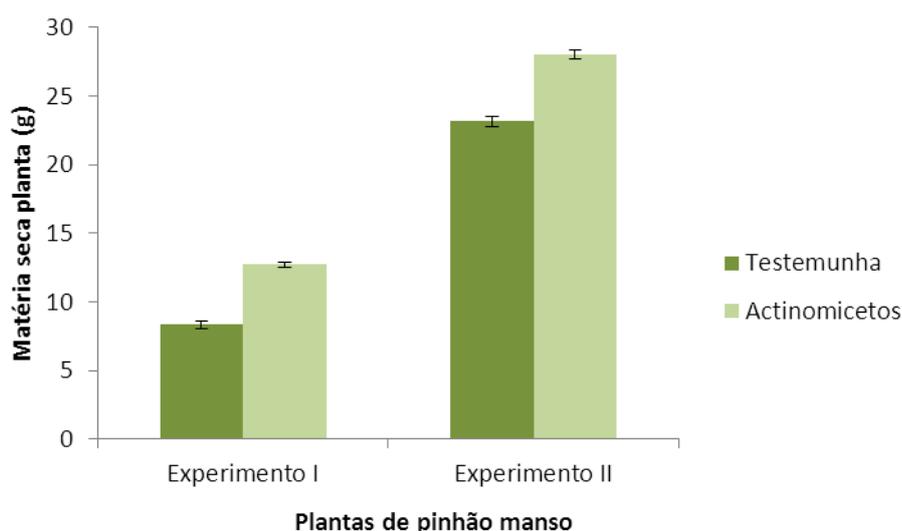


Figura 3. Matéria seca de plantas de pinhão manso cultivadas em dois solos com características diferentes, infestados e incubados com treze isolados de estreptomicetos. Experimento I - solo de área de pastagem, experimento II - solo de área de jaqueira. As barras representam o erro padrão da média.

Semelhantemente ao girassol, as plantas de pinhão manso cresceram mais quando cultivadas em solo infestado e incubado com actinomicetos. No experimento I, o cultivo foi conduzido com solo de área de pastagem, sendo observado que os actinomicetos promoveram incrementos médios significativos de 36% para produção

de matéria seca total das plantas de pinhão manso. No experimento II, em que plantas de pinhão manso foram cultivadas em solo de área de jaqueira, observaram-se incrementos médios significativos de 33% na produção de matéria seca total das plantas (Figura 3).

DISCUSSÃO

Os actinomicetos favoreceram significativamente o crescimento das plantas de girassol e pinhão manso cultivadas em dois solos com características químicas e teores de matéria orgânica diferentes. As plantas de girassol e pinhão manso apresentaram maior crescimento quando cultivadas no solo de área de jaqueira (SJ) (Figuras 2 e 3), devido à maior disponibilidade de nutrientes apresentada no solo SJ (Tabela 1). Todavia, essas oleaginosas obtiveram incrementos significativos de até 21% na altura final da planta e de até 39% na matéria seca total, quando cultivadas em ambos os solos infestados e incubados com actinomicetos.

A infestação e incubação de ambos os solos, de área de pastagem e de área de jaqueira, com isolados de actinomicetos do gênero *Streptomyces*, seguido de incubação por 45 dias, proporcionou o aumento da população de actinomicetos nestes solos (Figura 1), demonstrando que ocorreu crescimento desses isolados no solo durante a incubação. Também foram observados incrementos significativos na altura e na matéria seca da raiz e parte aérea das plantas de girassol e pinhão manso, cultivadas nos solos infestados e incubados com esses isolados de actinomicetos, sugerindo que o crescimento e atividade metabólica dos actinomicetos nesses solos foram benéficos ao crescimento das plantas, possivelmente devido à ação destes organismos na matéria orgânica do solo e na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Sousa et al (2009), em estudos com plantas de tomateiro cultivadas em solo incubado por diferentes períodos de tempo com isolados de actinomicetos, verificaram aumentos na altura das plantas na ordem de 57,3% a 79,9% e indicaram a necessidade de incubação do substrato de produção de plantas com os isolados de estreptomicetos para que ocorresse o efeito benéfico no crescimento das plantas. Segundo estes autores, tais efeitos benéficos estão associados ao ciclo de vida dos actinomicetos e ao período necessário para a

produção de enzimas extracelulares para a decomposição da matéria orgânica presente no substrato de produção das plantas.

O ciclo de crescimento típico de um estreptomiceto envolve a germinação de esporos, formando hifas filamentosas que crescem na superfície do substrato (fonte de nutriente). As hifas formam ramificações que dão origem ao micélio denso (fase vegetativa). Em seguida, ocorre a segunda fase de crescimento aéreo, acompanhada da produção de metabólitos secundários, como os antibióticos. Nesta fase as hifas crescem para fora do micélio, algumas vezes formando estruturas helicoidais que dão origem a cadeia de esporos, que iniciam novamente o ciclo vegetativo (Goriely & Tabor, 2003).

As plantas de girassol e pinhão manso obtiveram melhor crescimento quando cultivadas em solo infestado e incubado com actinomicetos, com os maiores percentuais de rendimento sendo observados na matéria seca das plantas. De acordo com Azevedo (2003), a produção de matéria seca tem sido considerada um dos melhores parâmetros para caracterizar a qualidade das plantas.

Observou-se também que as plantas crescidas nos solos incubados com actinomicetos apresentaram os maiores rendimentos de matéria seca nas raízes, tanto na cultura do girassol quanto na do pinhão manso. Lima (2003), estudando o efeito da inoculação de *Streptomyces* spp., em plantas de tomateiro obteve incrementos de 21,53 % no crescimento da parte aérea e de 94 % na produção de matéria de seca de raízes de tomateiro.

Nos testes *in vitro* foi verificado que todos os isolados de estreptomicetos utilizados nestes experimentos apresentaram a capacidade de produzir o ácido indolacético. Estes dados sugerem que pode ter ocorrido a ação direta dos actinomicetos na promoção de crescimento das plantas de girassol e pinhão manso, por meio da produção deste fitohormônio. Segundo Pedrinho (2009), a principal auxina encontrada nas plantas é o ácido indolacético, conhecido como AIA. O principal efeito deste fitohormônio é promover o crescimento de raízes e caules, através do alongamento das células recém-formadas nos meristemas, e conseqüentemente, o crescimento do vegetal. Dentre os efeitos proporcionados pelo ácido indolacético no crescimento vegetal, evidencia-se o desenvolvimento de raízes laterais e alongamento das raízes primárias (Oliveira et al., 2003), fato que pode justificar o aumento no volume radicular das plantas cultivadas em solo infestado com os actinomicetos.

Neste trabalho, observou-se a capacidade desses isolados de actinomicetos de produzirem enzimas extracelulares. Verificou-se que, exceto o AC30, todos os isolados de actinomicetos estudados foram capazes de produzir celulase e também que 77% dos isolados estudados apresentaram a capacidade de produzir xilanase. Estas enzimas atuam na decomposição de materiais orgânicos vegetais como celulose e lignina. Certamente, estes isolados desempenharam um importante papel na degradação de matéria orgânica no solo, contribuindo para a maior disponibilização de nutrientes e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento das plantas. Portanto, os actinomicetos podem ter proporcionado o melhor crescimento das plantas de girassol e pinhão manso, por mecanismos de decomposição da matéria orgânica e mineralização ou solubilização de nutrientes.

Além disso, a maioria dos isolados também apresentou capacidade de produzir quitinase, enzima que atua na degradação de quitina que é um importante componente do exoesqueleto dos invertebrados e da parede celular dos fungos presentes no solo. Provavelmente esses isolados são eficientes no controle de fitopatógenos, influenciando indiretamente no maior crescimento das plantas.

Segundo Jain & Jain (2007), entre os microrganismos solubilizadores de fosfato, os actinomicetos apresentam destaque especial por eles sobreviverem em uma variedade de solos e por produzirem uma infinidade de compostos bioativos que podem beneficiar o crescimento das plantas. Entretanto, os isolados testados no presente trabalho não apresentaram capacidade *in vitro* de solubilização de fosfato. A metodologia para solubilização de fosfato utilizada no presente trabalho apresentou resultados positivos para alguns testes com fungos (dados não apresentados), mas não apresentou resultados positivos para nenhum dos isolados de actinomicetos. Possivelmente, esta metodologia não é adequada para estudos com actinomicetos e novos testes deverão ser feitos com outras metodologias ou, a solubilização de fosfato não foi um fator que interferiu na disponibilidade desse elemento para as plantas. Os níveis de fósforo limitam o crescimento e o desenvolvimento das espécies vegetais, pois este elemento está diretamente relacionado com os processos de armazenamento e transferência de energia para manutenção de processos fisiológicos, entre eles a fotossíntese (Barker & Pilbean, 2007). Os solos de área de pastagem e da área de plantio de jaqueira apresentaram níveis de fosforo de 4 mg.dm^{-3} e 24 mg.dm^{-3} , respectivamente, sendo estes níveis considerados baixo e médio. Considerando que este é um elemento de baixa

mobilidade e que o melhor crescimento radicular promove maior absorção de fósforo e, conseqüentemente, melhor crescimento da planta e nutrição fosfatada, sugere-se que os incrementos observados no crescimento radicular das plantas cultivadas nos solos com actinomicetos possibilitaram o melhor contato das raízes com o fósforo no solo, favorecendo o crescimento das plantas.

No presente trabalho pode-se observar a manifestação diferenciada dos isolados de actinomicetos na promoção de crescimento das plantas de girassol e pinhão manso, em dois solos com características diferentes. Tais variações, provavelmente são atribuídas às interações microrganismo–solo-planta, ou seja, interações entre os isolados de actinomicetos com outros microrganismos presentes no solo, com as características diferentes de cada solo e também com a planta e seus exsudatos, considerando que o girassol é uma planta de ciclo curto e o pinhão manso uma cultura perene.

CONCLUSÕES

1. A infestação e incubação do solo com isolados de actinomicetos influenciaram expressivamente na produção de matéria seca das plantas de girassol e pinhão manso, independente das características químicas do solo.
2. Os isolados de actinomicetos podem ser benéficos, prejudiciais ou neutros ao crescimento de girassol e pinhão manso, necessitando de seleção destes isolados com potencial para a promoção de crescimento das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTOUN, H.; PRE ´VOST, D., **Ecology of plant growth promoting rhizobacteria**. In: Siddiqui, Z.A. (Ed.), PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer, Dordrecht, p.1–38, 2005.

ARRUDA, F.P. de; BELTRÃO, N.E. de M.; ANDRADE, A.P. de; PEREIRA, W.E.; SEVERINO, L.S., “Cultivo do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) como Alternativa para o Semiárido Nordeste”. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras**, v.8, n.1, p.789-799, Campina Grande, PB. 2004.

AZEVEDO, M.I.R. **Qualidade de plantas de cedro-rosa (*Cedrel Afissilis Vell.*) e de ipê-amarelo (*Tabebuia serretifolia (Vahl) Nich.*) produzidas em diferentes substratos e tubetes**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

BARKER, A.V.; PILBEAN, D.J. **Handbook of plant nutrition**. New York: Taylor & Francis Group, 2007, 613p.

BARRETO, T.R. **Densidade populacional, diversidade genética e atividade de promoção de crescimento de actinomicetos associados à rizosfera de cacauzeiro**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA. 46p., 2007.

BEM, L. & FAINA K. Rizobactérias promotoras do crescimento de Planta. **Annual Review of Microbiology**, Holanda, v.63, p.541-556, 2009.

BRIC, J.M.; BOSTOCK, R.M.; SILVERSTONE, S.E. Rapid assay for indolacético acid production by bacteria immobility on a nitrocellulose membrane. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.57, p.535-538, 1991.

CARRER, R.F.; ROMEIRO, R.S.; GARCIA, F.A. O. Biocontrole de doenças de parte aérea do tomateiro por *Nocardioides termo lilacinus*. **Tropical Plant Pathology**, v.33, n.6, p.457-460, 2008.

DICKMANN, L.; CARVALHO, M.A.C., BRAGA, L.F.; SOUSA, M.P. Comportamento de Sementes de Girassol (*Helianthus annuus* L.) Submetidas a Estresse Salino. **Revista de Ciências Agro Ambientais**, Alta Floresta, v.3, p.64-75, 2005.

DING, C.H.; JIANG, Z.Q.; LI, X.T.; LI, L.T.; KUSAKABE, I. High activity xilanase production by *Streptomyces olivaceoviridis* E-86. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**. v.20, p.7-10, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de análise de solos**. 2ª ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212p., 1997.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para windows versão 4.0 e reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45, 2000, são Carlos, **Programas e resumos...** UFSCar, p.255-258, 2000.

FREITAS, R.F.S.; CASTRO, C.A.; MODENESI FILHO, G.D.; SILVA, J.C.; MARQUES, J.A.; TEIXEIRA, K.R.; TOLEDO, L.G.; PRADOS, L.M.Z. **Contribuição ao estudo da extração do óleo do pinhão manso**. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, PB. 7p., 2010.

GORDON, S.A.; WEBER, R.P. Colorimetric estimation of indoleacetic acid. **Plant Physiology**, Bethesda, v.26, p.192-195, 1951.

GORIELY, A.; TABOR, M. Biomechanical models of hyphal growth in actinomycetes. **Journal of Theoretical Biology**. v.22, p. 211-218, 2003.

INBAR, E.; GREEN, S.J.; HADAR, Y.; MINZ, D. Competing factors of compost concentration and proximity to root affect the distribution of streptomycetes. **Microbial Ecology**, v.50, p.73-81, 2005.

JAIN P.K.; JAIN P.C. Isolation, characterization and antifungal activity of *Streptomyces sampsonii* GS1322. **Indian J. Exp. Biol.**, v.45, p.203-206, 2007.

KATZNELSON, H.; BOSE, B. Metabolic activity and phosphate-dissolving capability of bacterial isolates from wheat roots, rhizosphere, and non-rhizosphere soil. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.5, p.79-85, 1959.

KIM, B.-J.; KIM, C.-J.; CHUN, J.; KOH, Y.-H.; LEE, S.-H.; HYUN, J.-W.; CHA, C.Y.; KOOK, Y.-H. Phylogenetic analysis of the genera *Streptomyces* and *Kitasatospora* based on partial RNA polymerase β -subunit gene (*rpoB*) sequences. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v.54, p.593-598, 2004.

LEWIS, K.J. **Biological control mechanism of the mycoparasite *Phytiumoli gandum* Dreschler**. PhD Thesis. Sheffield. University of Sheffield. 1988.

Li, J.; Jiang, Z.Q.; Xu, L.P.; Sun, F.F.; Guo, J.H. Characterization of chitinase secreted by *Bacillus cereus* strain CH2 and evaluation of its efficacy against *Verticillium* wilt of eggplant. **Biocontrol**. v.53, p.931-944, 2008.

LIMA, J.L. **Seleção de actinomicetos para o controle biológico de *Ralstonia solanacearum* e promoção de crescimento de plantas de tomateiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, BA. 82p., 2003.

OLIVEIRA, A.L.M.; URQUIAGA S.; BALDANI, J.I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 40p., 2003.

OLIVEIRA, M.F; VIEIRA, O.V; LEITE, R.M.V.B.C. **Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa**. Embrapa, Londrina-PR, n.273, 27p., 2004.

PAIXÃO, L.B.V.S. **Actinomicetos promotores de crescimento e agentes de biocontrole do nematoide cavernícola da bananeira *Radopholus similis***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA. 59p., 2008.

PEDRINHO, E.A.N. **Isolamento e caracterização de bactérias promotoras de crescimento de milho (*Zea mays* L.)**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, 87p. 2009.

PELÁEZ, F. The historical delivery of antibiotics from microbial natural products - Can history repeat? **Biochemical Pharmacology**, London, England, v.71, p.981–990, 2006.

POTER, J.N.; WILHELM, J.J.; TRESNER, H.D. Method for the preferential isolation of actinomycetes from soils. **Applied Microbiology**. v.8, p.174-178, 1960.

RENEWICK, A.; CAMPBELL, R. COE, S. Assessment of in vivo screening systems for potencial biocontrol agents of *Gaeumannomyces graminis*. **Plant Pathology**, London, v.40, p.524-532, 1991.

SHAHIDI, B.G.H.; FOOLADI, M.H.; MAHDAVI, M.J.; SHAHGHASI, A. Broadpectrum, a Novel Antibacterial from *Streptomyces* sp. **Biotechnol**. v.3, p.126-130, 2004.

SILVA, L.X. & TILLMANN E.A. **Viabilizando o desenvolvimento sustentável através do girassol: Discussões analíticas e evidências empíricas para o sul do Brasil**. XVI Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco – Acre, 19p., 2008.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC, ABEAS, Lavras: ESAL, FAEP, 1998, 238p.

SOARES, A.C.F.; SOUSA, C. da S.; GARRIDO, M. da S.; PEREZ, J.O. Production of Streptomyces inoculum in sterilized rice. **Scientia Agricola**, v.64, p.641 - 644, 2007.

SOUSA, C.S. **Estreptomicetos promotores de crescimento e agentes de biocontrole da meloidoginose no tomateiro**. Dissertação de Mestrado, Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, BA. 102p., 2006.

SOUSA, C. da S.; SOARES, A.C.F.; GARRIDO, M. da S. Produção de plantas de tomateiro em substrato orgânico infestado e incubado com estreptomicetos. **Bragantia**, v.68, n.1, p.195-203, 2009.

TSAVKELOVA, E.A.; CHERDYNTSEVA, T.A.; BOTINA, S.G.; NETRUSOV, A.L. Bacteria associated with orchid roots and microbial production of auxin. **Microbiol Res**, v.162, p.69–76, 2007.

TUITE, J. **Plant Pathological Methods: Fungi and Bacteria**. Minneapolis. Burgess Publishing Company. 1969.

VAN LOON, L.C. Plant response to plant growth-promoting rhizobacteria. **Eur J Plant Pathology**, v.119, p.243–254, 2007.

CAPITULO 2

**ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE GIRASSOL
(*Helianthus annuus* L.) E PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.): NUTRIÇÃO
DAS PLANTAS²**

² Capítulo a ser ajustado e submetido ao periódico Revista Brasileira de Ciência do solo

**ESTREPTOMICETOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE GIRASSOL
(*Helianthus annuus* L.) E PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.): NUTRIÇÃO
DAS PLANTAS**

Autor: Marcos Antônio Marques de Brito

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Fermino Soares

Co-orientador: Prof. Dr. André Dias de Azevedo

RESUMO: Os actinomicetos são bactérias Gram positivas, que desempenham importante papel no controle biológico e na promoção do crescimento das plantas. Com a implantação do Plano Nacional de Produção de Biodiesel, surgiu o interesse na produção comercial do girassol e do pinhão manso, uma vez que essas oleaginosas apresentam características favoráveis para a produção do biodiesel. O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito da infestação e incubação do solo com estreptomicetos na nutrição de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) de plantas de girassol e de pinhão manso. Os isolados de estreptomicetos apresentaram capacidade de produção de enzimas extracelulares, como celulase (92%) e xilanase (77%), e também a produção de ácido indolacético (100%), mas não apresentaram capacidade de solubilização de fosfato *in vitro*. Em casa de vegetação foram montados dois experimentos com dois solos com características químicas diferentes, infestados e incubados por quarenta e cinco dias com treze isolados de actinomicetos. Fez-se a semeadura, seguindo o cultivo de plantas de girassol e pinhão manso até 60 dias após a germinação, avaliando-se no final do cultivo, a altura das plantas, produção de matéria seca, teores e acúmulos de N, P e K. Em relação ao acúmulo de nutrientes no limbo foliar e raiz de plantas de girassol cultivadas em solo de área de pastagem (SP), pobre em nutrientes, observaram-se incrementos de até 50% para (N), 46% para (P) e 37% para (K) no limbo foliar e de 51% (N e P) e 43% (K) na raiz. Em solo de área de jaqueira (SJ), também com isolados de actinomicetos, verificaram-se incrementos de até 38% (N e P) e 27% (K) no limbo foliar e de 42% (N), 44% (P) e 33% (K) na raiz. Em relação ao acúmulo de nutrientes no limbo foliar e na raiz de plantas de pinhão manso cultivadas em SP, foram observados incrementos de até 46% (N), 40% (P) e 36% (K) no limbo foliar e de 49% (N), 46% (P) e 39% (K) na raiz. Em solo SJ, as plantas de pinhão manso apresentaram incrementos em até 38% (N), 35% (P) e 27% (K) no limbo foliar e de 45% (N), 44% (P) e 36% (K) na raiz. A infestação e incubação do solo com isolados selecionados de estreptomicetos proporcionaram incrementos significativos no crescimento e nutrição nitrogenada e fosfatada de plantas de girassol e pinhão manso. Entre os isolados estudados, os melhores quanto à nutrição e promoção de crescimento dessas plantas foram AC12, AC26L, AC26C, AC39, AC92C, AC92M e AC147. O crescimento das plantas de girassol e pinhão manso foi altamente correlacionado com os teores de nitrogênio e fósforo.

Palavras-chave: actinomicetos, oleaginosas, nutrição das plantas.

STREPTOMYCETES AND GROWTH PROMOTION OF SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) AND JATROPHA (*Jatropha curcas* L.): NUTRITION OF THESE PLANTS

Author: Marcos Antônio Marques de Brito

Advisor: Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Fermino Soares

Co-advisor: Prof. Dr. André Dias de Azevedo

ABSTRACT: Actinomycetes are Gram positive bacteria that have an important role in biological control and plant growth promotion. With the National Program of Biodiesel Production, there is an increased interest in commercial production of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and physic nut (*Jatropha curcas* L.), since these oil crops present favorable characteristics for biodiesel production. This work aimed to study the effect of inoculation and incubation of soil with streptomycetes in nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) nutrition of sunflower and physic nut plants. The streptomycete isolates presented the capacity for production of extra-cellular enzymes, such as cellulase (92%) and xylanase (77%), and also the production of indol acetic acid (100%), but did not show the capacity for in vitro phosphate solubilization. Two experiments were carried out under greenhouse conditions, with two soils with different chemical characteristics, which were inoculated with the streptomycete isolates and incubated for forty five days. Soil chemical analysis and quantification of actinomycete population were performed, and sunflower and physic nut were sown and cultivated for sixty days. Plant height, dry weight matter, and leaf and root contents of N, P, and K were determined. For nutrient accumulation in leaf and roots of sunflower plants cultivated in soil from pasture area (SP), poor in nutrients, streptomycete isolates promoted increments of 50% for nitrogen (N), 46% for phosphorus (P), and 37% for potassium (K) contents in leaves and of 51% of nitrogen and phosphorus content and 43% of potassium content in roots. Sunflower plants cultivated in soil from an area with jackfruit (SJ), also with streptomycete isolates, presented an increase in nutrient leaf contents of 38% for N and P, and 27% for K, and also in root contents of 42% (N), 44% (P) and 33% (K). Nutrient contents in leaves and roots of physic nut plants also increase in SP soil inoculated with streptomycetes, with increments of up to 46% (N), 40% (P) e 36% (K) in leaves, and 49% (N), 46% (P) and 39% (K) in roots. In SJ soil, increments in nutrient leaf contents of physic nut plants were up to 38% (N), 35% (P) and 27% (K), and in root contents were as high as 45% (N), 44% (P), and 36% (K). Inoculation and incubation of soil with selected isolates of streptomycetes promoted significant increases in growth and nitrogen and phosphorus nutrition of sunflower and physic nut plants. Within the tested isolates, the best ones for nutrition and growth promotion were AC12, AC26L, AC26C, AC39, AC92C, AC92M and AC147. Growth of sunflower and physic nut plants was highly correlated with plant nitrogen and phosphorus levels.

Keywords: actinomycetes, oilseed plants, plant nutrition.

INTRODUÇÃO

Para que os sistemas agrícolas sejam estáveis e continuem produtivos é necessário manejar de forma adequada as propriedades do solo e adicionar os nutrientes, conforme a necessidade da cultura, por meio de métodos racionais que não tornem oneroso o processo de produção (Wendt et al., 2005).

O uso de insumos biológicos permite reduzir a aplicação de adubos químicos que podem agredir o ambiente e atende à crescente demanda da sociedade pela produção de alimentos mais saudáveis, associada à preservação do meio ambiente, trazendo para este século um grande desafio que é a melhor integração dos fatores biológicos nos sistemas de produção.

As rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCPs), tais como os actinomicetos, quando introduzidas nos sistemas de produção agrícola trazem benefícios tanto de ordem econômica quanto de ordem ecológica, por promoverem o melhor crescimento e produção vegetal, sem causar os problemas ambientais e riscos à saúde humana e animal, freqüentemente observados com os insumos químicos (Freitas & Vildoso, 2004).

Os actinomicetos são bactérias Gram-positivas pertencentes à classe Actinobacteria, predominantemente filamentosos. A maioria é aeróbia, mas existem alguns actinomicetos anaeróbios ou anaeróbios facultativos. Estes crescem preferencialmente em solos de pH neutro a alcalino, embora muitos actinomicetos cresçam em solos ácidos (Garrity et al., 2003).

No solo, os actinomicetos são numericamente menos dominantes que outras populações de bactérias, porém são mais numerosas que as populações fúngicas, compreendendo mais de 30% da população total de microrganismos no solo. O gênero mais abundante é o *Streptomyces* (70-90%) das colônias desenvolvidas em meio de cultura sólido, seguido de *Neocardia* (5-30%) e *Micromonospora* (1-15%) (Gava & Neves, 2002; Otiniano et al., 2006).

A morfologia dos actinomicetos varia de acordo com o gênero. Podem ser esféricos ou bacilares, formam filamentos, hifas, que compõem um micélio de coloração variada (Chater, 2006).

A reciclagem de nutrientes no ambiente requer a ação da comunidade microbiana, na qual os actinomicetos são importantes degradadores primários. A grande importância destes microrganismos na natureza é o seu papel na

degradação de matéria orgânica e na síntese de vários tipos de enzimas extracelulares que degradam moléculas complexas, especialmente celulose, lignocelulose, lignina e xilana, presentes em abundância na biomassa vegetal (Moreira & Siqueira, 2002; Peláez, 2006).

Os actinomicetos também possuem a característica marcante de produzirem inúmeros metabólitos bioativos, incluindo antibióticos, sideróforos e enzimas antimicrobianas (Shahidi et al., 2004). O gênero *Streptomyces*, dentre outras ações, são os principais contribuintes do tampão biológico no solo, em razão da diversidade de metabólitos secundários produzidos e por possuir capacidade competitiva por substratos (Inbar et al., 2005).

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura de importância reconhecida e que pode ser cultivado em todos os continentes. Adapta-se a diferentes condições edafoclimáticas e no Brasil é cultivado desde o Rio Grande do Sul até o Estado de Roraima, no hemisfério norte (Leite et al., 2007).

O girassol é uma das oleaginosas que compõem o programa do biodiesel brasileiro (Oliveira et al., 2004). Entretanto, a sua importância econômica mundial deve-se à excelente qualidade do óleo comestível que se extrai de seus aquênios e ao aproveitamento dos subprodutos de extração, tais como tortas e/ou farinhas protéicas utilizadas na fabricação de ração para animais (Dickmann et al., 2005).

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) pertencente à família das Euforbiáceas, sendo uma espécie que se encontra em processo de domesticação, é uma cultura perene de fácil propagação, monóica, rústica, tolerante à seca, adaptável a diversos ambientes e condições edafoclimáticas. Recentemente, tem assumido destacada importância no cenário nacional como uma espécie vegetal produtora de óleo, potencialmente capaz de contribuir para a produção de energia renovável, além de ser adequada para produção em pequenas propriedades, contribuindo desta forma, para o desenvolvimento da agricultura familiar (Francis et al., 2005).

Oleaginosas perenes como pinhão manso, constituem-se num grande potencial para a região de clima intertropical, já que apresentam alta produtividade de óleo por hectare e longevidade de cultivo (Aquino et al., 2009). Está comprovado que a poluição do biodiesel é mínima e a emissão de CO₂ pode ser reciclada nas grandes plantações de pinhão manso, sem aumentar seu conteúdo no ambiente (Freitas et al., 2010).

Sabendo que os actinomicetos atuam na degradação de matéria orgânica disponibilizando maiores teores de nutrientes do solo para as plantas, o objetivo deste trabalho foi analisar o efeito de actinomicetos na nutrição de N, P e K de girassol e pinhão manso.

MATERIAL E MÉTODOS

Isolados de actinomicetos

Foram avaliados isolados de actinomicetos identificados como pertencentes ao gênero *Streptomyces*, provenientes da coleção do Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus Cruz das Almas – BA, sendo estes identificados pelos seguintes códigos: AC12, AC16, AC26C, AC26L, AC30, AC37, AC39, AC43, AC50, AC92C, AC92M, AC103 e AC147.

Multiplicação dos actinomicetos

Os isolados de estreptomicetos, preservados em glicerol 20% a temperatura de -18°C , foram multiplicados em placas de Petri com meio de cultura sólido AGS (arginina-glicerol-ágar), por um período de dez dias, em câmara de crescimento B.O.D. a $28\pm 2^{\circ}\text{C}$. O meio AGS continha: 1 g de L-arginina; 12,5 ml de glicerol; 1 g de K_2HPO_4 ; 1 g de NaCl; 0,5 g de $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1 ml de solução de micronutrientes; 20 g de ágar em 1 litro de água destilada, com pH ajustado para 7,0. A solução de micronutrientes continhas: 1 g de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 0,1 g de $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ em 100 ml de água destilada (Poter, et al., 1960).

Adicionaram-se 500 ml de água destilada a 300 g de arroz parbolizado em um béquer de dois litros, o qual permaneceu a temperatura ambiente por 1 hora para hidratação do arroz. Após este período, o excesso de água foi removido, utilizando-se uma peneira de 35 mesh e porções de 50 g do arroz hidratado foram colocadas em frascos de Erlenmeyers de 250 ml, sendo estes fechados com algodão e uma cobertura com folha de papel e fio barbante em volta. O arroz foi esterilizado em autoclave a 120°C por 55 minutos (Soares et al., 2007).

Para infestação do arroz, as colônias de estreptomicetos, crescidas conforme descrito acima, foram raspadas com o auxílio de alça de platina e a adição de 10 ml de água esterilizada por placa de Petri. Cinco mililitros da suspensão de estreptomicetos contendo esporos e micélio foram adicionados a cada frasco com 50 g de arroz umedecido e esterilizado, preparando-se três frascos para cada isolado de estreptomiceto, sendo estes incubados em câmara de crescimento B.O.D. à temperatura de 28°C durante 14 dias.

Infestação de estreptomicetos no solo

Foram utilizados dois solos com manejos diferentes, um solo coletado em área de pastagem e outro solo coletado em área com plantio de jaqueira, ambos coletados no campus de Cruz das Almas da UFRB. Esses solos são classificados como Latossolo Amarelo Coeso A moderado, textura franco-argilo-arenosa, fase floresta estacional semidecidual, relevo plano. As amostras foram coletadas na camada de 0-20 cm e foram peneiradas em peneira com malha de 2 mm. O solo não foi esterilizado e foi distribuído em sacos de plástico com capacidade para 100 litros revestidos com saco de nylon, colocando-se 16 litros de solo por saco.

Para infestação do solo, para cada isolado de estreptomiceto 20 g do arroz colonizado foram transferidas para sacos de plástico descartáveis com capacidade para 1 litro, sendo adicionados 70 ml de água destilada esterilizada para homogeneização do inóculo. O saco contendo o inóculo e água foi fechado e agitado para permitir o desprendimento dos actinomicetos do arroz e, em seguida, a suspensão de inóculo foi adicionada ao solo, sendo este agitado para homogeneização do inóculo. Este procedimento foi repetido três vezes para melhor remoção do inóculo do arroz e infestação do solo. A quantidade de água adicionada ao arroz foi determinada de acordo com a umidade do solo, permitindo que o mesmo ficasse na faixa de friabilidade. Para o tratamento testemunha, adicionou-se apenas água ao solo. Após infestação, os sacos contendo solo foram mantidos na estufa agrícola à temperatura ambiente para incubação do solo por 45 dias, sendo os sacos agitados semanalmente, para homogeneização do solo e, periodicamente, adicionou-se água para manter o solo friável.

Quantificação dos estreptomicetos no solo infestado e incubado

Ao final do período de incubação, foram coletadas amostras de solo de todos os tratamentos e mantidas em sacos de plástico a -5°C , para quantificação da população de estreptomicetos. Foram pesadas 10 g e transferidas para frascos de Erlenmeyer de 250 ml com 90 ml de solução salina (0,85% NaCl) esterilizada. A suspensão de solo foi agitada por 30 minutos em agitador orbital à temperatura ambiente. Em seguida foram realizadas diluições decimais em série (1:10), em tubos de ensaio contendo 9 ml da solução salina estéril, obtendo-se diluições 10^{-1} a 10^{-4} .

De cada diluição foi transferida uma alíquota de 100 μl para placas de Petri contendo meio de cultura AGS sólido, com três repetições, e o inóculo espalhado na placa, utilizando-se uma alça de Drigalsky esterilizada por flambagem. Em seguida, as placas foram incubadas a 28°C por sete dias.

A população de actinomicetos no solo foi estimada pela contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) e utilização da seguinte expressão matemática: UFC g^{-1} de solo seco = $N \times 10 \times F \times Y$, sendo: N = número de colônias, F = 10 (fator de correção do plaqueamento de 100 μl de suspensão por placa), Y = fator de diluição.

Caracterização química do solo

Foram utilizados dois solos sob dois sistemas de manejo diferentes, um solo coletado em área de pastagem e outro solo coletado em área com plantio de jaqueira, ambos coletados no campus de Cruz das Almas da UFRB e classificados como Latossolo Amarelo Coeso A moderado, textura franco argilo arenosa, fase floresta estacional semidecidual, relevo plano. As amostras foram coletadas na camada de 0-20 cm.

A análise química da amostra de solo foi realizada conforme metodologia proposta pela Embrapa (1997). Foram determinadas as seguintes características químicas: pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al) e matéria orgânica (MO).

Crescimento de plantas de girassol e pinhão manso em solo infestado e incubado com actinomicetos

Para avaliar o efeito dos actinomicetos no crescimento de plantas de girassol e pinhão manso, foram instalados dois experimentos em estufa agrícola, com o solo de área de pastagem e o solo de área de jaqueira, incubados com os diferentes isolados de estreptomicetos, conforme descrito acima.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete repetições e quatorze tratamentos (treze isolados de estreptomicetos e a testemunha não inoculada). Cada repetição foi composta por uma planta cultivada em um saco de polietileno contendo 3 litros de solo.

A semeadura foi realizada no mesmo dia para todos os tratamentos, colocando-se três sementes em cada saco de plantas e o desbaste foi realizado quatro dias após a germinação, deixando uma planta por saco. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo durante todo o cultivo. Na avaliação da altura das plantas, foi considerada a distância compreendida entre a superfície do solo e a base da folha mais jovem.

As plantas foram coletadas aos 60 dias após a germinação, sendo separados os caules, folhas e raízes. As raízes foram lavadas em água corrente sobre peneiras de 2 mm e 1 mm, sobrepostas. Posteriormente as raízes, caules e folhas foram acondicionados separadamente em sacos de papel previamente identificados e em seguida colocados para secar em estufa com ventilação forçada a 65 °C, até atingir massa constante. Após a secagem dos materiais vegetais, utilizou-se uma balança de precisão para determinação da massa seca das folhas, caules e raízes. Em seguida o material foi moído e armazenado para determinação dos teores de nutrientes.

Preparo do extrato

Para análise dos solutos inorgânicos, o extrato foi preparado por digestão ácida em uma mistura de ácido sulfúrico concentrado e peróxido de hidrogênio a 30% (Jones, 2001). Com a utilização de uma balança analítica de precisão ($\pm 0,0001$ g) foi pesada e transferida para tubos de digestão, 0,5 g de tecido vegetal moído. Em seguida, foram adicionados 3,5 ml H_2SO_4 concentrado. Após 30 minutos de repouso em capela de exaustão de gases, foram acrescentados 3,5 ml H_2O_2 a 30%, sendo esta mistura aquecida em bloco de digestão na temperatura de 350°C por 30

min; Após resfriamento, foram acrescentados novamente alíquotas de 2,0 ml de H₂O₂ a 30% e esta etapa foi repetida até a digestão completa do material orgânico, ou seja, quando o material digerido apresentava aspecto transparente. Após esta etapa, o material digerido foi transferido para balão volumétrico de 100 ml e completado o volume com água deionizada. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em vasos plásticos com tampa, para a posterior determinação de nitrogênio, fósforo e potássio.

Determinação de Nitrogênio

O nitrogênio foi determinado colorimetricamente (625 nm), em uma alíquota de 0,4 ml do extrato convenientemente diluído, pelo método do fenol-hipoclorito (Weatherburn, 1967), utilizando o espectrofotômetro SP 2000 UV.

Determinação de fósforo

A determinação de fósforo foi realizada colorimetricamente (660 nm), em uma alíquota de 1,0 ml do extrato convenientemente diluído, pelo método do molibdato de amônio (Sarruge & Haag, 1974). Para a leitura do fósforo utilizou-se o espectrofotômetro SP 2000 UV.

Determinação de potássio

As determinações de potássio foram realizadas através de fotometria de chama, utilizando-se fotômetro de chama para leitura direta do extrato.

Características fisiológicas dos actinomicetos

Foi avaliada a presença de atividade xilanolítica, celulolítica, quitinolítica e de solubilização de fosfato em 13 isolados de actinomicetos: AC12, AC16, AC26C, AC26L, AC30, AC37, AC39, AC43, AC50, AC92C, AC92M, AC103 e AC147.

Produção de quitinase

A atividade quitinolítica foi determinada conforme a metodologia descrita por Renwick et al. (1991). Os isolados de actinomicetos foram infestados, em triplicata, com uma agulha em “picada” em placas de Petri com meio de sais minerais ágar (Tuite, 1969), suplementado com quitina coloidal, como única fonte de carbono. As

culturas foram incubadas em câmara de crescimento tipo B.O.D., a $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ por dez dias. Após esse período, a atividade quitinolítica dos isolados foi avaliada pela visualização de um halo hialino em torno das colônias crescidas.

Produção de celulase e xilanase

As atividades enzimáticas foram determinadas conforme metodologia descrita por Lewis (1988). Os isolados de actinomicetos foram infestados, em triplicata, com uma agulha em “picada” em placas de Petri com meio mínimo de sais (Tuite, 1969), suplementado com 1 g de xilana (Sigma) ou celulose microcristalina (Vetec) como única fonte de carbono e incubadas em câmara tipo B.O.D. ($28\pm 2^{\circ}\text{C}$), durante aproximadamente 15 dias. Após este período, foram adicionados 10 ml da solução aquosa de vermelho congo a 0,5%, em cada placa, seguido de incubação à temperatura ambiente por 15 minutos. Após a incubação, foi removido o excesso da solução de vermelho congo e adicionados 10 ml da solução salina (NaCl a 1M) em cada placa, sendo estas mantidas a temperatura ambiente por 30 minutos. Após a remoção da solução salina, observou-se a formação ou não de halo de coloração alaranjada em torno das colônias, indicando a atividade celulolítica e xilanolítica dos isolados.

Produção de Ácido Indolacético

A capacidade de produção de ácido indolacético foi determinada segundo o método proposto por Bric et al., (1991) para os isolados de actinomicetos listados acima. Estes foram crescidos em meio triptocaseína de soja (10 %), acrescido de 5 mM de L-triptofano. Posteriormente, as colônias foram cobertas por uma membrana de nitrocelulose e as placas incubadas em câmara B.O.D. a $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 10 dias. Após incubação, as membranas foram removidas e saturadas com solução de Salkowski (Gordon & Welber, 1951). Os isolados que formaram um halo avermelhado na membrana, no período de 30 minutos, foram considerados produtores de ácido indolacético.

Solubilização de fosfato

A capacidade de solubilização de fosfatos foi determinada segundo o método proposto por Katznelson & Bose (1959). Os isolados de actinomicetos foram infestados, em triplicata, com uma agulha em “picada” em placas de Petri com meio

de cultura triptocaseína de soja, diluído 1/10 e acrescido de CaHPO_4 . Em seguida as placas foram incubadas em câmara de crescimento tipo B.O.D., a $28\pm 2^\circ\text{C}$, por dez dias. Após esse período, a solubilização de fosfatos foi detectada pela formação de halo claro em torno das colônias crescidas dos isolados de estreptomicetos.

Análises estatísticas

Para análise dos dados foi utilizado o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000), sendo realizada a análise de variância e posteriormente a comparação das médias pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. Também foi realizada a correlação entre a produção de massa seca total e os teores de nitrogênio e de fósforo no limbo foliar e nas raízes. O coeficiente de correlação e o teste F foram utilizados para estudar a correlação entre as variáveis.

RESULTADOS

Caracterização química do solo

O solo coletado em área com plantio de jaqueira apresentou valores superiores de nutrientes e de matéria orgânica, quando comparado ao solo de área de pastagem (Tabela 1). O pH de ambos está na faixa adequada ao crescimento de actinomicetos e de plantas, destacando que, de modo geral, os actinomicetos preferem solos com pH mais alto (Tabela 1).

Tabela 1. Indicadores químicos para um Latossolo Amarelo Coeso A moderado, textura franco argilo arenosa, fase floresta estacional semidecidual, relevo plano sob dois sistemas de uso e manejo.

pH	P	K	H+Al	Ca	Mg	Ca+Mg	Na	CTC	MO
	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³						g kg ⁻¹
Jaqueira									
7,20	24	60	0,90	5,4	3,8	9,2	0,16	10,41	13,5
Pastagem									
6,23	4	31	1,30	1,6	1,5	3,1	0,10	4,57	21

pH = potencial hidrogênico; P = fósforo; K = potássio; H+Al = acidez potencial; Ca = cálcio; Mg = magnésio; CTC = capacidade de troca catiônica; MO = matéria orgânica.

Caracterização fisiológica dos actinomicetos

Na avaliação enzimática realizada nos treze isolados de actinomicetos verificou-se que doze isolados apresentaram atividade celulolítica, dez apresentaram atividade xilanolítica e oito apresentaram atividade quitinolítica. Todos os isolados produziram o ácido indolacético. Entretanto, não foi verificado nenhum com capacidade de solubilização de fosfato nos testes *in vitro* (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de enzimas extracelulares, ácido indolacético, e capacidade de solubilização de fosfato pelos isolados de actinomicetos. Cruz das Almas, Bahia, 2009.

Isolados de actinomicetos	Enzimas extracelulares			Ácido Indolacético	Solubilização de fosfato
	Celulase	Xilanase	Quitinase		
AC-12	+	+	+	+	-
AC-16	+	-	+	+	-
AC-26C	+	+	+	+	-
AC-26L	+	+	-	+	-
AC-30	-	-	+	+	-
AC-37	+	+	-	+	-
AC-39	+	+	+	+	-
AC-43	+	+	-	+	-
AC-50	+	-	-	+	-
AC-92C	+	+	+	+	-
AC-92M	+	+	-	+	-
AC-103	+	+	+	+	-
AC-147	+	+	+	+	-

Os sinais indicam resposta positiva (+) negativa (-) em relação à produção de enzimas, ácido indolacético

Experimento I – cultivo de girassol e pinhão manso em solo de área de pastagem infestado e incubado com actinomicetos

Limbo foliar do girassol

Os teores de nitrogênio (N) no limbo foliar das plantas de girassol cultivadas em solo de pastagem variaram significativamente entre os tratamentos com

actinomicetos e em relação a tratamento testemunha. Os maiores valores de N na planta foram proporcionados pelos isolados AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC92C, AC92M e AC147, enquanto que o tratamento com o isolado AC30 não diferenciou do tratamento testemunha (Tabela 3).

Quanto aos teores de fósforo (P) verificou-se que os maiores valores foram obtidos nas plantas cultivadas no solo infestado com os isolados AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC92C e AC92M, entretanto não se observou significância nos tratamentos com os isolados AC30 e AC103. Na avaliação do teor de potássio (K), verificou-se que os tratamentos com actinomicetos não diferenciaram do tratamento testemunha (Tabela 3).

Tabela 3. Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no limbo foliar de plantas de girassol cultivadas em solo de área de pastagem infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos.

Trat.*	Matéria Seca		Teores (mg g ⁻¹)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	(g planta ⁻¹)	(g limbo ⁻¹)	N	P	K	N	P	K
AC12	6,58a	2,08a	96,62a	2,87a	32,38a	200,97a	5,97a	67,35a
AC16	5,83c	1,85b	95,35b	2,77b	32,54a	176,40b	5,12c	60,20b
AC26C	6,42b	1,88b	96,40a	2,84a	32,68a	181,23b	5,34b	61,44b
AC26L	6,83a	2,05a	96,58a	2,82a	32,72a	197,99a	5,78a	67,08a
AC30	5,71c	1,85b	89,30d	2,70c	32,25a	165,21c	5,00c	59,66b
AC37	6,50b	1,95b	90,02c	2,76b	32,30a	175,54b	5,38b	62,99b
AC39	6,67a	2,07a	97,08a	2,87a	32,42a	200,96a	5,94a	67,11a
AC43	6,29b	1,86b	94,77b	2,76b	32,71a	176,27b	5,13c	60,84b
AC50	6,34b	1,88b	94,82b	2,78b	32,28a	178,26b	5,23b	60,69b
AC92C	6,85a	2,07a	96,49a	2,87a	32,38a	199,73a	5,94a	67,03a
AC92M	6,17b	1,86b	96,30a	2,91a	32,30a	179,12b	5,41b	60,08b
AC103	5,79c	1,71c	90,47c	2,69c	32,52a	154,70d	4,60d	55,61c
AC147	6,59a	1,90b	96,34a	2,78b	32,42a	183,05b	5,28b	61,60b
Test.**	4,93d	1,52d	88,34d	2,69c	32,44a	134,28e	4,09e	49,31d
CV(%)	5,18	3,5	1,02	2,33	3,18	3,60	4,37	5,60

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Tratamentos com isolados de actinomicetos identificados por código. **Testemunha – tratamento sem infestação.

No limbo foliar de plantas de girassol cultivadas em solo de área de pastagem, observou-se que todos os tratamentos com isolados de actinomicetos promoveram diferença significativa em relação ao acúmulo de N. Notou-se um destaque dos isolados AC12 e AC39 (50%), AC92C (49%) e AC26L (47%), por apresentarem os maiores incrementos no acúmulo de N, sendo seguidos pelos isolados AC26C (35%), AC147 (36%), AC92M (33%), AC50 (33%), AC16, AC37, AC43 (31%), AC30 (23%) e AC103 (15%) que também apresentaram valores significativos no acúmulo de N (Tabela 3).

Quanto ao fósforo acumulado no limbo foliar, observou-se que todos os tratamentos com actinomicetos proporcionaram aumentos significativos, quando comparados à testemunha. Entretanto, os maiores incrementos no acúmulo de P foram observados nas plantas cultivadas no solo infestado com os isolados AC12 (46%), AC39 e AC92C (45%), e AC26L (41%), seguidos pelos isolados AC92M e AC37 (32%), AC16 e AC26C (31%), AC147 (29%), AC50 (28%), AC43 (26%), AC30 (22%) e AC103 (13%) (Tabela 3).

Em relação ao acúmulo de potássio no limbo foliar, verificou-se que todos os tratamentos com isolados de actinomicetos promoveram aumentos significativos. No entanto, os maiores acúmulos de K foram proporcionados pelos tratamentos com os isolados, AC12 (37%), AC26L, AC39 e AC92C (36%), seguidos pelos tratamentos com os isolados AC37 (28%), AC147 e AC26C (25%), AC43 (23%), AC50 (23%), AC16 e AC92M (22%), AC30 (21%) e AC103 (13%), que também apresentaram acúmulos de K significativos (Tabela 3).

Raiz do girassol

Nas avaliações nutricionais das raízes das plantas de girassol cultivadas em solo de pastagem infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos, verificou-se que os isolados AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC92C, AC92M e AC147 promoveram os maiores teores de nitrogênio nas raízes (Tabela 4). Com exceção do AC30 que não promoveu diferenças em relação ao tratamento testemunha, os demais isolados de actinomicetos também proporcionaram efeitos significativos. Para o teor de fósforo nas raízes, constatou-se que a maioria dos tratamentos com os actinomicetos promoveram efeitos significativos, com destaque para os tratamentos com os isolados AC12, AC26C, AC26L e AC39 que promoveram os maiores incrementos nos teores de P, e o tratamento com AC30 que não diferenciou

da testemunha. Quanto ao teor de potássio nas raízes, não se observou efeito significativo nos tratamentos com actinomicetos (Tabela 4).

Todos os tratamentos com isolados de actinomicetos promoveram efeitos significativos no acúmulo de nitrogênio nas raízes das plantas de girassol, com destaque para os isolados AC92C (51%), AC147 (50%), AC26L e AC39 (49%), que promoveram os maiores valores, seguidos pelos os isolados AC92M(41%) e AC37 (38%), AC12 (36%), AC26C (41%), AC43 (32%), AC16 (32%), AC50 (28%), AC103 (16%), e AC30 (11%) que também promoveram incrementos significativos no acúmulo de N (Tabela 4).

Tabela 4. Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas raízes de plantas de girassol cultivadas em solo de área de pastagem infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos.

Trat.*	Matéria Seca		Teores (mg g ⁻¹)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	(g planta ⁻¹)	(g limbo ⁻¹)	N	P	K	N	P	K
AC12	6,58a	2,30c	30,83a	2,49a	23,51a	70,91b	5,73b	54,07c
AC16	5,83c	2,30c	29,86b	2,39c	23,69a	68,68c	5,50c	54,49c
AC26C	6,42b	2,38b	30,84a	2,48a	23,84a	73,40b	5,90b	56,74b
AC26L	6,83a	2,54a	30,62a	2,47a	23,63a	77,80a	6,27a	60,47a
AC30	5,71c	2,02d	28,68d	2,27d	23,50a	57,93d	4,59d	47,47d
AC37	6,50b	2,45a	29,32c	2,34c	23,47a	71,83b	5,73b	57,50a
AC39	6,67a	2,52a	30,89a	2,47a	23,61a	77,84a	6,22a	59,50a
AC43	6,29b	2,29c	30,14b	2,41b	23,47a	69,02c	5,52c	53,75c
AC50	6,34b	2,23c	30,00b	2,37c	23,53a	66,90c	5,29c	52,47c
AC92C	6,85a	2,57a	30,66a	2,44b	23,41a	78,80a	6,27a	60,16a
AC92M	6,17b	2,41b	30,44a	2,42b	23,44a	73,36b	5,83b	56,49b
AC103	5,79c	2,10d	28,86c	2,29c	23,48a	60,61d	4,81d	49,31d
AC147	6,59a	2,52a	30,99a	2,42b	23,38a	78,09a	6,10b	58,92a
Teste.**	4,93d	1,82e	28,65d	2,28d	23,55a	52,14e	4,15e	42,86e
CV(%)	5,18	3,47	1,19	2,12	2,06	3,41	4,70	7,61

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Tratamentos com isolados de actinomicetos identificados por código. **Testemunha – tratamento sem infestação.

Em relação ao acúmulo de fósforo, constatou-se que todos os tratamentos com actinomicetos obtiveram significância, sendo que os maiores incrementos foram

proporcionados pelos isolados AC26L e AC92C (51%), e AC39 (50%), seguidos pelos isolados AC147 (47%), AC26C (42%), AC92M (41%), AC12 e AC37 (38%), AC43 (33%), AC16 (32%), AC50 (27%), AC103 (16%), e AC30 (11%), que também proporcionaram efeitos significativos no acúmulo de P (Tabela 4).

Em relação ao acúmulo de potássio nas raízes, os maiores acúmulos foram observados nos tratamentos com os isolados AC26L (43%), AC92C (40%), AC39 (39%), AC147 (37%) e AC37 (34%), seguidos pelos isolados AC26C e AC92M (32%), AC16 (27%), AC12 (26%), AC43 (25%), AC50 (22%), AC103 (15%) e AC30 (11%) (Tabela 4).

A produção de massa seca total do girassol cultivado em solo de pastagem apresentou coeficientes de correlação altamente significativos com os teores de nitrogênio e de fósforo, tanto no limbo foliar como nas raízes (Figura 1).

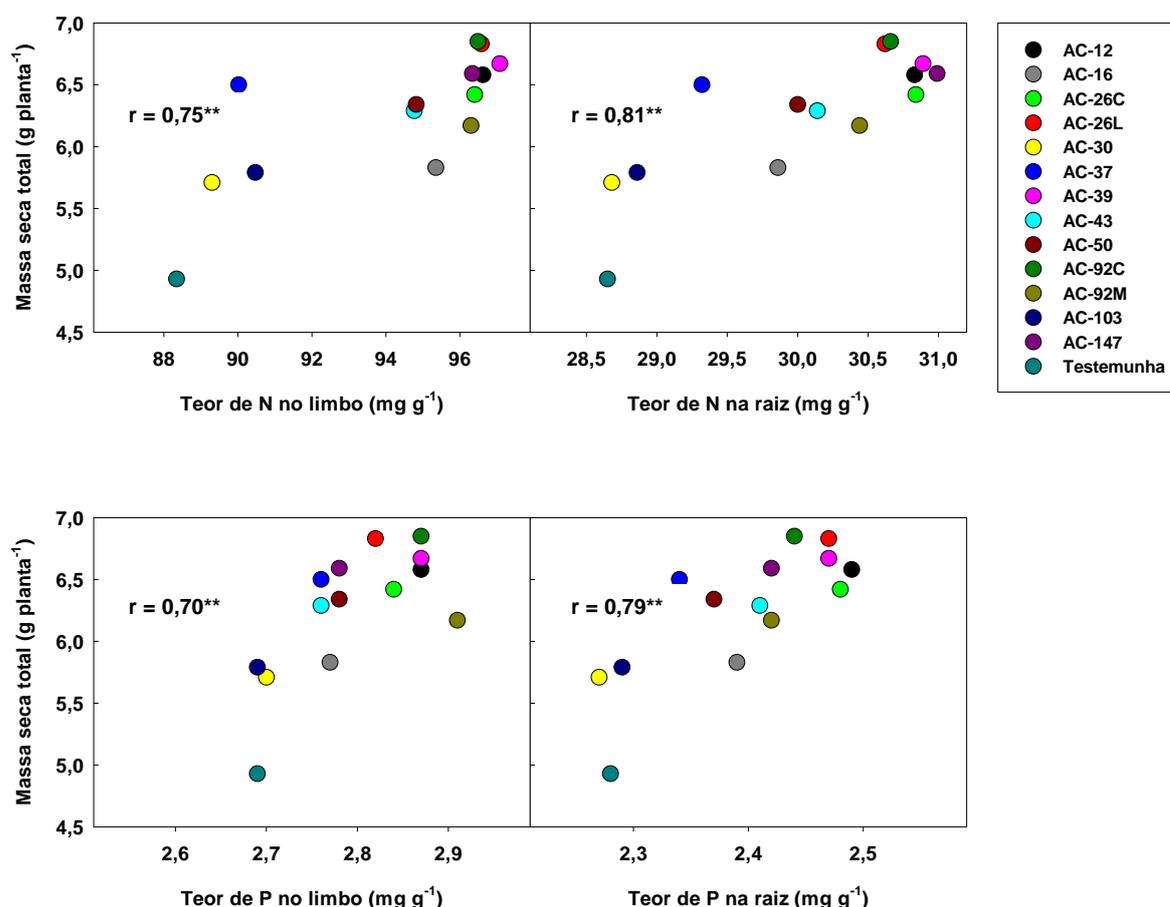


Figura 1. Correlação entre a massa seca total (g planta⁻¹), e os teores de nitrogênio e de fósforo (mg g⁻¹) no limbo e raízes de girassol cultivadas com solo não estéril, de área de pastagem, infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos do gênero *Streptomyces* e a testemunha. Onde, r = coeficiente de correlação, * = estatisticamente significativa ($P < 0,05$), ** = estatisticamente significativa ($P < 0,01$).

Também é interessante notar que os maiores teores de N e P, em ambas as partes da planta, foram proporcionados pelos mesmos isolados de actinomicetos AC12, AC26L, AC39, AC92C e AC147 (Figura 1).

Limbo foliar do pinhão manso

A maioria dos isolados de actinomicetos testados apresentaram efeitos significativos em relação ao incremento dos teores de nitrogênio no limbo foliar de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de pastagem, sendo que os maiores valores foram observados nos tratamentos com os isolados AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC43, AC92C, AC92M, AC103 e AC147. No entanto, o tratamento com o isolado AC30 não diferenciou da testemunha (Tabela 5).

Quanto ao teor de fósforo no limbo foliar de plantas de pinhão manso, observou-se que os tratamentos com os isolados AC12, AC16, AC26C, AC26L, AC39, AC43, AC50, AC92C, AC92M, AC103 e AC147 apresentaram efeitos significativos, exceto o tratamento com o isolado AC30. Para os teores de potássio, constatou-se que os tratamentos com actinomicetos não apresentaram diferença significativa (Tabela 5).

Para acúmulo de nitrogênio no limbo foliar de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de pastagem infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos observou-se que somente o tratamento com o isolado AC30 não diferenciou da testemunha. Os demais isolados de actinomicetos promoveram acúmulos significativos de nitrogênio no limbo foliar. O maior valor foi proporcionado pelo isolado AC92C (46%), seguido pelos isolados AC39 (42%), AC12 (39%) AC16 e AC92M (32%), AC26C (25%), AC26L e AC147 (23%), AC103 (19%), AC50 (18%), AC37 (14%) e AC43 (11%) (Tabela 5).

Em relação ao acúmulo de fósforo constatou-se que maiores incrementos ocorreram nas plantas cultivadas no solo infestado e incubado com os isolados AC92C (40%), AC39 (37%) e AC12 (35%), seguido pelos isolados AC16 (32%), AC92M (28%), AC26C (21%), AC26L e AC147 (19%), AC50 e AC103 (14%), AC37 (9%) e AC43 (6%), que também apresentaram significância. O isolado AC30 causou um efeito prejudicial (Tabela 5).

Quanto ao acúmulo de potássio no limbo foliar de pinhão manso, observou-se o maior incremento significativo no tratamento com o isolado AC92C (36%), seguido

pelos isolados AC39 e AC12 (31%), AC16 e AC92M (25%), AC26C (17%), AC26L e AC147 (16%), AC50 (13%), AC103 (13%) e AC37 (9%). O isolado AC30 apresentou efeito prejudicial e o AC43 não diferenciou da testemunha (Tabela 5).

Tabela 5. Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no limbo foliar de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de pastagem infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos.

Trat.*	Matéria Seca		Teores (mg g ⁻¹)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	(g planta ⁻¹)	(g limbo ⁻¹)	N	P	K	N	P	K
AC12	14,02a	3,57b	85,07a	2,21a	19,99a	303,70b	7,89a	71,36b
AC16	13,01b	3,42c	84,16b	2,25a	19,96a	287,83c	7,70b	68,26c
AC26C	12,46b	3,20d	84,84a	2,21a	19,88a	271,49d	7,07c	63,62d
AC26L	12,35b	3,16d	84,98a	2,20a	20,01a	268,54d	6,95c	63,23d
AC30	10,27c	2,53g	79,61d	2,15b	20,07a	201,41g	5,44g	50,78g
AC37	11,58b	2,96e	83,76c	2,15b	20,05a	247,93f	6,36e	59,35e
AC39	14,08a	3,60b	85,77a	2,22a	19,82a	308,77b	7,99a	71,35b
AC43	12,06b	2,82f	85,43a	2,20a	19,95a	240,91f	6,20e	56,26f
AC50	11,45b	3,05e	84,44b	2,19a	20,12a	257,54e	6,68d	61,37e
AC92C	14,15a	3,73a	85,28a	2,19a	19,90a	318,09a	8,17a	74,23a
AC92M	13,34a	3,39c	84,91a	2,21a	20,10a	286,18c	7,49b	68,14c
AC103	12,29b	3,05e	85,13a	2,19a	20,10a	259,65e	6,68d	61,31e
AC147	12,86b	3,17d	84,71a	2,20a	20,00a	268,53d	6,97c	63,40d
Test**.	10,43c	2,74f	79,53d	2,13b	19,88a	217,91g	5,84f	53,65f
CV(%)	10,63	2,70	0,58	1,60	1,30	2,68	3,36	2,76

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Tratamentos com os isolados de actinomicetos identificados por código. **Testemunha – tratamento sem infestação.

Raiz do pinhão manso

As análises nutricionais das raízes de plantas de pinhão manso cultivadas durante 60 dias em solo de área de pastagem infestado e incubado com isolados de actinomicetos indicam que, com exceção do AC30, os demais isolados de actinomicetos promoveram o aumento do teor de nitrogênio nas raízes dessas

plantas, sendo que os isolados AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC92C, AC92M e AC147 destacaram-se dos demais por proporcionarem os maiores teores de nitrogênio nas raízes. Entretanto, os tratamentos com os isolados AC16, AC37, AC43, AC50 e AC103, também apresentaram incrementos significativos nos teores de nitrogênio nas raízes do pinhão manso (Tabela 6).

Tabela 6. Concentrações de nitrogênio(N), fósforo(P) e potássio (K) nas raízes de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de pastagem infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos.

Trat.*	Matéria Seca		Teores (mg g ⁻¹)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	(g planta ⁻¹)	(g limbo ⁻¹)	N	P	K	N	P	K
AC12	14,02a	3,16a	28,74a	1,89a	20,53a	90,82a	5,97a	64,87a
AC16	13,01b	2,85d	28,49b	1,85a	20,55a	81,20c	5,27c	58,57c
AC26C	12,46b	2,89d	29,28a	1,87a	20,73a	84,62b	5,40c	59,91c
AC26L	12,35b	2,88d	29,26a	1,86a	20,47a	84,27b	5,36c	58,95c
AC30	10,27c	2,48f	27,59c	1,82b	20,45a	68,42e	4,51f	50,72e
AC37	11,58b	2,66e	28,08b	1,79b	20,53a	74,69d	4,76e	54,61d
AC39	14,08a	3,20a	29,16a	1,88a	20,32a	93,31a	6,02a	65,02a
AC43	12,06b	2,73e	28,04b	1,87a	20,34a	76,55d	5,11d	55,53d
AC50	11,45b	2,85e	28,10b	1,85b	20,67a	80,09c	5,27c	58,91c
AC92C	14,15a	3,18a	29,50a	1,89a	20,44a	93,81a	6,01a	65,00a
AC92M	13,34a	3,09b	29,45a	1,90a	20,32a	91,00a	5,87a	62,79b
AC103	12,29b	2,98c	28,08b	1,85a	20,81a	83,68b	5,51b	62,01b
AC147	12,86b	3,06b	29,55a	1,85a	20,46a	90,42a	5,66b	62,61b
Test.**	10,43c	2,29g	27,50c	1,80b	20,46a	62,98f	4,12g	46,85f
CV(%)	10,63	2,05	1,51	1,81	1,51	2,74	2,50	2,37

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Tratamentos com isolados de actinomicetos identificados por código. **Testemunha – tratamento sem infestação.

Quanto ao teor de fósforo nas raízes das plantas de pinhão manso cultivadas em solo de pastagem, observaram-se aumentos significativos nos tratamentos com

os isolados AC12, AC16, AC26C, AC26L, AC39, AC43, AC92C, AC92M, AC103 e AC147, enquanto que os tratamentos com os isolados AC30, AC37 e AC50 não diferenciaram da testemunha.

Para os teores de potássio nas raízes das plantas de pinhão manso cultivadas em solo de pastagem, constatou-se que os tratamentos com actinomicetos não diferenciaram do tratamento testemunha (Tabela 6).

Em relação ao acúmulo de nitrogênio nas raízes do pinhão manso cultivado em solo de pastagem, observou-se que todos os tratamentos com os isolados de actinomicetos promoveram aumentos significativos, com destaque para os isolados AC92C (49%), AC39 (48%), AC92M (45%), AC12 e AC147 (44%), que apresentaram os maiores valores de N, seguidos pelos isolados AC26L e AC26C (34%), AC103 (33%), AC16 (29%), AC50 (27%), AC43 (22%), AC37 (19%), AC30 (9%) que também apresentaram acúmulos de N bastante significativos (Tabela 6).

Para o acúmulo de fósforo nas raízes do pinhão manso cultivado em solo de pastagem, todos os isolados de actinomicetos promoveram efeitos significativos, sendo que os maiores incrementos de P foram obtidos nos tratamentos com os isolados AC39 e AC92C (46%), AC12 (45%) e AC92M (42%), seguidos pelos isolados AC147 (37%), AC103 (34%), AC26C (31%), AC26L (30%), AC16 e AC50 (28%), AC43 (24%), AC37 (16%) e AC30 (10%) (Tabela 6).

Verificou-se também que todos os isolados promoveram efeitos significativos para acúmulo de potássio nas raízes do pinhão manso cultivado em solo de pastagem. Todavia, os maiores acúmulos foram observados nos tratamentos com os isolados de actinomicetos AC39 e AC92C (39%), AC12 (38%), seguidos pelos isolados AC92M e AC147 (34%), AC103 (32%), AC26C (28%), AC26L e AC50 (26%), AC16 (25%), AC43 (19%), AC37 (17%) e AC30 (8%), que também apresentaram grande significância no acúmulo de potássio (Tabela 6).

Semelhante ao observado para o cultivo do girassol, a produção de massa seca total das plantas de pinhão manso cultivado em solo oriundo de área de pastagem, infestado e incubado com isolados de actinomicetos, apresentou coeficientes de correlação altamente significativos com os teores de nitrogênio e de fósforo, tanto no limbo foliar como nas raízes (Figura 2). No limbo foliar observou-se o coeficiente de correlação de matéria seca com teor de N ($r = 0,79^{**}$) e com teor de P ($r = 0,74^{**}$). Na raiz verificou-se correlação positiva de matéria seca com teor de N ($r = 0,79^{**}$) e com teor de P ($r = 0,81^{**}$) (Figura 2).

Também é importante observar que os maiores teores de N e P, tanto no limbo foliar como nas raízes das plantas de pinhão manso, foram incrementados pelos mesmos isolados de actinomicetos AC12, AC39, AC92C e AC92M (Figura 2).

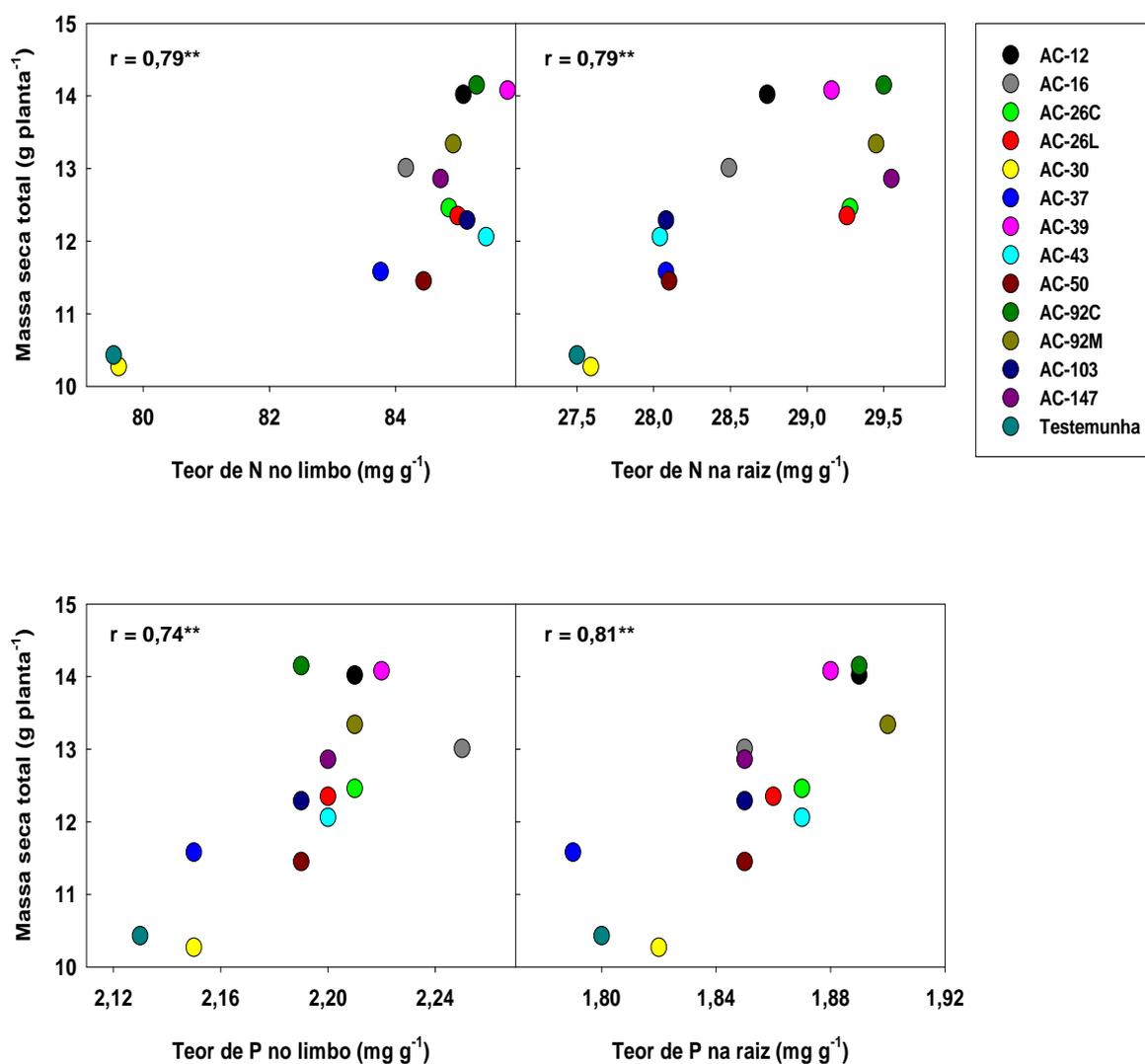


Figura 2. Correlação entre a massa seca total (g planta⁻¹) e os teores de nitrogênio e fósforo (mg g⁻¹) nos limbos e raízes de plantas de pinhão manso, cultivadas com solo oriundo de pastagem, infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos do gênero *Streptomyces* e a testemunha. Onde, r = coeficiente de correlação, * = estatisticamente significativa ($P < 0,05$), ** = estatisticamente significativa ($P < 0,01$).

Experimento II – Teor e acúmulo de NPK em plantas de girassol e pinhão manso cultivadas em casa de vegetação com solo de área de plantio de jaqueira, infestado e incubado com actinomicetos

Limbo foliar do girassol

As plantas de girassol apresentaram maiores teores de nitrogênio no limbo foliar, quando cultivadas em solo de área de plantio de jaqueira, infestado e incubado com os isolados de actinomicetos (os mesmos isolados testados no experimento anterior), exceto para os isolados AC30 e AC37 que não proporcionaram diferenças, quando comparados com a testemunha (Tabela 7). Houve destaque para os isolados AC12, AC26L, AC 39, AC92C, AC 92M e AC147 que proporcionaram os maiores valores de N nas plantas. Observou-se também que a maior parte dos isolados de actinomicetos promoveram incrementos significativos quanto ao teor de fósforo do limbo foliar. Entretanto, os maiores teores de P foram promovidos pelos isolados AC26C, AC39 e AC92C. Já os tratamentos com os isolados AC30 e AC37 não diferenciaram da testemunha. Quanto ao teor de potássio, verificou-se que os tratamentos com actinomicetos não apresentaram efeitos significativos (Tabela 7).

Em relação ao acúmulo de nitrogênio no limbo foliar das plantas de girassol, verificou-se que os maiores resultados foram proporcionados pelos isolados AC92C (38%), AC26L e AC92M (37%), AC147 (36%), AC39 (30%), seguidos pelos isolados AC12 (27%), AC26C (26%), AC43 (23%), AC16, AC103 (18%) e AC50 (10%). Os tratamentos com os isolados AC30 e AC37 não diferenciaram da testemunha (Tabela 7).

O acúmulo de fósforo no limbo foliar das plantas de girassol foi maior nos tratamentos com os isolados AC26L (38%), AC26C e AC92C (37%), AC92M (35%), AC147 (33%), AC39 (30%), seguidos pelos isolados AC12 (27%), AC 43 (26%), AC16 e AC103 (14%), e AC50 (13%), que também apresentaram significância quando comparados com a testemunha. No entanto, os isolados AC30 e AC37 não se diferenciaram da testemunha (Tabela 7).

Já o acúmulo de potássio no limbo foliar das plantas de girassol foi maior nas plantas crescidas no solo infestado com os isolados AC92M (27%), AC26L, AC92C e AC147 (26%), sendo que os isolados AC39 (20%), AC43 (19%), AC12 e AC26C (18%), AC16 e AC103 (12%) e AC50 (11%) também proporcionaram o acúmulo de

potássio, quando comparados à testemunha. Observou-se também que o AC30 apresentou efeito prejudicial e o AC37 não apresentou significância em relação ao acúmulo de potássio (Tabela 7).

Tabela 7. Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no limbo foliar de plantas de girassol cultivadas em solo de área de jaqueira infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos.

Trat.*	Matéria Seca		Teores (mg g ⁻¹)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	(g planta ⁻¹)	(g limbo ⁻¹)	N	P	K	N	P	K
AC12	22,45b	7,27b	108,37a	3,38b	22,83a	787,85b	24,57b	165,97b
AC16	19,50c	6,85c	107,28b	3,22c	22,87a	734,87b	22,06b	156,66c
AC26C	19,40c	7,29b	107,40b	3,27c	22,68a	782,94b	23,84a	165,34b
AC26L	24,31a	7,78a	109,26a	3,43a	22,70a	850,04a	26,69a	176,61a
AC30	13,74d	5,70e	100,56c	3,20d	22,72a	573,19d	18,24c	129,50e
AC37	18,26c	6,32d	100,86c	3,16d	22,89a	637,44d	19,97c	144,66d
AC39	23,84a	7,36b	109,90a	3,43a	22,77a	808,86a	25,24a	167,59b
AC43	22,27b	7,22b	105,93b	3,38b	23,03a	764,81b	24,40b	166,28b
AC50	19,55c	6,83c	100,35c	3,21d	22,75a	685,89c	21,92b	155,38c
AC92C	23,36a	7,75a	110,17a	3,42a	22,73a	853,82a	26,51a	176,16a
AC92M	24,42a	7,79a	109,34a	3,37b	22,90a	851,76a	26,25a	178,39a
AC103	21,65b	6,81c	107,66b	3,26c	23,01a	733,16b	22,20b	156,70c
AC147	24,79a	7,66a	110,39a	3,38b	22,99a	845,59a	25,89a	176,10a
Test.**	18,19c	6,16d	100,80c	3,15d	22,75a	620,93d	19,40c	140,14d
CV(%)	12,21	4,47	1,68	1,20	1,09	5,07	4,80	4,56

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Tratamentos com isolados de actinomicetos identificados por código. **Testemunha – tratamento sem infestação.

Raiz do girassol

O teor de nitrogênio nas raízes das plantas de girassol cultivadas em solo de área de jaqueira infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos foi maior nos tratamentos com os isolados AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC92C, AC92M e AC147 (Tabela 8).

O teor de fósforo nas raízes foi maior com os isolados AC26L, AC39, AC92M e AC147. Em relação aos teores de potássio, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos com actinomicetos e a testemunha (Tabela 8).

Quanto ao acúmulo de nitrogênio nas raízes de girassol, observou-se que os isolados AC39 (42%), AC92C e AC147 (41%), AC12 (40%), AC26L (38%) AC92M (37%), proporcionaram os maiores valores, seguido pelos isolados AC103 e AC43 (32%), AC26C (13%), AC16(8%) e AC50 (9%). Já o isolado AC30 apresentou efeito prejudicial e AC37 não diferenciou da testemunha (Tabela 8).

Tabela 8. Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas raízes de plantas de girassol cultivadas em solo de área de jaqueira infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos.

Trat.*	Matéria Seca		Teores (mg g ⁻¹)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	(g planta ⁻¹)	(g limbo ⁻¹)	N	P	K	N	P	K
AC12	22,45b	5,65a	52,86a	3,78b	22,80a	298,66a	21,36a	128,82a
AC16	19,50c	4,45c	51,40b	3,71c	22,77a	228,73e	16,51c	101,33c
AC26C	19,40c	4,44c	51,54b	3,72c	22,83a	240,38d	16,51c	101,37c
AC26L	24,31a	5,60a	52,51a	3,86a	22,46a	294,06a	21,61a	129,15a
AC30	13,74d	3,84e	49,13c	3,65e	23,27a	188,66g	14,02e	89,36d
AC37	18,26c	4,46c	49,31c	3,62e	22,53a	219,92f	16,15c	100,48c
AC39	23,84a	5,65a	53,53a	3,87a	22,28a	302,44a	21,87a	125,88b
AC43	22,27b	5,47b	51,44b	3,67d	22,88a	281,38b	20,07b	125,15b
AC50	19,55c	4,50c	51,41b	3,71c	22,39a	231,35e	16,70c	100,76c
AC92C	23,36a	5,61a	53,41a	3,78b	22,66a	299,63a	21,21a	127,12a
AC92M	24,42a	5,49b	53,19a	3,87a	22,81a	292,01a	21,25a	125,23b
AC103	21,65b	5,43b	51,84b	3,71c	23,07a	281,49b	20,15b	125,27b
AC147	24,79a	5,60a	53,50a	3,88a	22,71a	299,60a	21,73a	127,18a
Test.**	18,19c	4,27d	49,79c	3,56f	22,81a	212,60f	15,20d	97,40c
CV(%)	12,21	1,98	2,46	0,65	2,00	2,67	2,39	2,46

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Tratamentos com isolados de actinomicetos identificados por código. **Testemunha – tratamento sem infestação.

Em relação ao fósforo acumulado nas raízes de plantas de girassol, verificou-se que as maiores significância foram proporcionados pelos isolados AC39 (44%), AC147 (43%), AC26L (42%), AC12, AC92C e AC92M (40%), seguidos pelos isolados AC103 (33%), AC43 (32%), AC50 (10%), AC16 e AC26C (9%), AC37 (6%),

que também apresentaram efeitos significativos no acúmulo de fósforo. Já o isolado AC30 apresentou efeito prejudicial quando comparado à testemunha (Tabela 8).

O acúmulo de potássio nas raízes também foi maior nas plantas cultivadas no solo com os isolados AC26L (33%), AC12 (32%), AC92C e AC147 (31%) seguidos pelos isolados AC39, AC 92M e AC103 (29%), AC43 (28%), que também promoveram incrementos significativos no acúmulo de potássio das raízes, enquanto que os isolados AC16, AC26C, AC30, AC37 e AC50 não se diferenciaram da testemunha (Tabela 8).

A produção de massa seca total do girassol cultivado em solo de área de jaqueira apresentou coeficientes de correlação altamente significativos com os teores de nitrogênio e de fosforo, tanto no limbo como nas raízes (Figura 3).

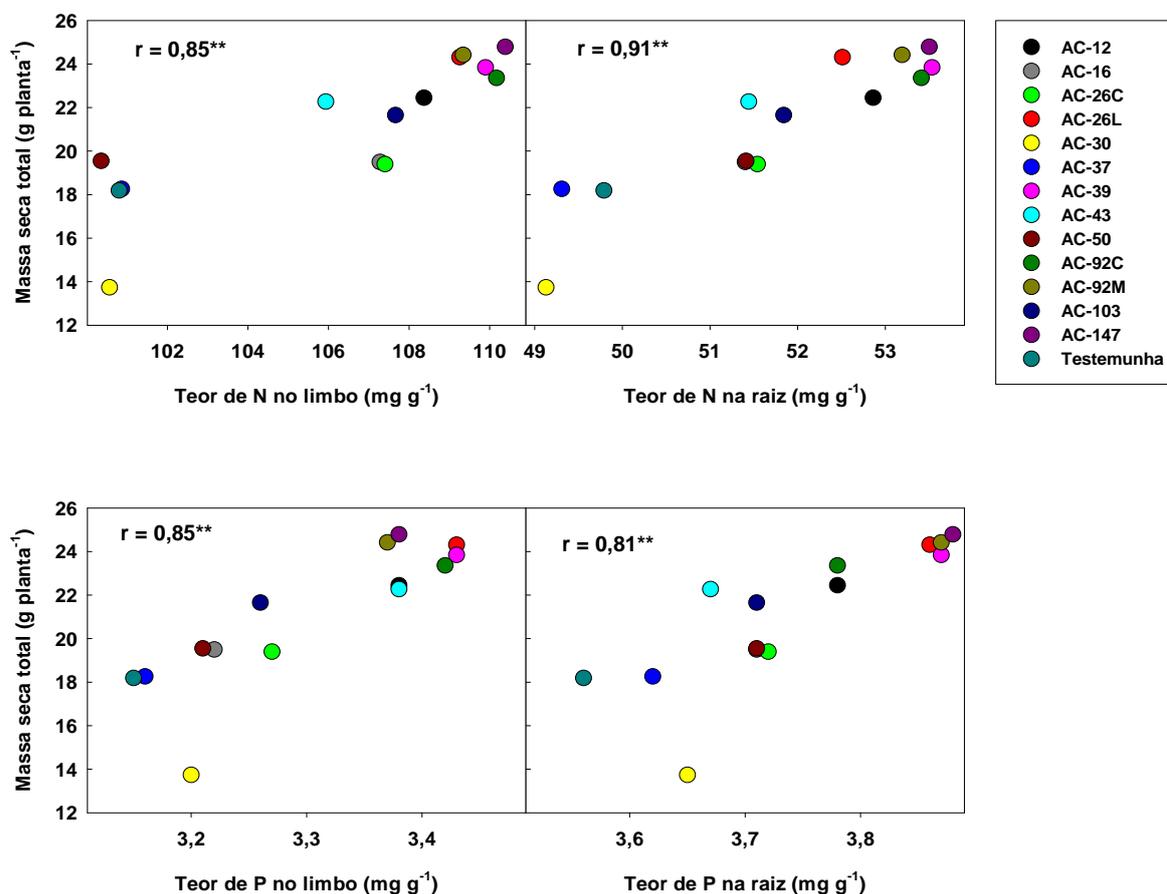


Figura 3. Correlação entre a massa seca total (g planta⁻¹) e os teores de nitrogênio e fósforo (mg g⁻¹) nos limbo e raízes de plantas de girassol cultivadas com solo de área de plantio jaqueiras, infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos do gênero *Streptomyces* e a testemunha. Onde, r = coeficiente de correlação, * = estatisticamente significativa ($P < 0,05$), ** = estatisticamente significativa ($P < 0,01$).

Também é interessante notar que os maiores teores de N e P, em ambas as partes da planta, foram proporcionados pelos mesmos isolados de actinomicetos AC26L, AC39, AC92C, AC92M e AC147 (Figura 3).

Limbo foliar de pinhão manso

Observou-se que, exceto para o AC30, todos os isolados de actinomicetos apresentaram aumentos significativos no teor de nitrogênio no limbo foliar, sendo que os maiores teores foram proporcionados pelos isolados AC12, AC16, AC26C, AC26L, AC39, AC92C, AC92M e AC147, seguidos pelos isolados AC37, AC43, AC50 e AC103 (Tabela 9).

Tabela 9. Concentrações de nitrogênio(N), fósforo(P) e potássio (K) no limbo foliar de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de jaqueira infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos.

Trat.*	Matéria Seca		Teores (mg g ⁻¹)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	(g planta ⁻¹)	(g limbo ⁻¹)	N	P	K	N	P	K
AC12	27,55b	8,46d	93,65a	3,60a	21,17a	792,28c	30,46b	179,10c
AC16	26,93b	8,11e	93,46a	3,48b	20,96a	757,96e	28,22c	169,99b
AC26C	30,39a	8,81b	93,89a	3,60a	21,12a	827,17a	31,72a	186,07a
AC26L	27,87b	8,68c	93,40a	3,62a	20,96a	810,71b	31,42a	181,93b
AC30	22,99c	6,70i	86,90c	3,38c	21,12a	582,23j	22,65g	141,50i
AC37	27,83b	7,83f	92,73b	3,45b	21,07a	726,08g	27,01d	164,98f
AC39	30,07a	8,91a	93,79a	3,45b	21,10a	835,67a	30,74b	188,00a
AC43	28,69b	8,41d	92,86b	3,59a	20,97a	780,95d	30,19b	176,36d
AC50	27,56b	7,65g	92,78b	3,45b	20,96a	709,77h	26,39e	160,34g
AC92C	30,85a	8,90a	93,99a	3,59a	21,04a	836,51a	31,95a	187,26a
AC92M	27,52b	8,13e	93,93a	3,47b	20,99a	763,65e	28,21c	170,65e
AC103	28,53b	8,11e	92,42b	3,48b	21,02a	749,53f	28,22c	170,47e
AC147	31,63a	8,90a	93,77a	3,59a	21,13a	834,55a	31,95a	188,06a
Test.**	23,85c	7,02h	86,27c	3,36c	21,06a	605,62i	23,59f	147,84h
CV(%)	7,02	0,74	0,33	1,09	1,33	0,82	1,36	0,92

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Isolados de actinomicetos identificados por código. **Testemunha – tratamento sem infestação.

Com relação aos teores de fósforo, os isolados AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC43, AC92C e AC147 proporcionaram os maiores teores no limbo foliar, seguidos pelos isolados AC16, AC37, AC50 e AC103. O tratamento com o isolado AC30 não apresentou efeito significativo. Em relação aos teores de potássio, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos com actinomicetos e a testemunha (Tabela 9).

O acúmulo de nitrogênio no limbo foliar das plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de plantio de jaqueira foi maior em todos os tratamentos com os isolados de actinomicetos, exceto com o isolado AC 30 que causou um efeito prejudicial quando comparado com a testemunha (Tabela 9). Os isolados AC39, AC92C e AC147 (38%), e AC26C (37%) promoveram os maiores acúmulos de N, seguidos pelos isolados AC26L (34%), AC12 (31%), AC43 (29%), AC92M (26%), AC16 (25%), AC103 (24%), AC37 (20%) e AC50 (17%) (Tabela 9).

Quanto ao acúmulo de fósforo, os isolados de actinomicetos proporcionaram aumentos significativos, com destaque para os isolados AC147 (35%), AC92C (35%), AC26C (34%), e AC26L (33%), que proporcionaram os maiores valores significativos, seguidos pelos isolados AC39 (30%) AC12 (29%), AC43 (28%), AC16, AC92M e AC103 (20%), AC37 (15%) e AC50 (12%) que também apresentaram significância. Verificou-se que o AC30 causou um efeito prejudicial no acúmulo de P no limbo foliar (Tabela 9).

O acúmulo de potássio no limbo foliar de plantas de pinhão manso foi maior com os isolados AC26C, AC39, AC92C e AC147 (27%), seguido pelos isolados AC26L (23%), AC12 (21%), AC43 (19%), AC16, AC92M e AC103 (15%), AC37 (12%) e AC50 (8%) (Tabela 9).

Raiz de pinhão manso

Quanto aos teores de NPK nas raízes das plantas de pinhão manso, os maiores teores de nitrogênio nas raízes foram proporcionados pelos isolados AC12, AC26C, AC26L, AC39, AC92C, AC92M, AC103 e AC147 e os maiores teores de P foram proporcionados pelos isolados AC26C, AC39, AC92C e AC147. Entretanto, nos teores de potássio não foram verificados diferenças significativas entre os tratamentos com actinomicetos e a testemunha (Tabela 10).

Todos os tratamentos com isolados de actinomicetos promoveram efeitos significativos no acúmulo de nitrogênio das raízes das plantas de pinhão manso. Os

maiores acúmulos foram proporcionados pelos tratamentos com os isolados AC147 (45%), AC39 e AC92C (43%), AC26C (42%), seguidos pelos isolados AC103 (36%), AC92M (35%), AC12 (33%), AC26L (32%), AC43 (31%), AC50 (30%), AC16 (29%), AC37 (27%), e AC30 (15%) (Tabela 10).

Todos os isolados de actinomicetos promoveram incrementos significativos no acúmulo de fósforo nas raízes de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de jaqueira, sendo que os maiores valores foram observados nos tratamentos com os isolados AC39 (44%), AC26C (43%), AC92C e AC147 (42%), seguidos pelos isolados AC43 e AC92M (35%), AC50 e AC103 (34%) e AC26L (32%), AC12 (31%), AC37 (28%) e AC16 (27%), e AC30 (16%) (Tabela 10).

Tabela 10. Concentrações de nitrogênio(N), fósforo(P) e potássio (K) nas raízes de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área de jaqueira infestado e incubado com diferentes isolados de actinomicetos.

Trat.*	Matéria Seca		Teores (mg g ⁻¹)			Conteúdo (mg planta ⁻¹)		
	(g planta ⁻¹)	(g limbo ⁻¹)	N	P	K	N	P	K
AC12	27,55b	4,60c	27,68a	2,76b	21,85a	127,47b	12,70b	100,51c
AC16	26,93b	4,48c	26,50b	2,74b	22,10a	118,72c	12,28c	99,01c
AC26C	30,39a	4,95a	27,53a	2,79a	21,95a	136,53a	13,81a	108,65a
AC26L	27,87b	4,61c	27,47a	2,76b	21,86a	126,64b	12,72b	100,77c
AC30	22,99c	4,17d	26,36c	2,70c	21,90a	109,93c	11,26d	91,32d
AC37	27,83b	4,56c	26,66b	2,71c	22,07a	121,75b	12,36c	100,64c
AC39	30,07a	4,98a	27,55a	2,80a	22,13a	137,22a	13,94a	110,21a
AC43	28,69b	4,70b	26,63b	2,77b	21,78a	125,32b	13,02b	102,37c
AC50	27,56b	4,70b	26,52b	2,75b	22,03a	124,85b	12,93b	103,54c
AC92C	30,85a	4,90a	28,00a	2,80a	22,15a	137,31a	13,72a	108,54a
AC92M	27,52b	4,75b	27,25a	2,75b	22,19a	129,53b	13,06b	105,40b
AC103	28,53b	4,72b	27,57a	2,74b	22,07a	130,13b	12,93b	104,17b
AC147	31,63a	4,96a	27,92a	2,81a	22,07a	138,62a	13,94a	109,47a
Test.**	23,85c	3,69e	25,93c	2,62d	21,98a	95,78d	9,67e	81,11e
CV(%)	7,02	2,36	2,04	1,74	1,40	2,39	2,26	1,81

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. *Tratamentos com isolados de actinomicetos identificados por código. **Testemunha – tratamento sem infestação.

Para K, todos os isolados promoveram incrementos significativos, com destaque para os tratamentos com os isolados AC39 (36%), AC147 (35%), AC26C e AC92C (34%), que apresentaram os maiores valores, seguidos pelos isolados AC92M (30%), AC50 e AC103 (28%), AC43 (26%), AC12, AC26L e AC37 (24%), AC16 (22%), AC30 (13%) (Tabela 10).

Semelhantemente ao que foi observado no cultivo do girassol em solo de área de jaqueira, infestado e incubado com isolados de actinomicetos, a produção de matéria seca das plantas de pinhão manso foi altamente correlacionada com os teores de nitrogênio e fósforo no limbo foliar e nas raízes do pinhão manso cultivado em solo de área de jaqueira (Figura 4). No limbo foliar observou-se o coeficiente de correlação de matéria seca com teor de N ($r = 0,84^{**}$) e com teor de P ($r = 0,70^{**}$). Na raiz verificou-se a correlação de matéria seca com teor de N ($r = 0,80^{**}$) e com teor de P ($r = 0,88^{**}$) (Figura 4).

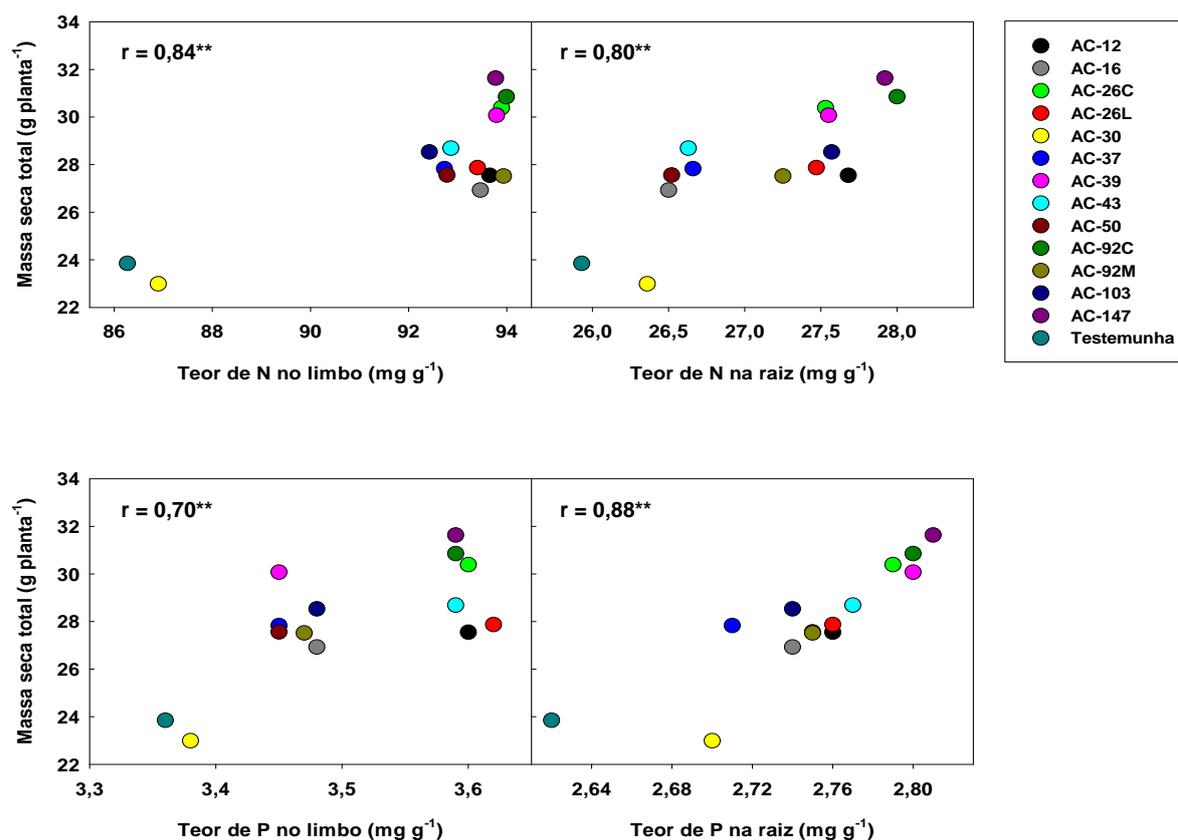


Figura 4. Correlação entre a massa seca total (g planta⁻¹) e os teores de nitrogênio e fósforo (mg g⁻¹) nos limbos e raízes de plantas de pinhão manso cultivadas em solo de área cultivo de jaqueiras, infestado e incubado com treze isolados de actinomicetos do gênero streptomyces e a testemunha. Onde, r = coeficiente de correlação, * = estatisticamente significativa (P <0,05), ** = estatisticamente significativa (P <0,01).

Observou-se também que os maiores teores de nitrogênio e fósforo no limbo foliar e nas raízes do pinhão manso foram proporcionados pelos mesmos isolados de actinomicetos AC26C, AC39, AC92C e AC147 (Figura 4).

DISCUSSÃO

Apesar da grande importância dos microrganismos na agricultura, não foi encontrado nenhum trabalho na literatura científica sobre os incrementos de nitrogênio, fósforo e potássio proporcionados pela ação dos actinomicetos em plantas de girassol e pinhão manso. Neste estudo, investigou-se o efeito dos actinomicetos na nutrição de plantas de girassol e pinhão manso, cultivadas em dois solos com características químicas diferentes, infestados e incubados com 13 isolados de actinomicetos, em comparação com plantas cultivadas em solo sem infestação do microrganismo.

Pode-se observar no presente trabalho que a maioria dos isolados de actinomicetos apresentou atividade celulolítica (92%), fato que demonstra a capacidade destes microrganismos de utilizarem uma variedade de fontes de carbono, sejam monossacarídeos, dissacarídeos ou polissacarídeos. Certamente, estes isolados desempenham um importante papel na degradação de matéria orgânica no solo, contribuindo para a maior disponibilização de nutrientes e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento das plantas. A bioconversão de resíduos de celulose até a glicose é catalisada por um grupo de enzimas denominadas celulasas. Este processo é de crucial importância na ciclagem de nutrientes, uma vez que a celulose representa cerca de 40% do material de origem vegetal (Salamoni, 2005).

Também foi observado que 77% dos isolados de actinomicetos testados apresentaram a capacidade de produção de xilanase, reforçando o potencial destes microrganismos na mineralização de nutrientes presentes na matéria orgânica, resultando na promoção do crescimento e melhor nutrição de plantas. As hemiceluloses são polissacarídeos não celulósicos encontrados em tecidos vegetais, compostos de polímeros complexos de carboidrato, sendo a xilana o principal polímero constituinte do complexo hemicelulolítico, representando de 20 a 40% da

massa seca do vegetal. Microrganismos capazes de produzir xilanase são importantes nos processos de decomposição de compostos orgânicos, podendo agir na mineralização de nutrientes e no maior desenvolvimento das plantas (Oliveira et al., 2003).

Os hormônios vegetais são reguladores naturais de crescimento das plantas. As auxinas são reconhecidas como o principal hormônio vegetal encontrado na natureza, sendo o ácido 3-indolacético (AIA) o composto mais produzido (Radwan et al., 2005). Esta substância funciona como regulador do crescimento dos vegetais, é responsável pela divisão, expansão e diferenciação de células e tecidos vegetais, principalmente nas raízes (Teale et al., 2006), além de apresentar influência direta na germinação de sementes (Tsavkelova et al., 2007).

A síntese dos fitohormônios por bactérias associadas a plantas é uma das formas mais importantes de interação planta-bactéria, causando modificações na morfologia das raízes, influenciando na absorção de nutrientes e água e, conseqüentemente, favorecendo o crescimento vegetal (Spaepen et al., 2007).

O crescimento significativo das plantas de girassol e pinhão manso em solo infestado e incubado com isolados de estreptomicetos também pode ser atribuído à produção de substâncias reguladoras de crescimento, dentre elas o ácido indolacético, produzido por 100% dos estreptomicetos avaliados no presente trabalho (Tabela 1).

Em relação ao crescimento de plantas, destaca-se a importância do suprimento de nutrientes minerais que tem funções específicas e essenciais no metabolismo das plantas. A variação e o maior acúmulo nos teores de N nas raízes e limbo foliar das plantas de girassol e de pinhão manso, observadas em resposta ao tratamento do solo com diferentes isolados de actinomicetos, sugerem que estes microrganismos agem na decomposição da matéria orgânica, disponibilizando o nitrogênio para o crescimento das plantas. O mesmo foi observado para o acúmulo de fósforo nas plantas. Os maiores incrementos de nitrogênio e fósforo proporcionados pelos diferentes isolados de actinomicetos estão intimamente relacionados com a maior produção de matéria seca em plantas de girassol e pinhão manso cultivados em dois solos com características químicas diferentes (Figuras 1, 2, 3 e 4). Esses resultados evidenciam a maior absorção de nutrientes pelas plantas produzidas nos solos infestados e incubados com os estreptomicetos. Os

incrementos observados no crescimento do girassol e do pinhão manso podem ter sido proporcionados pela maior disponibilidade de nutrientes devido à decomposição dos componentes orgânicos e/ou ao maior desenvolvimento do sistema radicular devido à produção de substâncias reguladoras de crescimento pelos estreptomicetos (Sousa, 2009).

Estes resultados evidenciam a importância da nutrição nitrogenada e fosfatada para o crescimento de ambas as culturas oleaginosas estudadas, girassol e pinhão manso e sugerem que os isolados de actinomicetos acima relacionados podem ser utilizados como uma alternativa para melhorar a disponibilidade destes nutrientes e, conseqüentemente aumentar a produção destas culturas.

Entretanto, para os teores de potássio das plantas de girassol e pinhão manso não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos com actinomicetos e a testemunha. Apesar do potássio não ser integrante de nenhum composto dentro das plantas, é o mineral catiônico mais abundante nas plantas chegando a constituir até 10% de seu peso (Epstein & Bloom, 2006). Este elemento não depende da decomposição da matéria orgânica para se tornar disponível para as plantas (Malavolta, 2006), sendo, portanto, menos significativo o efeito dos actinomicetos na disponibilidade e absorção do potássio.

CONCLUSÕES

1. A infestação e incubação do solo com isolados selecionados de estreptomicetos proporcionam incrementos significativos na absorção de nitrogênio e fósforo de plantas de girassol e pinhão manso.
2. Os isolados que promoveram os melhores valores de nutrição para nitrogênio e fósforo nas plantas de girassol e pinhão manso foram AC12, AC26L, AC26C, AC39, AC92C, AC92M e AC147.
3. O crescimento das plantas de girassol e pinhão manso é altamente correlacionado com os teores de nitrogênio e fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, N. F.; AJALA, M.C.; DRANSKI, J.A.; IGNÁCIO, V. L.; MALAVASI, M.M.; MALAVASI, U.C. Morfometria de sementes de *Jatropha curcas* L. em função da

procedência. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.8, n.2, p.142-145, 2009.

BRIC, J. M.; BOSTOCK, R.M.; SILVERSTONE, S.E. Rapid in so assay for indolacético acid production by bacteria immobility on a nitrocellulose embrane. **Appliedand Environment Microbiology**, Washington, v.57, p.535-538, 1991.

CHATER, K.F. Streptomyces inside-out: a new perspective on the bacteria that provide us with antibiotics. **Philosofical Translactions of the Royal Society B**, [London], United Kingdon, v.361, p.761-798, 2006.

DICKMANN, L.; CARVALHO, M.A.C., BRAGA, L.F.; SOUSA, M.P. Comportamento de Sementes de Girassol (*Helianthus annuus* L.) Submetidas a Estresse Salino. **Revista de Ciências Agro Ambientais**, Alta Floresta, v.3, p.64-75, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de análise de solos**. 2ª ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997, 212p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. Editora Planta, Londrina. 2006. 403p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para windows versão 4.0 e reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45, 2000, são Carlos, **Programas e resumos...** UFSCar, p.255-258, 2000.

FRANCIS, G.; EDINGER, R.; BECKER, K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Natural Resource Fórum**, v.29, p.12–24, 2005.

FREITAS, R.F.S; CASTRO, C.A.; MODENESI FILHO, G.D.; SILVA, J.C.; MARQUES, J.A.; TEIXEIRA, K.R.; TOLEDO, L.G.; PRADOS, L.M.Z. **Contribuição ao estudo da extração do óleo do pinhão manso**. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, PB. 7p, 2010.

FREITAS, S.S.; VILDOSO, C.I.A. Rizobactérias e promoção de Crescimento de Planta Cítricas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.987-994, 2004.

GARRITY, G.M.; BELL, J.A.; LILBURN, T.G. **Taxonomic Outline of the Prokaryotes Bergey's Manual of Systematic Bacteriology**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 2003.

GAVA, C.T.; NEVES, M.C.P. **Populações de actinomicetos como componentes da comunidade bacteriana do solo**. 2002. Disponível em: <www.cnpab.embrapa.br> Acesso em janeiro de 2010.

GORDON, S.A.; WEBER, R.P. Colorimetric estimation of indoleacetic acid. **Plant Physiology**, Bethesda, v.26, p.192-195, 1951.

INBAR, E.; GREEN, S.J.; HADAR, Y.; MINZ, D. Competing factors of compost concentration and proximity to root affect the distribution of streptomycetes. **Microbial Ecology**, v.50, p.73-81, 2005.

KATZNELSON, H.; BOSE, B. Metabolic activity and phosphate-dissolving capability of bacterial isolates from wheat roots, rhizosphere, and non-rhizosphere soil. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.5, p.79-85, 1959.

JONES, J.B. **Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis**. Printed in the United States of America. CRC Press, p.205-206. 2001.

LEITE, R.M.V.B.C.; CASTRO, C.; BRIGHENTI, A.M.; OLIVEIRA, F.A.; CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, A.C.B. **Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima**. Comunicado Técnico 78 (EMBRAPA), 4p. 2007.

LEWIS, K.J. **Biological control mechanism fthemycy parasite *Phytium oligandum* Dreschler**. PhD Thesis. Sheffield. University of Sheffield. 1988.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Ed. Agronomica Ceres, São Paulo, 2006. 638p.

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA. 2002. 626p.

OLIVEIRA, A.L.M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J.I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microorganismos sobre o crescimento vegetal**. Seropédia: Embrapa Agrobiologia, 40p. 2003.

OLIVEIRA, M.F; VIEIRA, O.V; LEITE, R.M.V.B.C. **Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa**. Embrapa, Londrina-PR, n.273, 27p., 2004

OTINIANO, A.J; FLORIAN, L.M.; SEVILLANO, R.B. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. **Idesia**, v.24, n.1, p.49-61, 2006.

PELÁEZ, F. The historical delivery of antibiotics from microbial natural products - Can history repeat? **Biochemical Pharmacology**, London, England, v.71, p.981– 990, 2006.

POTER, J.N.; WILHELM, J.J.; TRESNER, H.D. Method for the preferential isolation of actinomycetes from soils. **Applied Microbiology**. v.8, p.174-178, 1960.

RADWAN, S.S.; DASHTI, N.; EL-NEMR, I.M. Enhancing the growth of *Vicia faba* plants by microbial inoculation to improve their phytoremediation potential for oily desert areas. **International Journal of Phytoremediation**, v.7, n.1, p.19-32, 2005.

RENWICK, A.; CAMPBELL, R. COE, S. Assessment of in vivo screening systems for potencial biocontrol agents of *Gaeumannomyces graminis*. **Plant Pathology**, London, v.40, p.524-532, 1991.

SALAMONI, S.P., **Produção e caracterização de celulases e secretada por streptomyces sp. Isolado de processo de compostagem.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 96p, 2005.

SARRUGE, J.R.S.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba: USP-ESALQ, p.56, 1974.

SHAHIDI, B.G.H.; FOOLADI, M.H.; MAHDAVI, M.J.; SHAHGHASI, A. **Broadspectrim a Novel Antibacterial from Streptomyces sp. Biotechnol.** p.3126-130, 2004.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. **FEMS Microbiology Reviews**, v.31, n.4, p.425-448, 2007.

SOARES, A.C.F.; SOUSA, C. da S.; GARRIDO, M. da S.; PEREZ, J.O. Production of Streptomyces inoculum in sterilized rice. **Scientia Agricola**, v.64, p.641 - 644, 2007.

SOUSA, C. da S.; SOARES, A.C.F. e GARRIDO, M. da S. Produção de plantas de tomateiro em substrato orgânico infestado e incubado com estreptomicetos. **Bragantia**, v.68, n.1, p.195-203, 2009.

TEALE, W.D.; PAPONOV, I.A.; PALME, K. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v.7, n.11, p.847-59, 2006.

TSAVKELOVA, E. A.; CHERDYNTSEVA, T.A.; - KLIMOVA, S. YU.; SHESTAKOV, A. I.; BOTINA, S. G.; NETRUSOV, A. I. Orchid-associated bacteria produce indole-3-acetic acid, promote seed germination, and increase their microbial yield in response to exogenous auxin. **Archives of Microbiology**, v.188, p.655–664, 2007.

TUITE, J. **Plant Pathological Methods: Fungi and Bacteria.** Minneapolis. Burgess Publishing Company. 1969.

WEATHERBURN, M.W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**, v.39, p.971-974, 1967.

WENDT, V.; BÜLL, L.T.; CORRÊA, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Produção do girassol em dois sistemas de semeadura em função da adubação verde de inverno associada a doses de NPK. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 27, n. 4, p. 617-621, 2005.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por alternativas tecnológicas de produção, menos agressivas ao meio ambiente e sustentáveis, tem intensificado os estudos com actinomicetos em programas de controle biológico e promoção de crescimento de plantas. Sabendo da grande importância das oleaginosas para o melhor aproveitamento agrícola da região semiárida do Brasil e os efeitos benéficos das actinobactérias na promoção do crescimento das plantas, o objetivo do presente trabalho foi analisar as potencialidades dos actinomicetos do gênero *Streptomyces* na promoção de crescimento e nutrição de plantas oleaginosas com potencial para produção do biodiesel, como o girassol e o pinhão manso.

No presente trabalho, foram observados incrementos significativos no crescimento de plantas de girassol e pinhão manso, cultivadas em solo infestado e incubado com estreptomicetos. A incubação proporciona o tempo necessário para o crescimento dos estreptomicetos no solo e a ação destes na produção de metabólitos secundários e na decomposição dos compostos orgânicos, tornando um ambiente mais favorável ao crescimento das plantas, devido a maior disponibilidade de nutrientes e ação de outros metabólitos no crescimento vegetal. Outros aspectos devem ser considerados na promoção de crescimento das plantas como a produção de substâncias reguladoras de crescimento e solubilização de fosfatos pelos estreptomicetos. A produção de antibióticos, enzimas e sideróforos pelos estreptomicetos podem causar a redução na população de patógenos na rizosfera, podendo também ser esse um mecanismo indireto de promoção de crescimento proporcionado pelos estreptomicetos.

Este é o primeiro estudo envolvendo a ação dos actinomicetos na promoção do crescimento das plantas de girassol e pinhão manso. Assim, outros estudos devem ser conduzidos para complementar o que foi iniciado neste trabalho, como o uso desses actinomicetos no enriquecimento de compostos orgânicos, produzidos a partir de material orgânico adquirido na propriedade rural, possibilitando o uso e manipulação por agricultores familiares.

Estes microrganismos, encontrados abundantemente na natureza, e que, por diversos relatos científicos, incluindo o presente trabalho, demonstraram ser eficientes na promoção de crescimento de diversas plantas, podem ser utilizados na agricultura para aumentar a produção agrícola de forma sustentável. Com isso, a geração de conhecimento e de técnicas de fácil multiplicação em larga escala e aplicação na agricultura, poderão beneficiar muitos agricultores familiares, garantindo sua permanência no campo, com sustentabilidade social, econômica e ambiental.