Revista Eletrônica ACERVO CIENTÍFICO
ISSN 2595-7899

Avaliação da atividade antioxidante de *Streptomyces spp.* isolado do solo do lixão de Imperatriz

Evaluation of the antioxidant activity of *Streptomyces spp.* isolated from soil of the Imperatriz landfill

Evaluación de la actividad antioxidante de *Streptomyces spp.* aislado de suelo del relleno sanitario de Imperatriz

João Pedro Ferreira Silva[1], Patrick Assunção Mourão[3], Maria Clara Silva dos Santos[2], Gessiane dos Santos de Souza[2], Alexandre Sousa Nunes[2], Ana Paula da Silva Vidal[2], Arannadia Barbosa Silva[2], Ludmilla Santos Silva de Mesquita[1], Luciana Oliveira dos Santos[1], Matheus Silva Alves[1].

RESUMO

Objetivo: Avaliar a atividade antioxidante dos metabólicos secundários provenientes dos *Streptomyces ssp* isolados de solos do lixão de Imperatriz. **Métodos:** Foram coletadas amostras de solo, das quais foram realizados o isolamento, purificação e identificação cepas de *Streptomyces*. Após essa etapa, os extratos orgânicos contendo os metabólitos secundários foram obtidos para avaliar a atividade biológica. Os testes para a avaliação da atividade antioxidante dos extratos de *Streptomyces* isolados foram feitos por meio de sequestro do radical livre 2,2-difenil-1- picrilhidrazil (DPPH). **Resultados:** Os *Streptomyces* foram identificados, avaliando características macromorfológicas, incluindo cor, textura, dureza das colônias, e isolados 2 microrganismos do mesmo gênero, com relevos, halos esbranquiçados, produção de pigmento amarelo queimado, e microscopicamente, observou-se cadeias de esporos espirais e hifas curtas. Os testes empregados durante a pesquisa apresentaram resultados positivos, variando de 40% a 90%, evidenciado sua capacidade significativa de neutralização do radical livre DPPH. **Conclusão:** Os resultados dos estudos constataram a presença da atividade antioxidante nos metabólitos secundários extraídos de actinomicetos isolados do lixão.

Palavras-chave: Actinomicetos, Antioxidante, *Streptomyces*.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the antioxidant effectiveness of secondary metabolites from *Streptomyces spp.* isolated from soils of the Imperatriz landfill. **Methods:** Soil samples were collected, from which *Streptomyces* strains were isolated, purified, and identified. After this step, organic extracts containing secondary metabolites were obtained to evaluate biological activity. Tests to evaluate the antioxidant activity of isolated *Streptomyces* extracts were performed using scavenging of the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical. **Results:** *Streptomyces* were identified by evaluating macromorphological characteristics, including color, texture, and hardness of the colonies. Two microorganisms of the same genus were isolated, exhibiting reliefs, whitish halos, and the production of a burnt yellow pigment. Microscopically, spiral spore chains and short hyphae were observed. The tests used during the research showed positive results, ranging from 40% to 90%, demonstrating their significant capacity to neutralize the DPPH free radical. **Conclusion:** The results of the studies confirmed the presence of antioxidant activity in the secondary metabolites extracted from actinomycetes isolated from the landfill.

Keywords: Actinomycetes, Antioxidant, *Streptomyces*.

[1] Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz – MA.
[2] Universidade CEUMA (UniCEUMA), Imperatriz – MA.
[3] Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Araguatins – TO.

SUBMETIDO EM: 2/2026 | **ACEITO EM: 3/2026** | **PUBLICADO EM: 5/2026**

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la efectividad antioxidante de los metabolitos secundarios de *Streptomyces spp*. aislados de suelos del vertedero de Imperatriz. **Métodos:** Se recolectaron muestras de suelo, de las cuales se aislaron, purificaron e identificaron cepas de *Streptomyces.* Después de este paso, se obtuvieron extractos orgánicos que contenían metabolitos secundarios para evaluar la actividad biológica. Las pruebas para evaluar la actividad antioxidante de los extractos aislados de *Streptomyces* se realizaron mediante la eliminación del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). **Resultados:** Se identificaron *Streptomyces* mediante la evaluación de las características macromorfológicas, incluyendo el color, la textura y la dureza de las colonias. Se aislaron dos microorganismos del mismo género, que presentaban relieves, halos blanquecinos y la producción de un pigmento amarillo quemado. Microscópicamente, se observaron cadenas de esporas espirales e hifas cortas. Las pruebas utilizadas durante la investigación arrojaron resultados positivos, que oscilaron entre el 40% y el 90%, lo que demuestra su significativa capacidad para neutralizar el radical libre DPPH. **Conclusión:** Los resultados de los estudios confirmaron la presencia de actividad antioxidante en los metabolitos secundarios extraídos de los actinomicetos aislados del vertedero.

Palabras clave: Actinomicetos, Antioxidantes, *Streptomyces*.

INTRODUÇÃO

O gênero *Streptomyces*, pertencente à ordem *Actinomycetales*, destaca-se como um dos grupos bacterianos de maior relevância biotecnológica e farmacológica. Esses microrganismos filamentosos, amplamente distribuídos no solo, são reconhecidos por sua notável capacidade de biossintetizar metabólitos secundários estruturalmente diversos, incluindo antibióticos, antifúngicos, imunossupressores e agentes antitumorais. Estima-se que mais de dois terços dos antibióticos de origem natural utilizados na prática clínica tenham sido derivados de espécies desse gênero, evidenciando sua importância histórica e contemporânea no desenvolvimento de fármacos (BARKA EA, et al., 2016)

Nesse contexto, são encontrados no solo, onde desempenham um papel crucial na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes. A sua capacidade de sintetizar enzimas hidrolíticas, como celulases e quitinases, facilita a degradação de material vegetal e outros resíduos orgânicos, tornando-os componentes essenciais do ecossistema terrestre (ANTONY-BABU S, et al., 2017).

Além disso, esses microrganismos são notáveis por sua produção de antibióticos, com cerca de 70% dos antibióticos conhecidos sendo derivados deste gênero. Além dos antibióticos, eles produzem uma variedade de outros metabólitos bioativos, incluindo antifúngicos, antivirais, imunossupressores e agentes anticâncer (SIES H, 2015). Essa capacidade está associada a grandes genomas, que frequentemente contêm múltiplos genes responsáveis pela biossíntese de compostos bioativos (LIU G, et al., 2018).

Recentemente, tem-se observado que diversos metabólitos produzidos por *Streptomyces* também apresentam atividades antioxidantes. Esses compostos antioxidantes são substâncias que inibem a oxidação de outras moléculas (LAWSON M, et al., 2018). Assim, protegendo as células contra danos causados por radicais livres e espécies reativas de oxigênio (ERO). Estes danos oxidativo podem implicar em uma gama de doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares, câncer e distúrbios neurodegenerativo (SOARES EL, et al., 2021).

A bioprospecção microbiana em ambientes impactados, como lixões e solos antropizados, tem emergido como uma estratégia inovadora para a descoberta de novos metabólitos secundários de interesse biotecnológico (DEMAIN AL e SANCHEZ S, 2009). Esses ambientes são caracterizados por condições extremas, elevada carga de contaminantes químicos, presença de metais pesados e compostos xenobióticos, além de intensa pressão seletiva, fatores que favorecem a adaptação microbiana e a ativação de vias metabólicas diferenciadas (TIWARI K e GUPTA RK, 2013).

Como consequência, microrganismos isolados desses nichos desenvolvem mecanismos bioquímicos específicos de sobrevivência, incluindo a produção de metabólitos com funções antioxidantes e citoprotetoras (BALTZ RH, 2017). Dentre esses microrganismos, as actinobactérias do gênero *Streptomyces* destacam-se

pela ampla diversidade metabólica e pela capacidade de sintetizar compostos com estruturas químicas complexas e inéditas, muitas vezes não observadas em ambientes não impactados (BÉRDY J, 2012).

Por conseguinte, os compostos antioxidantes derivados destes microrganismos, como os polifenóis, flavonoides e diversos tipos de pigmentos, têm mostrado potencial para neutralizar radicais livres e reduzir os danos oxidativos (HOZZEIN WN, et al., 2021). Estudos têm demonstrado que extratos de diferentes espécies de *Streptomyces* possuem capacidade de varrer radicais livres, atuando como potenciais agentes terapêuticos para prevenir ou mitigar o estresse oxidativo (ALMEIDA OAC, et al., 2023). Assim, a investigação de *Streptomyces* provenientes de lixões representa uma abordagem relevante para ampliar o repertório de antioxidantes naturais, com potencial aplicação farmacêutica e industrial, além de contribuir para o conhecimento da biodiversidade microbiana associada a solos antropizados (TIWARI K e GUPTA RK, 2013; BALTZ RH, 2017).

Com isso, os antioxidantes são definidos como substâncias capazes de prevenir, retardar ou interromper reações de oxidação, principalmente por meio da neutralização de espécies reativas de oxigênio (EROS) e de nitrogênio (ERNS). Essas espécies incluem radicais livres, como o ânion superóxido e o radical hidroxila, além de moléculas altamente reativas, como o peróxido de hidrogênio. Em condições fisiológicas normais, essas espécies participam de processos celulares essenciais, como sinalização intracelular e resposta imunológica (HALLIWELL B e GUTTERIDGE JMC, 2015).

Como o estresse oxidativo caracteriza-se pelo desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e a capacidade antioxidante do organismo em neutralizá-las, resultando no acúmulo dessas moléculas altamente reativas. Essa condição pode ser desencadeada por fatores endógenos, como inflamação crônica e envelhecimento, bem como por fatores exógenos, incluindo poluição ambiental, radiação ultravioleta, tabagismo e padrões alimentares inadequados. Consequentemente, o excesso de EROs compromete a integridade de lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, favorecendo danos celulares e a manutenção de processos inflamatórios persistentes (PISOSCHI AM e POP A, 2015).

Assim, as consequências do estresse oxidativo estão associadas ao desenvolvimento de diversas doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares, neurodegenerativas, câncer e diabetes mellitus. No nível molecular, os danos oxidativos ao Ácido Desoxirribonucleico (DNA) podem gerar mutações e instabilidade genômica, enquanto a oxidação de lipídios e proteínas compromete funções celulares essenciais, contribuindo para apoptose e disfunção tecidual. Dessa forma, o controle do estresse oxidativo é fundamental para a manutenção da saúde e prevenção de doenças (DA SILVA MF, et al., 2024).

Dessa maneira, no organismo, os antioxidantes exercem papel essencial na proteção celular ao neutralizar espécies reativas e interromper reações em cadeia responsáveis por danos oxidativos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. Além disso, esses compostos podem modular vias de sinalização intracelular, especialmente aquelas mediadas pelo fator de transcrição Nrf2, promovendo a expressão de enzimas antioxidantes endógenas e fortalecendo os mecanismos de defesa celular contra o estresse oxidativo (FORMAN HJ, et al., 2009). A avaliação da atividade antioxidante desses metabólitos é frequentemente realizada por meio do ensaio do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH), amplamente empregado como método de triagem inicial devido à sua simplicidade, rapidez, reprodutibilidade e baixo custo (BRAND-WILLIAMS W, et al., 1995; PRIOR RL, et al., 2005). O ensaio baseia-se na capacidade de compostos antioxidantes doarem elétrons ou átomos de hidrogênio ao radical DPPH, promovendo sua redução e resultando em diminuição da absorbância, geralmente monitorada a 517 nm (BRAND-WILLIAMS W, et al., 1995). Essa metodologia permite uma estimativa eficiente do potencial sequestrador de radicais livres em extratos brutos e metabólitos microbianos, sendo amplamente utilizada em estudos de triagem antioxidante (HUANG D, et al., 2005).

Portanto, o gênero *Streptomyces* é uma fonte rica de compostos bioativos com diversas aplicações biotecnológicas. A capacidade desses microrganismos de produzir metabólitos com atividade antioxidante abre novas perspectivas para a utilização desses compostos na prevenção e tratamento de doenças associadas ao estresse oxidativo. Por isso, é imprescidivel que a atividade dos actinomicetos seja avaliada, com a identificação e caracterização desses antioxidantes naturais, poderão contribuir significativamente para

o desenvolvimento de novos agentes terapêuticos e opções de tratamento. Por fim, este trabalho tem como objetivo avaliar a atividade antioxidante de *Streptomyces spp*. isolados de solos do lixão de Imperatriz.

MÉTODOS

Coleta do solo

As amostras foram coletadas do lixão de imperatriz, localizados à margem da estrada do Arroz no perimetro rural da BR 386, que fica aproximadamente 10 km de distância da área urbana da cidade de Imperatriz, na direção norte, sendo sua coordenada 8 geográfica local 21º89'83" E, 93º99'39,5" N, com área aproximadamente de 305.800 m², com altitude de 160 m e solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Coeso (EMBRAPA, 2018). A **Figura 2** mostra a vista por satélite do lixão de Imperatriz - MA.

Figura 2 - Localização geográfica e delimitação da área de influência do Lixão de Imperatriz – MA.



Fonte: Silva JPF, et al., 2026.

Foram coletadas amostras de solo do lixão da cidade de Imperatriz em dez pontos equidistantes de forma randomizada, com o objetivo de representar a heterogeneidade ambiental do local. A escolha desses pontos considerou variações visuais do solo, presença de resíduos sólidos e diferentes níveis de umidade, visando maximizar a diversidade microbiana recuperada As amostras foram obtidas com materiais esterilizados, acondicionadas em recipientes estéreis (sacos hermeticamente) e transportadas ao laboratório de Microbiologia e Saúde da Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) em temperatura ambiente. As amostras foram obtidas a aproximadamente 10 cm de profundidade. O armazenamento ocorreu por curto período, sob refrigeração (4 °C), até o processamento, a fim de minimizar alterações na microbiota. Procedimentos de assepsia foram rigorosamente adotados durante a coleta e manipulação para evitar contaminações externas.

Isolamento e identificação de actinomicetes

Para o isolamento dos Actinomicetes, um grama de cada amostra de solo foi suspenso em 9 mL de solução salina tamponada esterilizada e homogeneizado. As amostras de solo foram submetidas a diluições seriadas decimais até 10^5 e inoculadas em meios de cultura. Em seguida, alíquotas de 100 µL das diferentes diluições foram inoculadas na superfície de placas de Petri contendo Caseína-Ágar-Amido (CAA), composto por caseína, sais minerais e ágar, formulado para favorecer o crescimento seletivo de actinobactérias, especialmente do gênero *Streptomyces*, espalhando o inóculo com alça de *Drigalski*. Os isolamentos foram realizados no Laboratório de Microbiologia e Saúde da UEMASUL, onde foram incubadas a 30 °C por um período de 5 a 7 dias. Quando aplicável, foram adicionados antibióticos e/ou antifúngicos ao meio para inibir o crescimento de bactérias rápidas e fungos filamentosos.

Para a identificação macromorfológica dos actinomicetos isolados, levou-se em consideração sua superfície, forma, tamanho das colônias e a produção de pigmentos, além do crescimento lento, aspecto seco ou pulverulento. Já para a identificação micromorfológica, foram feitas microculturas para observações da fragmentação micelial, agrupamento e arranjo de esporos, de acordo com o protocolo International *Streptomyces* Project.

Obtenção dos extratos orgânicos

Após o isolamento e identificação, os *Streptomyces* isolados foram semeados em ágar batata por 5 dias a 30°C, 150 rpm, para a obtenção dos extratos orgânicos para a detecção dos metabólitos secundários microbianos. Após o período de incubação, os cultivos foram submetidos à sistemas de extração líquido-líquido e, para a separação das fases orgânicas e aquosas das alíquotas amostradas, foi utilizado como solvente extrator o acetato de etila em proporção 1:1. O processo foi realizado em múltiplas extrações sucessivas para maximizar a recuperação dos metabólitos. O solvente orgânico foi posteriormente evaporado sob pressão reduzida, resultando em extratos concentrados, utilizados nos ensaios antioxidantes.

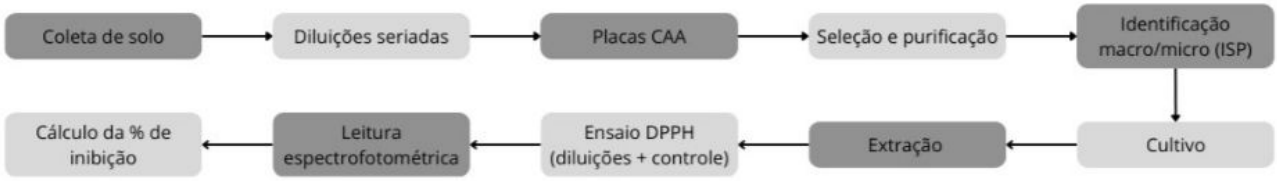
Método de DPPH (2,2-DIFENIL-1-PICRIL-HIDRAZIL)

A atividade de eliminação de radicais 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) do extrato dos metabólitos secundários de *Streptomyces* foi determinada pelo método descrito por Blios (1959) com adaptações. Foi feita diluição de 0,008g do DPPH em metanol. Uma amostra de 0,5 mL do extrato em várias concentrações (10, 5, 2,5, 1,25, 0,62, 0,32 mg/mL) foi combinada com 0,5mL de solução DPPH em diluição seriada em placa de 96 poços em triplicata e deixada no escuro. Para o controle positivo foi utilizado o reagente Ácido Gálico. A absorbância foi lida em um espectrofotômetro no comprimento de onda de 517 nm no tempo de 30 minutos.

O percentual de inibição foi calculado pela fórmula: % inibição = [(Acontrole − Aamostra) / Acontrole] × 100, sendo Acontrole a absorbância do grupo controle (Ácido Gálico) e Aamostra a absorbância da amostra. Todas as análises foram realizadas em triplicate e os resultados foram expressos como média ± desvio padrão (DP), sendo submetidos a tratamento estatístico descritivo.

A **Figura 1** sintetiza, de forma esquemática, as principais etapas laboratoriais empregadas neste estudo, desde a coleta do solo e o isolamento de actinobactérias do gênero *Streptomyces* até a obtenção dos extratos orgânicos e a avaliação do potencial antioxidante pelo ensaio de DPPH, incluindo os procedimentos de leitura espectrofotométrica e cálculo do percentual de inibição dos radicais livres.

Figura 1 - Fluxograma das etapas metodológicas do estudo.



Fonte: Silva JPF, et al., 2026.

Este manuscrito integra um conjunto de investigações conduzidas pelo mesmo grupo de pesquisa envolvendo isolados do gênero *Streptomyces* provenientes do lixão de Imperatriz – MA. Paralelamente, um estudo complementar encontra-se submetido à revista Acervo Saúde, com foco distinto na triagem de atividade enzimática desses isolados. Ressalta-se que os objetivos e desfechos são diferentes, sendo o presente trabalho direcionado exclusivamente à avaliação antioxidante pelo método DPPH.

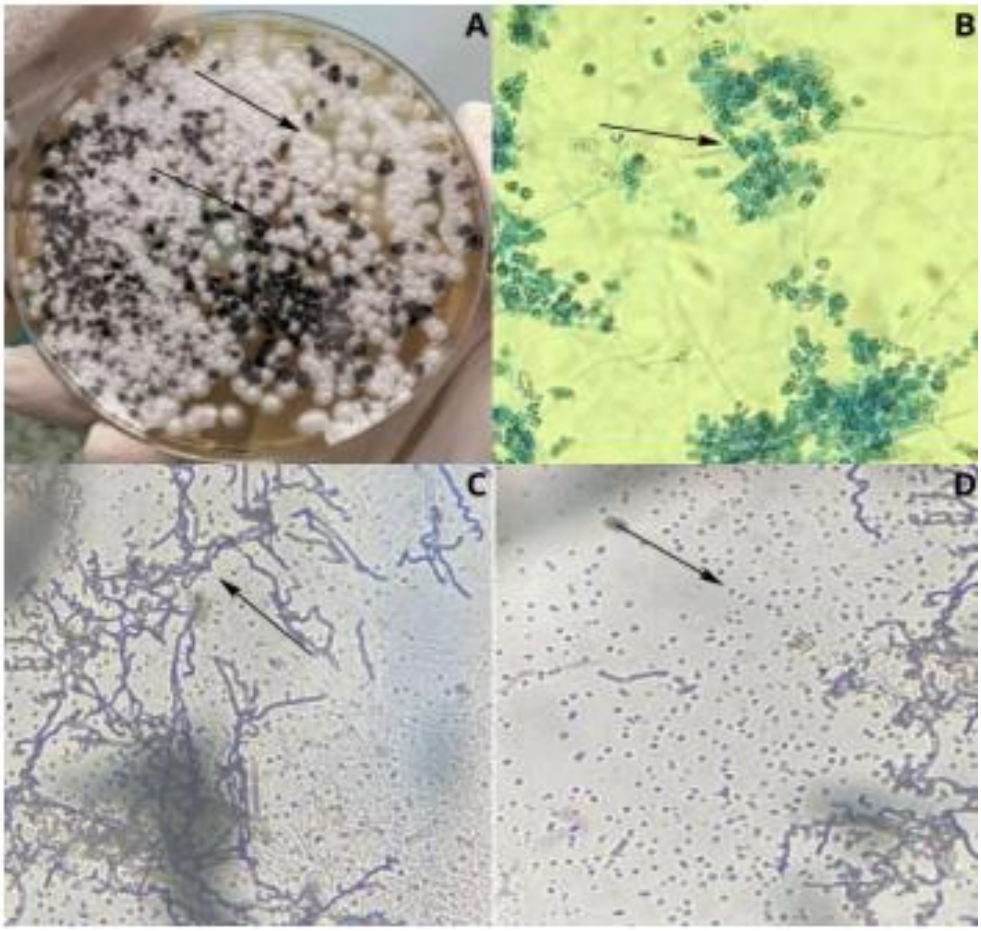
RESULTADOS

A amostra de solo apresentou diversidade de microrganismos, isolando-se 2 bactérias identificadas como actinomicetos, que apresentaram características morfológicas compatíveis com bactérias do gênero *Streptomyces*. A identificação baseou-se em características macromorfológicas, como cor, textura, dureza das colônias e formação de micélio aéreo, além de possuirem crescimento lento, superfície seca a pulvurenta,

aspecto rugoso e bordas irregulares. Os dois isolados pertenciam ao mesmo gênero, sendo utilizados no desenvolvimento do trabalho. As colônias apresentavam relevos, textura firme, halos esbranquiçados, produção de pigmento amarelo queimado e micélio aéreo bem desenvolvido.

A análise da microscopia foi realizada por meio de microcultivo, conforme protocolo do *International Streptomyces Project* (ISP), permitindo a visualização detalhada das estruturas celulares. As microfotografias evidenciaram a presença de cadeias de esporos organizadas predominantementre em disposições espirais e hifas curtas e ramificadas, típicas do gênero *Streptomyces* (**Figura 3**) filamentosas. Sendo considerado características estruturais importantes para a identificação preliminar de *Streptomyces*, reforçando os achados macromorfológicos observados em meio sólido.

Figura 3 - Identificação morfológica do *Streptomyces sp*. isolado do lixão contaminado por resíduos sólidos. Características macroscópicas semelhantes a micélios aéreos e substratos aéreos (A). Características microscópicas equivalentes a cadeias de esporos espirais (B), hifas curtas (C) e conídios (D).

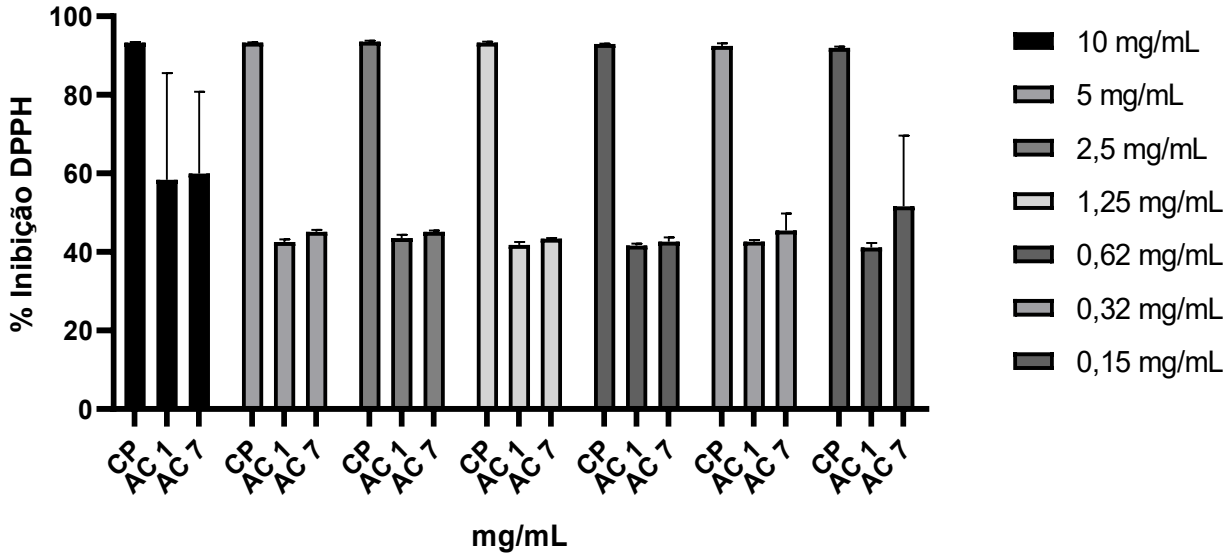


Fonte: Silva JPF, et al., 2026.

O extrato contendo metabólitos secundários de *Streptomyces* apresentou um elevado potencial antioxidante no ensaio de DPPH, evidenciado por sua capacidade significativa de neutralizar o radical livre DPPH, mesmo em baixas concentrações. A amostra AC 1 exibiu uma atividade de eliminação de radicais livres variando de 40,3% a 89,8%, enquanto a amostra AC 7 exibiu uma inibição de 41,1% a 84,0%.

Em comparação, o controle positivo apresentou uma atividade antioxidante entre 91,6% e 93,8%, em todas as amostras testadas nas concentrações de 10 a 0,15 mg/mL. Esses achados sugerem a presença de compostos bioativos no extrato, conferindo-lhe potencial aplicação em formulações destinadas à mitigação do estresse oxidativo. Assim, esses resultados são demonstrados na **Figura 4**.

Figura 4 - Atividade Antioxidante do extrato dos metabólitos secundários de *Streptomyces* avaliada pelo método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil). CP (Controle Positivo - Ácido Gálico).



Legenda: CP-controle positive; Ac-actinobacteria. **Fonte:** Silva JPF, et al., 2026.

DISCUSSÃO

O isolamento de actinomicetos em ambiente laboratorial na UEMASUL revelou colônias com características morfológicas típicas do gênero *Streptomyces*, como crescimento radial lento e aspecto calcário. No entanto, a análise sensorial organoléptica foi o diferencial diagnóstico, uma vez que a produção de metabólitos secundários voláteis (VOCs) é uma assinatura fenotípica robusta desse grupo. O odor de "terra molhada", observado nas placas de Petri, é resultado da biossíntese de geosmina (trans-1,10-dimetil-trans-9-decalol), um composto sesquiterpênico cuja síntese é catalisada por uma enzima bifuncional específica, a geosmina sintase, que utiliza o pirofosfato de farnesila como precursor (CANE DE e WATT RM, 2003). Esses VOCs não apenas influenciam propriedades organolépticas, mas também podem estar correlacionados a mecanismos de defesa microbiana e biotecnológica, servindo como marcadores indiretos de potencial metabólico diversificado (GARCIA MA, 2019).

A relevância biológica desse odor transcende a simples identificação macroscópica. Estudos sugerem que a liberação de geosmina e de outros voláteis, como o 2-metilisoborneol, está intrinsecamente ligada ao ciclo de desenvolvimento das bactérias e atua na comunicação interespecífica, atraindo microartrópodes do solo que auxiliam na dispersão de esporos (BECHER PG, et al., 2020). Além disso, a literatura destaca que a produção desses compostos é um indicador de viabilidade metabólica e capacidade de secreção de metabólitos complexos, característica que torna o gênero *Streptomyces* o principal produtor de antibióticos de interesse clínico (OTHMAN AS, et al., 2020).

Portanto, a correlação entre a morfologia colonial e a percepção olfativa da geosmina permitiu uma triagem preliminar eficiente das cepas de interesse. Essa abordagem é corroborada por Jiang J, *et al.* (2007), que demonstram como a assinatura química desses voláteis é conservada em diversas espécies de *Streptomyces*, validando o uso do odor como um marcador taxonômico prático em laboratórios de microbiologia aplicada.

A avaliação do potencial antioxidante dos extratos orgânicos das linhagens AC 1 e AC 7 (**Figura 4**) revelou uma capacidade de sequestro do radical DPPH situada entre 40% e 90%. Embora expressivos, esses valores foram inferiores ao controle positivo (ácido gálico), que manteve estabilidade superior a 90% em todas as concentrações. Essa discrepância é tecnicamente esperada, uma vez que o ácido gálico é um padrão fenólico purificado, enquanto os isolados consistem em extratos brutos contendo uma mistura complexa de

metabólitos secundários, pigmentos e detritos celulares que podem diluir a concentração de princípios ativos (SIDDHARTH S e RAI VR, 2019).

Dessa maneira a menor atividade antioxidante em relação ao ácido gálico pode ser explicada pela natureza não-fracionada dos extratos utilizados. Enquanto compostos puros exibem interação direta e eficiente com o radical DPPH, extratos brutos contêm uma mistura de metabólitos, incluindo componentes que não contribuem diretamente para a atividade antioxidante, diluindo assim o efeito geral. Portanto, a atividade observada reflete o potencial do conjunto de metabólitos produzidos, mas também aponta para a necessidade de futuras etapas de fracionamento e caracterização química para identificar e concentrar os compostos ativos (DE VARGAS GC e ANDRADE EHB, 2022).

Os percentuais de inibição observados corroboram os achados de Djebbah FZ, et al. (2022), que documentaram atividades antioxidantes moderadas (30–70%) em actinomicetos isolados de ambientes extremos, sugerindo que a produção de compostos como polifenóis e alcaloides por *Streptomyces* é uma resposta adaptativa ao estresse oxidativo. A superioridade dos controles puros sobre extratos brutos de microrganismos também é reforçada por Dholakiya RN, et al. (2017), que associam a eficácia antioxidante diretamente ao Conteúdo Fenólico Total (TPC) e à escolha do solvente de extração (como o acetato de etila), que influencia a solubilidade dos radicais.

A forte correlação entre o TPC e a atividade antioxidante em *Streptomyces*, discutida por Janardhan A, et al. (2014), sugere que a variação observada entre AC 1 e AC 7 pode ser decorrente de concentrações distintas de metabólitos fenólicos livres. Portanto, os resultados obtidos na UEMASUL não apenas validam o potencial biotecnológico das cepas locais, mas também indicam que o fracionamento desses extratos e a quantificação rigorosa de fenóis totais são etapas cruciais para isolar as moléculas responsáveis pela bioatividade, conforme preconizado pela literatura contemporânea sobre bioprospecção microbiana.

Apesar dos achados promissores, este estudo apresenta limitações importantes. Primariamente, a identificação dos isolados foi baseada apenas em caracterização morfológica e fenotípica**,** o que não permite uma atribuição taxonômica precisa ao nível de espécie. A inclusão de sequenciamento de 16S rRNA ou técnicas de genômica seria fundamental para confirmação taxonômica e comparação filogenética. Ademais, não foram realizadas análises de fenólicos totais (TPC), que poderiam correlacionar quantitativamente a presença de compostos antioxidantes com a atividade observada. Outro parâmetro importante ausente é a determinação da concentração inibitória média (IC50), que permitiria uma comparação mais direta com padrões puros e com estudos existentes.

Por fim, o uso exclusivo do ensaio DPPH, embora valioso como triagem preliminar, não captura toda a gama de mecanismos antioxidantes que podem ser explorados por métodos complementares ou ensaios celulares. Possuindo como próximos passos a identificação molecular dos isolados, a quantificação de fenólicos totais e compostos específicos por técnicas cromatográficas, a determinação de IC50 para uma comparação mais rigorosa com padrões e estudos semelhantes, e a aplicação de ensaios antioxidantes adicionais para validar e ampliar os perfis de atividade (OLIVEIRA GR, et al., 2023).

CONCLUSÃO

A presente pesquisa confirmou a viabilidade metabólica e o potencial biotecnológico das linhagens de *Streptomyces* (AC 1 e AC 7) isoladas de solos do lixão de Imperatriz-MA. Os resultados demonstram que os metabólitos secundários produzidos por esses actinomicetos possuem atividade antioxidante significativa, com percentuais de inibição do radical DPPH que reforçam sua eficácia na neutralização de agentes oxidantes. Embora a atividade observada nos extratos brutos tenha se mostrado inferior à do controle positivo (ácido gálico), tal comportamento é tecnicamente condizente com a natureza complexa de compostos não purificados. No entanto, a performance das cepas AC 1 e AC 7 valida o gênero *Streptomyces* como uma fonte promissora de moléculas bioativas com potencial farmacológico. Em suma, este estudo cumpre seu objetivo ao identificar microrganismos locais com capacidade de combate às espécies reativas de oxigênio (EROs). Apesar dos resultados promissores, este estudo apresenta limitações inerentes ao delineamento

experimental. O ensaio DPPH constitui uma metodologia *in vitro* de triagem inicial e não permite extrapolações diretas para sistemas biológicos complexos. Além disso, não foram realizadas curvas dose–resposta completas com determinação de IC50, nem caracterização química dos metabólitos antioxidantes por técnicas como LC-MS ou GC-MS. Soma-se a isso o número reduzido de isolados avaliados. Como perspectivas futuras, recomenda-se o fracionamento dos extratos, identificação estrutural dos compostos bioativos e aplicação de métodos antioxidantes complementares, bem como ensaios biológicos adicionais que permitam validar o potencial terapêutico observado, visando o desenvolvimento de novos agentes terapêuticos e o fortalecimento da inovação tecnológica regional.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), pela concessão da bolsa por meio do Programa Institucional de Iniciação Tecnológica e Inovação (PIBITI) e pelo suporte via Bolsa Produtividade, recursos que viabilizaram a execução integral desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA OAC, et al. The power of the smallest: The inhibitory activity of microbial volatile organic compounds against phytopathogens. Frontiers in microbiology, 2023; 13: 951130.
2. ANTONY-BABU S, et al. Multiple *Streptomyces* species with distinct secondary metabolomes have identical 16S rRNA gene sequences. Scientific Reports, 2017; 7(1): 11089.
3. BALTZ RH. Antimicrobials from actinomycetes: back to the future. Microbe, 2017; 2: 6-7.
4. BARKA EA, et al. Taxonomy, physiology, and natural products of Actinobacteria. Microbiology and molecular biology reviews, 2016; 80(1): 1-43.
5. BECHER PG, et al. Developmentally regulated volatiles geosmin and 2-methylisoborneol attract a soil arthropod to *Streptomyces* spores. Nature Microbiology, 2020.
6. BÉRDY J. Thoughts and facts about antibiotics: where we are now and where we are heading. The Journal of antibiotics, 2012; 65(8): 385-395.
7. BRAND-WILLIAMS W, et al. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food science and Technology, 1995; 28(1): 25-30.
8. CANE DE, WATT RM. Biosynthesis of the earthy odorant geosmin by a bifunctional *Streptomyces* coelicolor enzyme. PNAS, 2003.
9. DA SILVA MF, et al. Impacto do Estresse Oxidativo na Saúde Cardiovascular. Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences, 2024; 6(3): 2443-2461.
10. DE VARGAS GC, ANDRADE EHB. Estudo da atividade antioxidante dos compostos fenólicos na medicina preventiva: Revisão de Literatura. Visão Acadêmica, Open journal Systems, 2022; 23: 1.
11. DEMAIN AL, SANCHEZ S. Microbial drug discovery: 80 years of progress. The Journal of antibiotics, 2009; 62(1): 5-16.
12. DHOLAKIYA RN, et al. Characterization and antioxidant activity of marine actinomycetes from Gulf of Khambhat, Gujarat. Journal of Applied Microbiology, 2017.
13. DJEBBAH FZ, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of *Streptomyces* strains isolated from Algerian ecosystems. Current Microbiology, 2022.
14. DJEBBAH FZ, et al. Isolation and characterisation of *Streptomyces* sp. Strain GLD25 with antimicrobial and antioxidant effects from Gueldaman cave (GLD1), Akbou-Algeria. Journal of King Saud University-Science, 2022; 34(1): 101719.
15. EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. rev., ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, 356 p. 2018.
16. FORMAN HJ, et al. Glutathione: overview of its protective roles, measurement, and biosynthesis. Molecular Aspects of Medicine, 2009; 30: 1–2.
17. GARCIA MA. *Streptomyces* airbone defense. Microbiology, 2019.

18. HALLIWELL B, GUTTERIDGE JMC. Free radicals in biology and medicine. Oxford university press, 2015.
19. HOZZEIN WN, et al. Flavonoids from marine-derived actinobacteria as anticancer drugs. Current Pharmaceutical Design, 2021; 27(4): 505-512.
20. HUANG D, et al. The chemistry behind antioxidant capacity assays. Journal of agricultural and food chemistry, 2005; 53(6): 1841-1856.
21. JANARDHAN A, et al. Antioxidant and cytotoxic activities of bioactive compounds produced by *Streptomyces* sp. ADR1. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2014.
22. JIANG J, et al. Biosynthesis of the earthy odorant geosmin by a bifunctional terpene cyclase. Nature Chemical Biology, 2007.
23. LAWSON M, et al. Free radicals and antioxidants in human disease. In: nutritional antioxidant therapies: Treatments and perspectives. Cham: Springer International Publishing, 2018; 283-305.
24. LIU G, et al. Molecular regulation of antibiotic biosynthesis in *Streptomyces*. Microbiology and molecular biology reviews, 2013; 77(1): 112-143.
25. OLIVEIRA GR, et al. Avaliação da ação antioxidante e citotoxicológica do extrato etanólico de Hamelia patens Jacq. em células NIH 3T3. Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences, 2023; 5(5): 1407-1422.
26. OTHMAN AS, et al. Isolation and Identification of *Streptomyces* spp. from Desert and Savanna Ecozones. Metabolites, 2020.
27. PISOSCHI AM, POP A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. European Journal of Medicinal Chemistry, 2015; 97: 55–74.
28. PRIOR RL, et al. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of agricultural and food chemistry, 2005; 53(10): 4290-4302.
29. SIDDHARTH S, RAI VR. Characterization of antimicrobial compounds from marine *Streptomyces* sp.. Folia Microbiologica, 2019.
30. SIES H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. Redox biology, 2015; 4: 180-183.
31. SOARES EL, et al. Estresse oxidativo tem papel central na gênese de doenças crônicas. Congrega-Urcamp, 2021; 17: 184-190.
32. TIWARI K, GUPTA RK. Rare actinomycetes: a potential storehouse for novel antibiotics. Critical reviews in biotechnology, 2012; 32(2): 108-132.