



## IMPORTÂNCIA DAS ACTINOBACTÉRIAS EM PROCESSOS ECOLÓGICOS, INDUSTRIAIS E ECONÔMICOS

---

Ana Paula Guedes Oliveira<sup>1</sup>, Sabrina Marconsini Sabino<sup>1</sup>, Simony Marques Gandine<sup>1</sup>, Tatiane Moulin<sup>1</sup>, Atanásio Alves do Amaral<sup>2</sup>

1. Pós graduandas em Agroecologia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – *Campus* de Alegre, Alegre, ES, Brasil (anapaula.apgo@gmail.com).
2. Professor Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – *Campus* de Alegre, Alegre, ES, Brasil

Recebido em: 12/04/2014 – Aprovado em: 27/05/2014 – Publicado em: 01/07/2014

---

### RESUMO

O presente trabalho consiste em uma revisão de literatura sobre os aspectos relevantes das actinobactérias, bem como sua importância ecológica, econômica, e industrial. As actinobactérias são bactérias gram-positivas, filamentosas, em sua grande maioria, aeróbias e portadoras de esporos. São organismos cosmopolitas, com predominância no solo, onde desempenham a biodegradação de resíduos e vivem em simbiose com raízes de plantas. Apesar da grande importância ecológica das actinobactérias, além da produção de antibióticos, biodegradação de hidrocarbonetos do petróleo e participação em processos de compostagem, elas ainda são pouco estudadas. Propõe-se a realização de estudos de revisão mais aprofundados sobre as aplicações das actinobactérias em processos ecológicos e industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodegradação, microrganismos, simbiose, *Streptomyces*.

### IMPORTANCE OF ACTINOBACTERIAS IN ECOLOGICAL INDUSTRIAL AND ECONOMIC PROCESSES

#### ABSTRACT

This paper consists of a literature review of relevant aspects of actinomycetes and their ecological economic industrial importance. The actinomycetes are filamentous gram-positive bacteria, in their great majority, aerobics and spore bearers. Are cosmopolitan organisms, predominant in the soil, where they play biodegradation of waste and live in symbiosis with plant roots. Despite the great ecological importance of actinomycetes, besides the production of antibiotics, biodegradation of petroleum hydrocarbons and participation in composting processes, they are still poorly studied. It is proposed the realization of more extensive review studies on the applications of actinomycetes in environmental and industrial processes.

**KEYWORDS:** Biodegradation, microorganisms, symbiosis, *Streptomyces*.

#### INTRODUÇÃO

A partir da revolução verde, as técnicas de produção foram modernizadas, almejando aumentar a produção de grãos para erradicar a fome mundial, sem a

introdução de novas áreas agrícolas (MELO et al., 2013). Todavia, as novas técnicas de correção do solo aliadas à utilização de produtos químicos, trouxeram inúmeros impactos sociais e ambientais negativos, tais como, a eutrofização de aquíferos e reservatórios de água, perda de qualidade do solo devido ao revolvimento da camada arável e remoção da matéria orgânica (OCTAVIANO, 2010; JESUS, 2013).

Como consequência deste modelo de produção, surgem questionamentos pertinentes à conscientização ambiental da população e órgãos governamentais, abrindo espaço para criação de sistemas orgânicos e agroecológicos que atenuem os impactos do modo produção imediatista (JESUS, 2013). A partir de então, iniciativas importantes vêm sendo tomadas para o desenvolvimento de biofertilizantes que promovam o crescimento de espécies agrícolas através da combinação de ácidos húmicos e bactérias endofíticas (CANELLAS et al., 2012).

Desta forma, a busca por microrganismos que atuam no controle biológico, melhorando o estado fitossanitário da planta e aumentando a produtividade, tem sido uma das principais metas das pesquisas agrícolas (CARRER FILHO et al., 2009). Dentre os microrganismos que apresentam relação com a planta hospedeira e produção de metabólitos, destaca-se as actinobactérias (CONTI et al., 2012), por produzirem compostos com atividades fitormonal que atuam diretamente no crescimento vegetal (SADEGHI et al., 2012), sendo, fixadoras de nitrogênio, (VENTURA et al., 2007).

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi fazer uma revisão de literatura sobre os aspectos relevantes das actinobactérias, bem como sua importância ecológica, econômica e industrial.

### **MICROORGANISMOS ENDOFÍTICOS**

Os microrganismos endofíticos compreendem o grupo dos organismos que vivem em simbiose com as plantas hospedeiras, sem causar fitopatogênias a seus hospedeiros, podendo ser patógenos mutualísticos, comensalista e/ou saprófitas (KOGEL et al., 2006). Estes organismos penetram à raiz do vegetal (TAYLOR et al., 2012), podendo permanecer próximo ao local de entrada ou alcançar o sistema vascular alojando-se intra ou intercelularmente. Neste lugar se multiplicarão construindo sítios de multiplicação e desenvolvendo processos benéficos (KUSS, 2006).

Além disso, os microrganismos endofíticos, estão associados à sanidade da planta hospedeira proporcionando vantagens, tais como, aumento da tolerância a estresse, resistência a ataques de insetos, produção de antimicrobianos e fitohormônios (VERMA et al. 2011). A vantagem de trabalhar com microrganismos endofíticos está relacionada à potencialidade destes em gerar produtos naturais, como moléculas bioativas de diferentes classes químicas aplicáveis em diversas áreas incluindo a agricultura (QIN et al., 2011). Entre os microrganismos endofíticos estão as actinobactérias que são indivíduos muito estudados por diversos pesquisadores (VENTURA, 2007; VASCONCELLOS et al., 2010; ALAM et al., 2011).

### **CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ACTINOBACTÉRIAS**

A palavra actinobactéria, derivada do grego “*aktis*” (traço) e “*mykes*” (fungo) é utilizada para designar bactérias constituídas de micélios, com organização filamentosa, muitas vezes ramificada (LECHEVALIER & LECHEVALIER, 1967), denominadas hifas, semelhantes às dos fungos, porém mais estreitas (SEMÊDO, 1997). As actinobactérias, antigamente denominada actinomicetos, são classificadas

dentro do filo e da classe Actinobacteria, compreendendo quatro subclasses, cinco ordens, 14 subordens, 50 famílias, 197 gêneros e 1936 de espécies (BORA & WARD 2009). Um fator importante comum encontrado nesse grupo é a variabilidade de características genéticas, tais como, formação de micélio aéreo, pigmentação, esporulação, resistência a antibióticos e agentes genotóxicos como a mitocina C ou irradiação ultra vermelha e produção de antibióticos (SEMÊDO, 1997).

Por esta razão agrupar taxonomicamente este grupo é uma atividade complexa, exigindo a utilização de métodos que levem em conta diversas características fisiológicas e morfológicas. Dentre esses métodos, destacam-se àqueles que utilizam a quimiotaxia para caracterização de componentes específicos da célula, a taxonomia numérica que considera o maior número possível de características fenotípicas e a sistemática molecular que utiliza métodos de hibridação de ácidos nucleicos fago-tipagem, espectroscopia de massa de pirolisados e técnicas de seqüenciamento de RNAr (SEMÊDO et al., 2004).

Actinobactérias são microrganismos cosmopolitas, ou seja, com capacidade de colonizar os mais variados ecossistemas, tais como águas residuais, pedras, produtos alimentícios, humanos, animais, plantas, construções, entre outros, mas o seu habitat principal é o solo (SATHEEJA & JEBAKUMAR, 2011), onde produzem compostos terpenóides responsáveis pelo odor do solo (ENSIGN, 1978).

As actinobactérias podem ser autótrofas, heterótrofas, fototróficas ou quimiotróficas. A maior parte dos organismos que compõem esse grupo é aeróbia, mas existem organismos que podem ser anaeróbios ou anaeróbios facultativos (KENNEDY, 1999; LACAZ et al., 2002).

Esses organismos são constituídos por um citoplasma granular, região nuclear fibrilar, membrana plasmática constituída de bicamada lipídica obtida pela interação anfipática dos lipídeos e proteínas de membrana (WILLIAMS et al., 1973) e parede celular formada de peptideoglicano associado a um ou mais polímeros, tais como, ácidos teóicos aniônicos e polissacarídeos neutros (SEMÊDO, 1997).

São bactérias gram-positivas (GENILLOUD et al., 2011), na sua grande maioria saprófitas, sendo importante na reciclagem de biomateriais (GOODFELLOW & WILLIAMS, 1983). São conhecidas pela capacidade de produzir grande variedade de enzimas extracelulares e antibióticos capazes de degradar diferentes compostos orgânicos (VASCONCELLOS et al., 2010) e por sintetizar proteínas de forma rápida (ALAM et al., 2011).

Os organismos desse grupo possuem ampla variedade morfológica, podendo ser cocóides como *Micrococcus*, cocobacilo como *Arthrobacter*, filamentos fragmentados como *Nocardia* e micélios ramificados como *Streptomyces* (RAJU et al., 2010). Apresentam alto teor de guanina e citosina em seu DNA (MIÃO e DAVIS, 2010), variando de 51% em *Corynebacteria* e podendo exceder a 70% em *Streptomyces* e *Frankia*. A exceção é o genoma de *Tropheryna whipplei*, com menos de 50% de guanina-citosina em seu DNA (BRENNER et al., 2004; VENTURA et al., 2007).

As actinobactérias produzem filamentos em forma de micélios semelhantes a hifas de fungos (OLMOS et al., 2013), podendo, reproduzir-se por esporos, esporangiósporos ou conidiósporos. Os esporos, produzidos em grande número, são a principal forma de multiplicação, sendo que cada esporo tem capacidade de germinação e crescimento proporcionando o surgimento de um novo organismo. Os esporangiósporos e os conidiósporos são resistentes à dessecação e auxiliam na sobrevivência das espécies durante a estiagem. Outras espécies, como *Nocardia*, reproduzem-se por fragmentação das hifas em células baciliformes e cocóides, cada

uma capaz de gerar um novo micélio (VENTURA et.al., 2007). Os esporos das actinobactérias possuem paredes mais espessas que as hifas, constituindo um envelope externo e sendo, portanto mais hidrofóbicas e tolerantes ao calor e dessecação por muitos anos (SEMÊDO, 1997).

Em *Streptomyces*, os esporos, semelhantes aos de fungos, são classificados como astróporos que são estruturas não resistentes ao calor e menos metabolicamente ativas que células vegetativas. Contudo possuem enzimas que metabolizam compostos de fósforos, carbono e nitrogênio e citocromo a, b e c (ENSIGN, 1978).

Os endósporos de *Thermoactinomyces* contêm ácido diaminopimélico, íons cálcio e magnésio e baixo conteúdo de citocromo a, sendo dormentes e resistindo a altas temperaturas (ENSIGN, 1978). A família Actinoplanaceae é dividida em dois grupos, sendo o primeiro composto pelos gêneros *Actinoplanes*, *Amorphosporangium*, *Ampullariella*, *Estreptosporangium*, *Pilimelia* e *Spirillospora*, caracterizado por conter milhares de esporos agrupados dentro um esporângio esférico ou cilíndrico. O segundo grupo é composto pelos gêneros *Planobispora*, *Dactylosporangium* e *kitasatoa* caracterizados por produzirem 3 a 4 esporos dentro de um esporângio semelhante ao formato de um dedo. Os esporos desta família, quando fora dos esporângios, possuem de 1 a 40 flagelos que forma tufos, sendo, portanto denominados zoósporos (ENSIGN, 1978).

Os *Dactylosporangium* além de produzir os zoósporos, produzem também os aleuriósporos que são dormentes, garantindo assim, a sobrevivência dos organismos em períodos de seca elevados (ENSIGN, 1978). As actinobactérias também são importantes na decomposição de materiais orgânicos no solo, tais como a lignina e outros polímeros recalcitrantes, podendo também, degradar resíduos agrícolas e urbanos (HEUER et al., 1997).

### **IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA DAS ACTINOBACTÉRIAS**

Os agrotóxicos, utilizados com frequência no sistema de produção, causam diversos impactos nos ecossistemas, induzindo a seleção de linhagens de microrganismos resistentes e dificultando o controle de doenças (COLLADO et al. 2007).

Problemas de contaminação são comuns no sistema de produção, exigindo, portanto, medidas alternativas capazes de minimizar o gasto com insumos necessários ao controle de patógenos (BECKER, 2010; PELZER et al., 2011). Entre diversas técnicas, o controle biológico tem demonstrado eficiência no manejo de diversas doenças (MELO et al., 2012). Microrganismos capazes de controlar patógenos de plantas colaboram para a redução dos danos que afetam os processos vitais do vegetal e indiretamente auxiliam no crescimento do hospedeiro (JESUS, 2013).

Por produzirem metabólitos secundários, influenciam o desenvolvimento da planta e a produção de hormônios que atuam na secreção de antibióticos e toxinas atuando no controle de patógenos da planta (VASCONCELLOS et al., 2010). Esses organismos são empregados no biocontrole, ou seja, são utilizados para deduzir a intensidade das fitomoléstias provocadas nas plantas por outros organismos (COOK & BAKER, 1983).

Controlar patógenos veiculados pelo solo envolve diversas dificuldades, contudo, o controle biológico é relatado como técnica de grande sucesso (JOHN et al., 2010; HOOPEN et al., 2012), além de ser menos danoso ao meio ambiente (BETTIOL; MORANDI, 2009).

As actinobactérias possuem grande potencial como agente de controle biológico de fitopatógenos, pois ao se associarem à planta hospedeira, produzem antibióticos, sideróforos e enzimas com ação antimicrobiana (HOSTER et al., 2005). Além disso, favorece o crescimento da planta, em função da produção de fitormônios conhecidos como PGPR (rizobactérias promotoras de crescimento de plantas) (MERZAEVA & SHIROKIKH 2006). O controle de fungos fitopatogênicos por actinobactérias dá-se por diversos mecanismos, tais como hiperparasitismo, antibiose, enzimas degradantes da parede celular e indução à resistência, (EL-TARABILY & SIVASITHAMPARAM, 2005; HASSANIN et al., 2007).

O gênero *Streptomyces* spp. produz enzimas extracelulares, como endoglucanase que possibilita a degradação da parede celular de fitopatógenos de plantas (BOUKAEW et al., 2011). As actinobactérias podem controlar fungos fitopatogênicos atuando de forma semelhante a fungicidas químicos, sendo que no mercado existem diversos produtos confeccionados com actinobactérias, tais como Mycostop, biofungicida isolado a partir de *Streptomyces griseoviridis*, indicado para plantas ornamentais e *Pinus* sp. e Actinovate e Actino-Iron, produzido com *Streptomyces lydicus*, biofungicida indicado para plantas ornamentais e jardinagens (MIYAUCHI, 2012).

Algumas espécies de *Streptomyces* foram usadas para controlar patógenos, tais como, *Colletotrichum musae* agente causador da antracnose na banana (TAECHOWISAN et al., 2003), *Pyricularia oryzae* e *R. solani* causadores da brusone no arroz e no trigo, fitopatologia que ocasiona manchas de cor marrom podendo levar a planta à morte. (CRUZ et al. 2011), *Phytophthora* causador da podridão radicular na pimenta (EZZIYYANI et al., 2007), *Pythium aphanidermatum* causador da podridão nas raízes das plantas, provocando o tombamento das mesmas. (PINTO et al, 2010; TEIXEIRA et al., 2013), *Sclerotium* causador da podridão no girassol (BANIASADI et al., 2009) e *Rhizoctonia solani* e *Pseudomonas solanacearum* em tomate (PATIL et al., 2011).

Na comunidade rizosférica, região influenciada pelas raízes e que contém grande diversidade de microrganismos do solo, as actinobactérias são importantes, pois, influenciam no desenvolvimento da planta e protegem as raízes contra agentes patógenos (SÁ, 2014). Além disto, produzem compostos químicos como a tiamina, vitamina B<sub>12</sub>, riboflavina, flavoproteínas, porfirinas e compostos contendo ferro e coenzima que podem inibir ou incentivar o desenvolvimento de novos organismos (KENNEDY, 1999).

Alguns gêneros das subordens *Corynebacterineae*, *Micrococcineae*, *Micromonosporineae*, *Propionibacterineae*, *Streptomyicineae* possuem a capacidade de degradar pesticidas, tais como organoclorados, triazinonas, triazinas simétricas, carbamatos, acetanilidas e sulfonilúreas (SCHRIJVER e MOT, 1999). *Streptomyces* tem um bom potencial na biorremediação de locais contaminados por DIURON um dos pesticidas mais utilizados no Brasil (ESPOSITO et al., 1998). Um isolado do gênero *Streptomyces* produtor de ácido indol-3-acético foi utilizado em trigo, aumentando a massa fresca de brotos e seca de raízes e a absorção de nitrogênio (N), ferro (Fe), fosforo (P) e manganês (Mn) (SADEGHI et al., 2012). As actinobactérias pertencentes ao gênero *Streptomyces* tem capacidade de decompor substâncias húmicas em função da produção de enzimas peroxidases alterando quimicamente a estrutura de ácido húmicos (FODIL et al, 2012).

## **IMPORTÂNCIA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E FORMAÇÃO DO SOLO**

A compostagem, também conhecida como humificação, é um procedimento que acelera a estabilização do contaminante orgânico (PEREIRA, et al., 2012), sendo portanto, uma técnica, econômica, higiênica e ecológica de manejar os resíduos no ambiente (SEMÊDO, 2004).

Essa técnica é utilizada para transformação de substâncias orgânicas em subprodutos com pouca ou nenhuma toxicidade, através da biodegradação de sítios contaminados (PEREIRA, 2012), sendo realizada por microrganismos para formação de adubo orgânico (COSTA & SILVA, 2011). Dessa forma, a compostagem é um processo de descontaminação do solo de modo *ex situ*, ou seja, o solo é retirado do local de origem e empilhado com e sem aeração controlando-se a lixiviação e o escoamento superficial de líquidos provenientes dessas pilhas (JACQUES et al. 2009).

No processo de compostagem, as actinobactérias, principalmente o gênero *Streptomyces*, atuam na degradação de moléculas complexas, tais como celulose, lignocelulose, xilana e lignina, abundantes na biomassa vegetal (DING et al., 2004; PETROSYAN et al., 2003). O produto final da compostagem pode ser utilizado na produção de cogumelos comestíveis, como fertilizante para agricultura, cultivo de vegetação em acostamentos de estradas, como biofiltros e na biorremediação (SILVA, 2010).

Estes microrganismos, também, decompõem restos animais e vegetais resultando em substâncias húmicas que em conjunto com outros materiais da decomposição, promoverão a agregação de partículas primárias e a formação de agregados do solo (LEPSH, 2010).

## **BIODEGRADAÇÃO DE PETRÓLEO POR ACTINOBACTÉRIAS**

O petróleo é uma substância oleosa originada a partir da decomposição de matéria orgânica, como o plâncton, por bactérias que atuam em ambientes com baixo teor de oxigênio, sendo depositada no fundo dos oceanos, mares e lagos (LUCCHESI, 1998).

A perfuração de poços de petróleo por indústrias exploradoras do recurso e o transporte por navios vem expandindo nos últimos anos, aumentando a possibilidade de derramamento nos mares e oceanos e a contaminação do ambiente por elementos altamente poluentes (MATOS, 2013).

As partículas do petróleo têm forte tendência de acumularem-se no sedimento contribuindo para sua permanência no ambiente aquático. Contudo, o tempo de degradação do petróleo depende da composição do óleo e das condições ambientais, sendo que no sedimento aquático esse processo é lento em função da ausência de luz e oxigênio (BENTO, 2005).

Os poluentes liberados pelo petróleo devem ser monitorados frequentemente, pois por terem capacidade de acumulação nas cadeias respiratória, são tóxicos aos seres vivos e considerados carcinogênicos, mutagênicos, teratogênicos (BENTO, 2005).

As bactérias são os primeiros indivíduos a atuarem na degradação do petróleo quando ocorre derramamento do óleo no meio ambiente, além de serem rápidas na degradação dos hidrocarbonetos. Contudo, estudos que relacionam actinobactérias com degradação de hidrocarbonetos são limitados (DAN & CHANDRAN, 2011). Neste contexto, as actinobactérias são extremamente importantes, pois realizam a biodegradação em ambientes contaminados por

petróleo, através da decomposição das substâncias orgânicas e redução da toxicidade no ambiente contaminado (JACQUES et al., 2009).

Desta forma, a composição do óleo é alterada pela ação microbiótica de acordo com o potencial diversificado dos gêneros, tais como, *Pseudomonas*, *Rhodococcus* e *Streptomyces* que utilizam a cadeia de alcanos e através da  $\beta$ -oxidação dos compostos aromáticos produzem lipídios com diferentes complexidades e funções. (SORKHOH et al., 1995; PEREIRA et al, 2012). Os microrganismos pertencentes ao gênero *Rhodococcus* possuem genes catabólicos e uma fisiologia celular robusta, permitindo, dessa forma, a degradação de diversos compostos orgânicos recalcitrantes e tóxicos (LARKIN; KULAKOV e ALLEN, 2005).

### **IMPORTÂNCIA INDUSTRIAL E ECONÔMICA DAS ACTINOBACTÉRIAS**

Produtos naturais provenientes das actinobactérias são fontes de moléculas bioativas com grande potencial para o desenvolvimento de produtos na indústria farmacêutica, incluindo aqueles utilizados ensaios clínicos para o tratamento do câncer (ASOLKAR et al., 2010). Os microrganismos sintetizam diversas substâncias químicas, importantes à indústria farmacêutica para a produção de antibióticos, imunossupressores, anticancerígenos, agentes redutores de colesterol, entre outros (LOPES et al., 2011).

As actinobactérias produzem compostos bioativos importantes de alto valor comercial e, portanto, vem sendo estudado para produção de novas substâncias bioativas, uma vez que 61% de todos os metabólitos microbianos bioativos foram isolados a partir dessas bactérias (MONCHEVA et al., 2002). Esses organismos são importantes em processos biotecnológicos devido à capacidade de produzir metabólitos secundários de diversas classes químicas e atividades biológicas que serão isolados e utilizados para produção de enzimas, agentes antitumorais, imunomoduladores e antimicrobianos (RAJA e PRABAKARANA, 2011).

Após a descoberta da actinomicina por Waksman e Woodruff em 1940, membros da ordem Actinomycetales como os da família Streptomycetaceae tornaram-se uma das principais fontes de antibióticos tais como aminoglicósidos, antraciclina, cloranfenicol,  $\beta$ -lactâmicos, macrólidos e tetraciclina, entre outros (DUFOSSE, 2009; RAJA & PRABAKARANA, 2011).

Outras actinobactérias pertencentes ao gênero *Streptomyces* foram isoladas do solo de mangues, apresentando alta produtividade de lactonas macrocíclicas que atuam como antifúngicos, inibidores de *Candida albicans* e produzem efeitos citotóxicos contra células de tumor de cólon em seres humanos (YUAN, 2010). Em seres humanos, essas bactérias também foram descritas como agentes potenciais na ação contra diversos tipos de microrganismos patogênicos (TEIXEIRA, 2013).

A espécie *Streptomyces violaceolatus* em meio de cultura Amido-caseína produz coloração roxa que, em função de não apresentar atividade tóxica ou mutagênica, constitui um grande potencial para produção de cosméticos ou utilização na alimentação (MENDONÇA, 2011). As actinobactérias marinhas dos gêneros *Dietzia*, *Marinispora*, *Rhodococcus*, *Salinibacterium*, *Salinospora* e *Streptomyces* são responsáveis pela produção de diversas substâncias bioativas (KONG et al., 2010).

Algumas actinobactérias marinhas são fontes importantes de diversos compostos bioativos novos e únicos quando comparados aos provenientes de organismos terrestres. Actinobactérias, coletados na região entremarés, na China, possuem efeitos que inibem o desenvolvimento de outras bactérias patogênicas, tais como *Bacillus cereus*, gram positiva e *Escherichia coli*, gram negativa (LU, 2009).

O gênero *Verrucosispora* pertencente à subordem Micromonosporineae foi isolado do sedimento marinho e produz um composto policíclico que consiste em um inibidor de bactérias gram positivas multiresistentes (FIEDLER, 2005). Outro composto produzido por um streptomiceto isolado de lodo marinho na China produz compostos ativos a partir do metabolismo secundário, apresentando atividade antimicrobiana e antitumoral (LIN, 2010).

A geldamicina (GM) é um agente anticancerígeno e quimioterápico produzido a por *Streptomyces hygroscopicus*, que se liga ao sítio de ligação do ATP da proteína de choque 90 (HSP90), inibindo atividades críticas na transdução de sinais e transcrição durante o processo de tumorigênese. No entanto, este fármaco produz efeitos colaterais indesejados, sendo necessário o estudo com análogos de GM geneticamente modificados (HONG, 2010).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

As actinobactérias são organismos endofíticos com relevante potencial ecológico, industrial e econômico. Esses organismos atuam como promotores de crescimento e são agentes primordiais no biocontrole de doenças de plantas, contribuindo, significativamente para produção de antibióticos e fungicidas amplamente comercializados, gerando, dessa forma aumento na economia. Contudo, apesar de serem relevantes em diversos aspectos, as actinobactérias, ainda são pouco estudadas e divulgadas. Propõe-se a realização de estudos de revisão mais aprofundados sobre as aplicações das actinobactérias no processo ecológico e, sobretudo, industrial.

### REFERÊNCIAS

ALAM, M. T.; MEDEMA, M. H.; TAKANO, E.; BREITLING, R. Comparative genome-scale metabolic modeling of actinomycetes: the topology of essential core metabolism. **FEBS Lett**, v. 585, n. 14, p. 2389-2394, 2011.

ASOLKAR, R. N.; KIRKLAND, T. N.; JENSEN, P. R.; FENICAL, W. Arenimycin, an antibiotic effective against rifampin- and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from the marine actinomycete *Salinispora arenicola*. **Journal Antibiotic**. v. 63, p. 37-39, 2010.

BANIASADI, F.; BONJAR, G H S.; BAGHIZADEH, A.; KARIMI NIK, A.; JORJANDI, M.; AGHIGHI, S.; FAROKHI, P. R. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum*, causal agent of sunflower head and stem rot disease, by use of soil borne actinomycetes isolates. **Agriculture and Biological Sciences**, v.4, p.146-151, 2009.

BECKER, W. F. Validação dos sistemas de alerta Machardy e Colpam 40® para previsão da requeima do tomateiro em Caçador, SC. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, vol.36, n.3, p. 210-215, 2010.

BENTO, D. M. **Análise Química da Degradação dos Hidrocarbonetos de Óleo Diesel no Estuário da Lagoa dos Patos**. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

BETTIOL, W.; MORANDI, M, A, B. Controle Biológico de Doenças de Plantas no Brasil. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M, A, B.(Eds) **Biocontrole de Doenças de plantas: usos e perspectivas**. Embrapa, 2009, 341p.

BORA, N. M.; WARD, A. C. The actinobacteria. In: GOLDMAN, E.; GREEN, L. H. (Ed). **Practical handbook of microbiology**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009, p. 373- 443.

BOUKAEW, S.; CHUENCHIT, S.; PETCHARAT, V. Evaluation of *Streptomyces* spp. for biological control of *Sclerotium* root and stem rot and *Ralstonia* wilt of chili pepper. **BioControl**, v. 56, p.365-374, 2011.

BRENNER, D. J.; KRIEG N. R.; STALEY J. T. **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology**, v. 2, 2 Ed., Editora Springer, 2004.

CANELLAS, L. P.; BALMORI, D. M.; MÉDICI, L. O.; AGUIAR, N. O.; CAMPOSTRINI, E.; ROSA, R. C. C.; FAÇANHA, A. R.; OLIVARES, F. L. A combination of humic substances and *Herbaspirillum seropedicae* inoculation enhances the growth of maize (*Zea mays* L.). **Plant and Soil**, v. 366, p. 119- 132, 2012.

CARRER FILHO, R.; ROMEIRO, R. S.; AMARAL, L. S.; GARCIA, F. A. Potencialidade de um actinomiceto de rizosfera de tomateiro como agente de biocontrole de doenças. Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n.3, 2009.

COLLADO, I. G.; SANCHES, A. J. M.; HANSON, J. N. Fungal terpene metabolites: biosynthetic relationships and the control of the phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea*. **Natural Products Report**, v. 24, n. 4, p. 674-686, 2007.

CONTI, R.; GUIMARÃES, D. O.; PUPO, M. T. Aprendendo com as interações da natureza: microrganismos simbiotes como fontes de produtos naturais bioativos **Cienc. Cult.**, v. 64, n. 43, p. 43-47, 2012.

COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The nature and practice of biological control of plant pathogens**. St. Paul, The American Phytopathology Society, 1983. 539p.

COSTA, A. P.; SILVA, W. C. M. A compostagem como recurso metodológico para o ensino de ciências naturais e geografia no ensino fundamental. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

CRUZ, M. F. A. DINIZ, A. P. C.; RODRIGUES, F. A.; BARROS, E. G. Aplicação foliar de produtos na redução da severidade da brusone do trigo. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n.6, p. 424-428, 2011.

DAN N.; CHANDRAN P. Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: an overview. **Biotechnology Research International**, v. 1, 1-13. 2011.

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

DUFOSSE, L. Pigments, Microbial. In: SCHAECHTER, M. (Org). **Encyclopedia of microbiology**, 3 ed. Academic, Oxford, 2009.

ENSIGN, J. C. Formation, properties, and germination of actinomycetes spores. **Annual Review Microbiology**, v.32, p. 185-219, 1978.

ESPOSITO, E.; PAULILO, S. M.; MANFIO, G. P. Biodegradation of the herbicide diuron in soil by indigenous actinomycetes. **Chemosphere**, v.37, p. 541-548, 1998.

EL-TARABILY, K. A.; SIVASITHAMPARAM, K. Non-streptomycete actinomycetes as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p.1505–1520, 2005.

EZZIYYANI, M.; REQUENA, M. E.; EGEA-GILABERT, C.; CANDELA, M. E. Biological control of phytophthora root rot of pepper using *Trichoderma harzianum* and *Streptomyces rochei* in combination. **Phytopathology**, v.155, p.342–349,2007.

FODIL, D.; JAOUADI, B.; BADIS, A. NADIA, Z. J.; FERRADJI, F. Z.; BEJAR, S.; BOUTOUMI, H. A thermostable humic acid peroxidase from *Streptomyces* sp strain AH4: purification and biochemical characterization. **Bioresource technology**, v.111, p. 383-390, 2012.

GENILLOUD, O.; GONZA´LEZ, I.; SALAZAR, O.; MARTI´N, J.; TORMO, J. R.; VICENTE, F. Current approaches to exploit actinomycetes as a source of novel natural products. **Journal of Indian Microbiology and Biotechnology**, v.38, p.375-389, 2011.

GOODFELLOW, M.; WILLIAMS, S. T. Ecology of actinomycetes. **Annual Review of Microbiology**, v. 37, p. 189-216, 1983.

HASSANIN, S. M.; EL-MEHALAWY, A. A.; HASSANIN, N. M.; ZAKI, S. A. Induction of resistance and biocontrol of rhizoctonia in cotton damping-off disease by rhizosphere bacteria and actinomycetes. **Internet Journal of Microbiology**, v.3, n2, 2007.

HEUER, H.; KRSEK, M.; BAKER, P.; SMALLA, K.; WELLINGTON, E. M. H. Analysis of Actinomycete Communities by Specific Amplification of Genes Encoding 16S rRNA and Gel-Electrophoretic Separation in Denaturing Gradients. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 63, n. 8, p.3233–3241, 1997.

HONG, S. S.; CAI, X. F.; HWANG, B. Y.; LEE, H. S.; SU, B.; HONG, Y.; LEE, D. New tricyclic geldanamycin analogues from an engineered strain of *Streptomyces hygroscopicus* JCM4427. **Tetrahedron Letters**, v. 51, p. 351–353, 2010.

HOOPEN, G. MARTIJN TEN.; KUATÉ, J.; ADIOBO, A.; NGONKEU, M. E. L.; AMBANG, Z.; AKOA, A., TONDJE, P.R.; BEGOUD, B. A. D. *Trichoderma asperellum*: A potential biocontrol agent for *Pythium myriotylum*, causal agent of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) root rot disease in Cameroon. **Crop Protection**, v.36, p.18-22, 2012.

HOSTER, F.; SCHMITZ, J. E.; DANIEL, R. Enrichment of chitinolytic microorganisms: isolation and characterization of chitinase exhibiting antifungal activity against phytopathogenic fungi from a novel *Streptomyces* strain. **Applied Microbiology Biotechnology**, v.66, p.434-442, 2005.

JACQUES, R. J.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLIM, Z. I. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1192-1201, 2009.

JESUS, J. A. **Potencial biotecnológico de actinobactérias e Bactérias diazotróficas endofíticas para o Crescimento de plantas**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos do Goytacazes – RJ, 2013.

JOHN, R. P.; TYAGI, R. D.; PRÉVOST, D.; BRAR, S. K.; POULEUR, S.; SURAMPALLI, R.Y. Mycoparasitic *Trichoderma viride* as a biocontrol agent against *Fusarium oxysporum* f. sp. *adzuki* and *Pythium arrhenomanes* and as a growth promoter of soybean. **Crop protection**, v.29, n.12, p.1452-1459, 2010.

KENNEDY, A. C. Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture ecosystems e environment*, v. 74, p. 65-76, 1999.

KOGEL, K. H.; FRANKEN, P.; HÜCKELHOVEN, R. Endophyte or parasite – what decides? **Current Opinion in Plant Biology**, v. 9, n. 4, p.358-386, 2006.

KONG, D. X.; JIANG, Y. Y.; ZHANG, H. Y. Marine natural products as sources of novel scaffolds: achievement and concern. **Drug Discovery Today**, v.15, n. 21-22, p.884-886, 2010.

KUSS, A. V. **Fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas em cultivares de arroz irrigado**. 2006. 109 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2006.

LACAZ, C. S.; PORTO, E. ; MARTINS, J. E. C.; HEINS-VACCARI, E. M.; MELO, N. T. **Tratado de Micologia Médica**, 9. ed. São Paulo: Sarvier Editora de Livros Médicos, 2002.

LARKIN, M. J.; KULAKOV, L. A.; ALLEN, C. R. Biodegradation and *Rhodococcus* – masters of catabolic versatility. **Current Opinion in Biotechnology**, v.16, p.282-290. 2005.

LECHEVALIER, H. A.; LECHEVALIER, M. P. Biology of the actinomycetes. **Annual Review of Microbiology**, n. 21, p. 71-100, 1967.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

LIN, Q.; LIU, Y. A new marine microorganism strain L0804: taxonomy and characterization of active compounds from its metabolites. **World Journal Microbiology Biotechnology**, v.26. p. 1549-1556, 2010.

LOPES, A. A.; GUIMARAES, D. O.; PUPO, M. T. Quando os microrganismos salvam vidas: seres diminutos a serviço da produção de medicamentos. **Ciencia Hoje**, v.286, n. 30, 2011.

LU, Y.; DONG, X.; LIU, S. BIE, X. Characterization and Identification of a Novel Marine Streptomyces sp. Produced Antibacterial Substance. **Marine Biotechnology**, v. 11, p. 717-724, 2009.

LUCCHESI, C. F. Petróleo. **Estudos Avançados**, v. 12, n. 33, p.17-40,1998.

MATOS, F. C. A. E. **A obrigação de reparação ambiental versus responsabilidade civil: a poluição por hidrocarbonetos, no mar e nos oceanos**. 2012. 154 f. Dissertação (Mestre em Direito) – Universidade Autónoma de Lisboa, Lisboa, 2013.

MELO, G. G. S.; RODRIGUES, T. B. S.; SOUZA, M. M. O. O uso de agrotóxicos não é uma escolha do produtor, mas sim uma imposição do agronegócio! In: VIII ENCONTRO DIA DO GEOGRAFO, 1., 2013, Goiás. **Anais...Goiás: UEG/ UnU**, 2013. p.103-107.

MELO, T. A. MELO, T. A.; SERRA, I. M. R. de S.; SILVA, G. S.; SOUSA, R. M. S. Produtos naturais aplicados para manejo de *Meloidogyne incognita* em tomateiros. **Summa Phytopathologica**, v.38, n.3, p.223-227, 2012.

MENDONÇA, J. N. Identificação e isolamento de corantes naturais produzidos por actinobactérias. 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

MERZAEVA, O. V.; SHIROKIKH I. G. Colonization of plant rhizosphere by actinomycetes of different genera. **Microbiology**, v.75, p.226–230, 2006.

MIÃO, V.; DAVIES, J. Actinobacteria: the good, the bad and the ugly. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 98, n. 2, p. 143-150, 2010.

MIYAUCHI, M. Y. H. **Biocontrole de fungos patogênicos por actinobactérias isoladas de rizosfera de *Araucária angustifolia***. 2012. 106 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

MONCHEVA, P.; TISHKOV, S.; DIMITROVA, N.; CHIPEVA, V.; NIKOLOVA, S. A.; BOGATZEVSKA, N. Characteristics of soil actinomycetes from Antarctica. **Journal of Cultural Collection**, v.3, p.3–14, 2002.

OCTAVIANO, C. Muito além da tecnologia: os impactos da Revolução Verde. **Com Ciência**, n. 120, 2010.

OLMOS, E.; MEHMOOD, N.; HAJ HUSEIN, L.; GOERGEN, J. L.; FICK, M.; DELAUNAY, S. Effects of bioreactor hydrodynamics on the physiology of *Streptomyces*. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v.36, n.3, p.259-272, 2013.

PATIL H. J.; SRIVASTAVA, A. K.; SINGH, D. P.; CHAUDHARI, B. L.; ARORA, D. K. Actinomycetes mediated biochemical responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) enhances bioprotection against *Rhizoctonia solani*. **Crop Protection**, v.30, p.1269-1273, 2011.

PELZER, G. Q.; HALFELD-VIEIRA, B. A.; NECHET, K. L.; SOUZA, G. R.; ZILLI, J. E.; PERIN, L. Mecanismos de controle da murcha-de-esclerócio e promoção de crescimento em tomateiro mediados por rizobactérias. **Tropical plant pathology**, Brasília, v.36, n.2, p. 95-103, 2011.

PEREIRA, D. S.; GOMES, R. C.; SEMÊDO, L. T. A. S. **Potencial das actinobactérias na biodegradação de hidrocarbonetos**. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 5, n. 2 p. 71-96, 2012.

PETROSYAN, P.; GÁRCIA-VARELA, M.; LUZ-MADRIGAL, A.; HUITRÓN, C.; FLORES, M.E. *Streptomyces mexicanus* sp., a xylanolytic micro-organism isolated from soil. **Internacional Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v.53, p.269-273, 2003.

PINTO, Z.V. et al. Podridão das raízes causada por *Pythium aphanidermatum*, em cultivares de alface produzidas em sistema hidropônico. **Summa Phyopatol**, v. 37, n. 4, p. 180-186, 2011.

QIN, S.; XING, K.; JIANG, J. H.; XU, L. H.; LI, W. J. Biodiversity, bioactive natural products and biotechnological potential of plant-associated endophytic actinobacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 89, n.3, p. 457-473, 2011.

RAJA, A.; PRABAKARANA, P. Actinomycetes and drugs-an overview. **American Journal of Drug Discovery and Development**, v. 1, n. 2, p. 75-84, 2011.

RAJU, A.; PIGGOTT, A. M.; CONTE, M.; TNIMOV, Z.; ALEXANDROV, K.; CAPON, R. J. Nocardiopsins: New FKBP12-Binding Macrolide Polyketides from an Australian Marine-Derived Actinomycete, *Nocardiopsis* sp. **Chemistry European Journal**, v. 16, p.3194 - 3200, 2010.

SÁ, F. O. **Controle biológico da podridão vermelha do Sisal (*Agave sisalana* Perrine) com *Trichoderma* ssp. E Actinobactérias**. 2014. 133f. Tese (Doutorado em ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2014.

SADEGHI, A.; KARIMI, E.; DAHAZI, P. A.; JAVID, M. G.; DALVAND, Y.; ASKARI, H. Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil condition. **World Journal of Microbiology Biotechnology**, v. 28, p. 1503–1509, 2012.

SATHEEJA SV; JEBAKUMAR SRD. Phylogenetic analysis and antimicrobial activities of *Streptomyces* isolates from mangrove sediment. **Journal of Basic Microbiology**, v. 51, p.71-79, 2011.

SEMÊDO, L. T. A. S. **Atividade antimicrobiana e celulolítica de actinomicetos isolados de solos brasileiros**. 1997. 128 f Dissertação (Mestrado Biotecnologia Vegetal - Microbiologia Aplicada) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

SEMÊDO, L. T. A. S.; GOMES, R. C. LINHARES, A. A.; DUARTE, G. F.; NASCIMENTO, R. P.; ROSADO, A. S.; MARGIS-PINHEIRO, M.; MARGIS, R.; SILVA, K. R. A.; ALVIANO, C. S.; MANFIO, G. P.; SOARES, R. M. A.; LINHARES, L. F.; COELHO, R. R. R. *Streptomyces drozdowiczii* sp. nov, a novel cellulolytic streptomycete from soil in Brasil. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v.54, p. 1323-1328, 2004.

SCHRIJVER, A.; MOT, R. Degradation of pesticides by actinomycetes. **Critical Reviews in Microbiology**, v.25, p.85-119, 1999.

SILVA, L. C. B. Identificação de actinobactérias e *Thermoactinomyces* spp. isolados do processo de compostagem para a produção de *Agaricus brasiliensis*. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SORKHOH, N. A.; AL-HASAN, R. H.; KHANAFER, M.; RADWAN, S. S. Establishment of oil-degrading bacteria associated with cyanobacteria in oil-polluted soil. **Journal Applied Bacteriology**, v. 78, 194-199, 1995.

TAECHOWISAN, T.; PEBERDY, J. F.; LUMYONG, S. Isolation of endophytic actinomycetes from selected plants and their antifungal activity. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.19, p.381–385, 2003.

TAYLOR, T. N.; KRINGS, M.; GALTIER, J.; DOTZLER, N. Fungal endophytes in *Astromyelon*-type (Sphenophyta, Equisetales, Calamitaceae) roots from the Upper Pennsylvanian of France. *Review of Paleobotany and Palynology*, v. 171, p.9-18, 2012.

TEIXEIRA, P. L.; SANTOS, S. N.; MELO, I. S. Biodiversidade de actinobactérias do solo da caatinga para controle biológico de pragas. In: Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 7. 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2013, p.1-8.

VASCONCELLOS R. L. F.; SILVA M. C. P.; RIBEIRO C. M.R.; CARDOSO E. J. B.N. Isolation and screening for plant growth-promoting (PGP) actinobacteria from *Araucaria angustifolia* rhizosphere soil. **Sci Agric**, v.67, n. 6, p.743–6. 2010.

VENTURA, M.; CANCHAYA, C.; CHANDRA, G.; FITZGERALD, G. F.; CHATER, K. F.; SINDEREN, D. Genomics of Actinobacteria: Tracing the evolutionary History of an Ancient Phylum. **Microbiology And Molecular Biology Reviews**, v.71, n. 3, p.495–548, 2007.

VERMA, V. C.; SINGGH, S. K.; PRAKASH, S. Bio-control and plant growth promotion potential of siderophore producing endophytic *Streptomyces* from *Azadirachta indica* A. juss. **Journal of Basic Microbiology**, v. 51, n. 5, p. 550-556, 2011.

WILLIAMS, S. T.; SHARPLES, G. P.; BRADSHAW, R. M. (1973). The fine structure of the Actinomycetales, In: SYKES, G.; SKINNER, F.A. (eds). **Actinomycetales**. Academic Press, 1973, p. 113-130.

YUAN, G. J.; HONG, K.; LIN, H. P.; LI, J. Azalomycin F4a 2-ethylpentyl ester, a new macrocyclic lactone, from mangrove actinomycete *Streptomyces* sp. 211726. **Chinese Chemical Letters**, v. 21, p. 947–950, 2010.