



## ATIVIDADE LIPOLÍTICA *IN VITRO* DE ACTINOBACTÉRIAS EM GRADIENTE DE PH, SALINIDADE E TEMPERATURA

Erika Oliveira Coelho Romeu<sup>1</sup>, Fernando Gouveia Cavalcante<sup>2</sup>, Claudia Miranda Martins<sup>3</sup>, Suzana Cláudia Silveira Martins<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

<sup>2</sup> Mestre e estudante de doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará (UFC)

<sup>3</sup> Professora Doutora na área de microbiologia do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: fernandogouveia.c@gmail.com

Recebido em: 15/11/2021 – Aprovado em: 15/12/2021 – Publicado em: 30/12/2021

DOI: 10.18677/EnciBio\_2021D7

trabalho licenciado sob licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

### RESUMO

As actinobactérias são abundantes no solo e sua ocorrência em diversos habitats, incluindo os ambientes extremos, deve-se a sua grande capacidade de adaptação em resposta ao estresse. Esses microrganismos se destacam por produzir diversos metabólitos com potencial biotecnológico e ecológico tais como as enzimas extracelulares. As enzimas lipolíticas permitem a degradação de lipídios complexos, cujos produtos resultantes são utilizados para o crescimento de outros microrganismos. Entretanto, a atividade enzimática pode ser afetada por fatores abióticos que limitam sua capacidade metabólica. O objetivo desse estudo foi avaliar a influência do pH, salinidade e temperatura na atividade lipolítica de cepas de actinobactérias isoladas de solo de região semiárida. Um total de 26 cepas tiveram sua atividade lipolítica avaliada em condições ótimas e em gradientes de pH, salinidade e temperatura. Cerca de 73% das cepas apresentaram produção de lipase em condição padrão. Em concentrações salinas de 1%, 2%, 3% e 4% as cepas mostraram-se tolerantes destacando-se a cepa UB20 que cresceu em todos os meios salinos. Nas faixas de pH as cepas demonstraram maior atividade lipolítica nos valores de pH 7 e 9, destacando-se as cepas UB02, UB03, UB04 e UB23 que apresentaram atividade lipolítica em todos os pHs testados. A temperatura foi o fator menos tolerado pelas actinobactérias, pois cerca de 63% das cepas não apresentaram atividade nas temperaturas testadas. Conclui-se que as cepas de actinobactérias isoladas do semiárido apresentam potencial para produção de lipase e que esta atividade sofre influência de fatores abióticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** estresse abiótico; lipase; microbiota; solo.

### *IN VITRO* LIPOLITICAL ACTIVITY OF ACTINOBACTERIA IN PH, SALINITY AND TEMPERATURE GRADIENT

#### ABSTRACT

Actinobacteria are abundant in the soil and their occurrence in different habitat, including extreme environments, is due to their great adaptability in response to stress. These microorganisms are recognized for producing several metabolites with biotechnological and ecological potential, such as extracellular enzymes. Lipolytic

enzymes allow the degradation of complex lipids, whose resulting products are used for the growth of other microorganisms. However, enzyme activity can be affected by abiotic factors that limit its metabolic capacity. The aim of this study was to evaluate the influence of pH, salinity and temperature on the lipolytic activity of actinobacterial strains isolated from semiarid region soil. A total of 26 strains had their lipolytic activity evaluated under optimal conditions and in pH, salinity and temperature gradients. About 73% of the strains showed lipase production in standard condition. In saline concentrations of 1%, 2%, 3% and 4%, the strains were tolerant, especially the UB20 strain, which grew in all saline media. In the pH ranges, the strains showed greater lipolytic activity at pH 7 and 9, especially UB02, UB03, UB04 and UB23 strains, which showed lipolytic activity in all tested pHs. Temperature was the least tolerated factor by actinobacteria, as around 63% of the strains did not show activity at the evaluated temperatures. It is concluded that the actinobacteria strains isolated from the semiarid region have potential for lipase production and the enzymatic activity is influenced by abiotic factors.

**KEYWORDS:** abiotic stress; lipase; microbiota; soil.

## INTRODUÇÃO

Os microrganismos do solo apresentam limites de crescimento, e estes são determinados por fatores edáficos tais como pH, temperatura e salinidade. Desse modo, condições abióticas extremas inibem o crescimento e sobrevivência da microbiota afetando a sua estruturação (GORLACH-LIRA; COUTINHO, 2007; BARDGETT; CARUSO, 2020).

Os solos das regiões semiáridas caracterizam-se pela baixa disponibilidade de nutrientes, devido às condições climáticas locais que geralmente estão associadas à baixa precipitação pluviométrica e período prolongado de estiagem. Além disso, as práticas de manejo agrícola nessa região levam à compactação do solo que causa a drenagem deficiente da água, ocasionando solos com alta concentração de sais (ARAÚJO, 2011; LIMA *et al.*, 2020).

O efeito negativo da salinização resulta em excesso de íons sódicos que comprometem os processos biológicos tais como a fixação biológica de nitrogênio, pois prejudica a eficiência da simbiose. Tal fato, afeta drasticamente a atividade microbiana dessas regiões, limitando a capacidade metabólica dos microrganismos pela interferência dos sais nos processos fisiológicos (CAVALCANTE *et al.*, 2015; HOU *et al.*, 2021).

A microbiota do solo é bastante utilizada como indicador da sua qualidade, uma vez que responde rapidamente as mudanças que ocorrem no ecossistema e ainda atuam em muitas atividades para a manutenção do ecossistema (SINGH *et al.*, 2020).

Os organismos vivos presentes no solo tais como bactérias, fungos, raízes de plantas e invertebrados, contribuem com grande variedade de enzimas. Elas estão usualmente associadas com a proliferação de células viáveis, mas podem ser excretadas de uma célula viva ou liberadas na solução do solo a partir de células mortas (ACOSTA-MARTINEZ *et al.*, 2018).

Nesse contexto, estudar a atividade microbiana no solo a partir de enzimas tem sido de grande interesse em pesquisas, pois, além de avaliar o potencial do organismo na degradação de compostos orgânicos, também permite a compreensão das relações entre disponibilidade de recursos, estrutura, funções da comunidade microbiana e processos do ecossistema (SCHIMEL, 2018).

As actinobactérias, amplamente distribuídas em diversos ecossistemas, são importantes colonizadoras dos solos semiáridos onde atuam como decompositoras de matéria orgânica por meio da produção de enzimas extracelulares. Também são produtoras de antibióticos, que participam do controle de bactérias patogênicas, promovendo o crescimento vegetal (RATEB *et al.*, 2018).

Entre as enzimas produzidas pelas actinobactérias, destaca-se a lipase, que catalisa a hidrólise de triacilgliceróis, diacilgliceróis, monoacilgliceróis, ácidos graxos e glicerol, liberando nutrientes para o crescimento da comunidade microbiana. As lipases possuem aplicações na indústria alimentar, química e farmacêutica, além de apresentar potencial para o tratamento de efluentes com elevado teor lipídico (SANTOS *et al.*, 2021).

Os microrganismos que produzem enzimas capazes de degradar lipídios apresentam vantagens em ambientes com limitação de recursos sendo importante sua investigação em habitats extremos de pH, salinidade e temperatura, onde podem ser detectadas cepas com potencial ecológico e biotecnológico (SAYED *et al.*, 2020).

Assim como as demais enzimas, as lipases bacterianas são influenciadas por fatores nutricionais e físico-químicos, como temperatura, pH, fontes de carbono, nitrogênio, sais inorgânicos e concentração de oxigênio dissolvido (NANNIPIERI *et al.*, 2018). Logo ambientes com condições extremas podem afetar a atividade lipolítica.

Dados da literatura relatam que as actinobactérias conseguem crescer em condições de pH e salinidade extremas e ainda apresentar atividade enzimática satisfatória (RAMOS *et al.*, 2018). Referidos autores explicam que as actinobactérias presentes no solo da região semiárida cearense, possuem atividade amilolítica em condições de pH e salinidade extremas, e isto, caracteriza uma alta adaptabilidade das actinobactérias a esses ambientes.

Portanto, espera-se que os microrganismos isolados a partir de ambientes com condições abióticas mais restritivas apresentem maior tolerância ao estresse, sendo capazes de produzir enzimas extracelulares, mesmo nessas condições. Desse modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência dos fatores abióticos: pH, salinidade e temperatura na atividade lipolítica de cepas de actinobactérias isoladas de solo de região semiárida do nordeste brasileiro.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo e origem das cepas**

O estudo foi realizado no Parque Nacional de Ubajara, que é uma área federal protegida, que apresenta 6288 hectares na serra de Ibiapaba (Ceará). O parque está inserido no domínio climático semiárido brasileiro, com altitudes que variam de 400 a 900 m acima do nível do mar. Nas áreas abaixo de 500 m, a precipitação média anual é de 943 mm e a temperatura média anual é de 28,2°C, enquanto, nas áreas acima de 800 m, a precipitação média anual é de 1487 mm e a temperatura média é de 27°C (FLORES *et al.*, 2017). As amostras de solo utilizadas nesse estudo são provenientes das áreas mais secas (altitude < 500 m).

Foram utilizadas 26 cepas de actinobactérias previamente isoladas e caracterizadas por Silva *et al.* (2015). Essas cepas fazem parte da Coleção de Culturas do Laboratório de Microbiologia Ambiental do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Ceará.

### **Ensaio enzimático**

Para avaliar a produção da enzima lipase, as cepas foram inoculadas em forma de *spot* no meio de cultura descrito por Sierra (1957), tendo como base (10g) de peptona bacteriológica, (5g) de cloreto de sódio, (0,1g) de cloreto de cálcio e (14g) de ágar para 1000 mL de água destilada (pH ajustado para 6,5), o meio foi autoclavado a 121 °C por quinze minutos e posteriormente, foi suplementado com Tween 80, um ácido graxo de cadeia longa solúvel em água. Foram realizados três testes em duplicatas, onde após a inoculação, as placas foram incubadas em estufa D.B.O. (Demanda Bioquímica de Oxigênio) a 28°C durante 10 dias para avaliar a formação de um halo lipolítico ao redor da colônia que caracteriza a positividade do teste. Somente as cepas que apresentaram atividade lipolítica foram submetidas aos testes fisiológicos de salinidade, pH e temperatura.

### **Testes fisiológicos**

Em todos os testes fisiológicos foi utilizado o meio de cultivo descrito anteriormente (SIERRA, 1957). Para o teste de salinidade, o meio de cultivo foi modificado com a adição de NaCl (cloreto de sódio) em diferentes concentrações (1%, 2%, 3% e 4%). Para o teste de pH, o meio de cultivo foi elaborado ajustando o pH aos seguintes valores: 4, 5, 7 e 9. As cepas foram inoculadas na forma de *spot* e incubadas durante 10 dias em D.B.O. a 28°C. Para o teste de temperatura foi modificada a temperatura de incubação para os seguintes valores: 39°C, 41°C, 43°C e 45°C durante 10 dias. Todos os ensaios foram realizados em quadruplicata com três repetições.

### **Análise dos dados**

A atividade enzimática foi mensurada pelo Índice Enzimático (IE) utilizando a seguinte equação:

$$IE = Dh / Dc.$$

Onde Dh é o diâmetro em milímetros (mm) do halo de hidrólise e Dc o diâmetro em milímetros (mm) da colônia. Os dados obtidos a partir do cálculo dos índices enzimáticos foram submetidos ao teste de normalidade, homogeneidade de variâncias e logo em seguida, foi realizada a análise de variância (ANOVA) para avaliar o potencial enzimático entre as cepas e as diversas condições fisiológicas as quais foram submetidas. Foram realizadas análises de correlação de Pearson e regressão linear para investigar a relação entre os IE com as concentrações de sais, pHs e temperaturas.

Os dados foram convertidos em uma matriz binária onde “0” equivale a ausência e “1” a presença da atividade enzimática ao longo do teste fisiológico. A partir da matriz binária foi construído um diagrama de similaridade utilizando o algoritmo UPGMA e o coeficiente de Jaccard como parâmetro de similaridade. Todas as análises foram realizadas com 5% de significância. Os dados foram analisados no software estatístico PAST e os gráficos foram plotados no software Prism GraphPad 5.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Atividade Lipolítica**

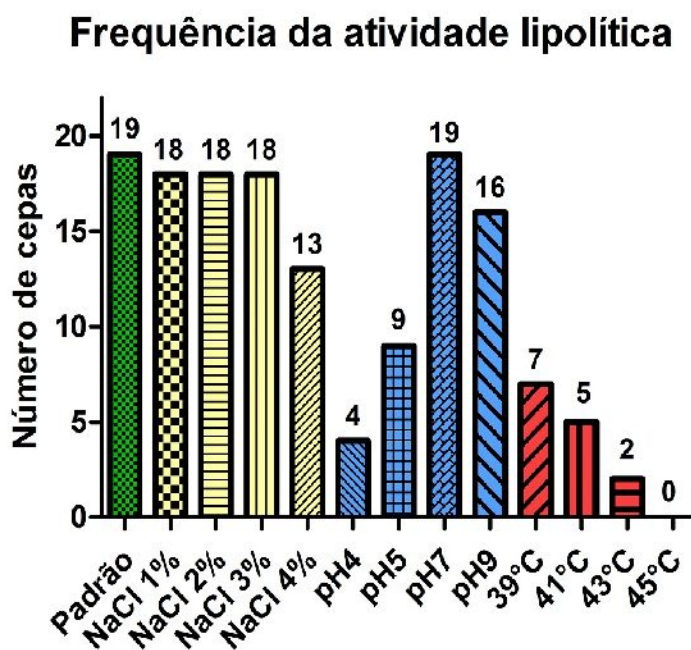
Dentre as 26 cepas de actinobactérias estudadas, 73% foram capazes de formar o halo lipolítico evidenciando a atividade dessa enzima. Destacam-se as cepas UB07, UB20 e UB23 com índices enzimáticos de 3,02, 4,43 e 3,26

respectivamente. De acordo com a análise de variância, as cepas apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os IE.

Os microrganismos que produzem enzimas capazes de degradar lipídios apresentam vantagens nos ambientes que sofrem com limitação de recurso, pois se tornam capazes de utilizar uma maior variedade de substratos. Isso pode ser um fator a ser considerado para explicar a onipresença das actinobactérias. A utilização de substratos com caráter lipídico se torna um recurso a mais para bactérias de solos do semiárido, uma vez que a disponibilidade de nutrientes nesses solos é limitada (GORLACH-LIRA; COUTINHO 2007; SILVA *et al.*, 2015).

Esses resultados indicam que as actinobactérias são importantes na degradação de lipídios do solo executando uma importante função na ciclagem de nutrientes, principalmente, em solos com baixo teor de matéria orgânica (DORNELAS *et al.*, 2017). Considerando os testes fisiológicos, os resultados mostram que a atividade lipolítica é afetada de maneira variada pelas diversas condições abióticas. A Figura 1 mostra a frequência de cepas produtoras de lipase ao longo dos tratamentos.

**FIGURA 1.** Frequência de cepas com atividade lipolítica ao longo dos tratamentos



Fonte: Autores (2021)

Dentre os fatores abióticos testados, percebe-se que a temperatura foi o que apresentou maior severidade sobre a atividade lipolítica, pois um número reduzido de cepas foi capaz de produzir a enzima nessas condições. Por outro lado, a salinidade parece ter menor influência sobre a produção de lipase. O gradiente de pH também teve um efeito mais pronunciado sobre a produção da enzima pelas cepas conforme apresentado na Figura 1.

### Salinidade

A análise de variância revelou que os índices enzimáticos ao longo do gradiente salino foram significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Entretanto, a análise de regressão mostrou que não existe relação linear entre as variáveis ( $p = 0,1495$ ), ou

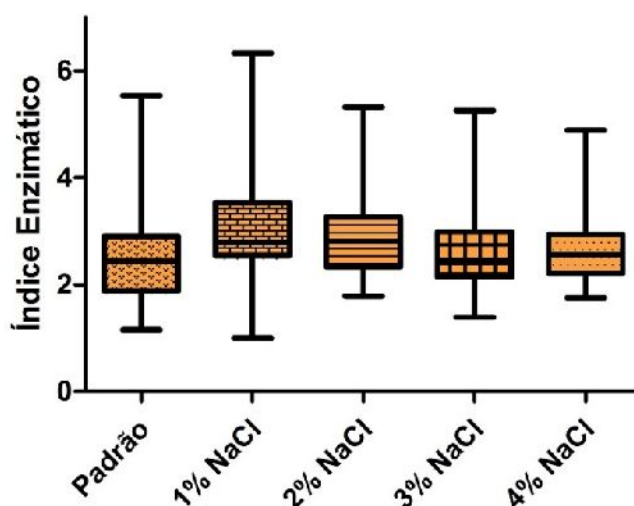
seja, não é possível prever de forma precisa como a concentração de sais afeta a atividade lipolítica das cepas.

Nos testes de salinidade a 1%, 2% e 3% um total de 94,7% das cepas apresentaram atividade lipolítica. No entanto, na concentração de 4%, 13 cepas (68,4%) apresentaram atividade lipolítica, um percentual que pode ser considerado elevado, uma vez que nesse nível de salinidade, muitos microrganismos não conseguem sobreviver (GORLACH-LIRA; COUTINHO, 2007).

De acordo com os resultados, a variação na pressão osmótica *in vitro* aumentou a produção de lipase pelas cepas de actinobactérias (Figura 2). Os maiores índices enzimáticos foram apresentados no tratamento de 1% de NaCl e as médias dos IE para os tratamentos com adição de NaCl foram maiores que a média do padrão, o que sugere a halotolerância por parte das cepas.

**FIGURA 2.** Box-plot da atividade lipolítica ao longo do gradiente de pressão osmótica

### Atividade lipolítica x salinidade



Fonte: Autores (2021)

Nesse teste é importante destacar a cepa UB20 que cresceu em todos os meios salinos, incluindo o mais concentrado (4%). Além disso, apresentou um elevado índice enzimático em todas as concentrações salinas, com uma média de 4,57, indicando que a cepa consegue se estabelecer em altas concentrações de sais e ainda apresentar atividade enzimática satisfatória.

É importante ressaltar, que as cepas desse estudo foram isoladas de solo pertencente a classe dos Neossolos lítóicos (SANTOS; NASCIMENTO, 2019), que em geral, tem elevada saturação por bases. Isso significa que a concentração de íons  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$  é mais elevada e conseqüentemente, a pressão osmótica na solução desse tipo de solo tende a ser mais elevada. Isso pode explicar a tolerância das cepas às concentrações de NaCl, pois esses microrganismos já desenvolveram estratégias para lidar com esse fator abiótico ao longo do seu período evolutivo.

A baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente carbono orgânico, e as condições abióticas extremas presentes no semiárido, influenciam a atividade bioquímica, sobretudo, a produção de enzimas hidrolíticas, afetando o crescimento, sobrevivência e estruturação das populações microbianas desse ecossistema (GORLACH-LIRA; COUTINHO, 2007).

Resultados similares foram obtidos por Ramos *et al.* (2018) ao estudarem a atividade amilolítica de cepas de actinobactérias da mesma região e observaram que 80% das cepas apresentaram atividade amilolítica na maior concentração salina. Esse maior percentual de cepas pode estar associado a menor complexidade do amido.

Silva *et al.* (2015), ao quantificarem a população microbiana em uma área irrigada do município de Marco no Ceará, concluíram que a abundância das actinobactérias nestes solos não foi diminuída pela salinidade do mesmo, o que reforça a tolerância desse filo bacteriano às condições de estresse.

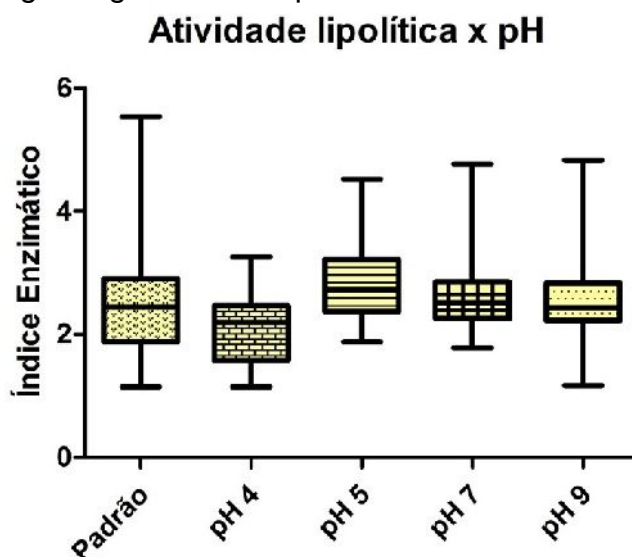
A cepa UB14 foi afetada pelas concentrações de NaCl, pois não apresentou atividade enzimática nesse teste, embora tenha apresentado crescimento no meio de cultivo, que pode ter sido ocasionado pela degradação parcial do ácido graxo, bem como, da peptona que são fontes de carbono e nitrogênio e estão presentes na composição do meio.

Dentre as cepas que apresentaram atividade lipolítica a UB14 foi a mais sensível às variáveis abióticas apresentando atividade lipolítica somente em pH 7. Cepas com essa característica são inviáveis para utilização biotecnológica e industrial, pois as enzimas utilizadas nesses processos são normalmente submetidas a variações de pH e temperatura (MONTEIRO; SILVA, 2009).

## pH

A partir da Figura 3, pode-se perceber que o pH mais ácido testado nesse estudo (pH 4) ocasionou maior efeito negativo sobre o índice enzimático, pois a menor média e os menores valores de IE foram obtidos nessa faixa de pH. Além disso, é importante ressaltar que dentre as 19 cepas testadas apenas quatro foram capazes de produzir a enzima no pH 4.

**FIGURA 3.** Box-plot da atividade lipolítica ao longo do gradiente de pH



Fonte: Autores (2021)

As médias dos IE obtidas ao longo do gradiente de pH são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) de acordo com o resultado da ANOVA, reforçando o efeito do pH sobre a atividade lipolítica das bactérias. Com relação à interação entre as variáveis,

a análise de regressão linear não foi significativa ( $p=0,7753$ ), o que indica que o padrão de variação que o pH pode causar nos índices enzimáticos não é linear.

As actinobactérias apresentaram resultados variados em relação a escala de pH, quatro cepas foram positivas em pH 4 (UB02, UB03, UB04 e UB23), nove em pH 5 (UB02, UB03, UB04, B05, UB07, UB08, UB12, UB20 e UB23) e somente três não apresentaram atividade em pH 9 (UB08, UB11 e UB14), isso mostra a variedade de ecossistemas que esses microrganismos podem colonizar. Dentre as cepas analisadas, quatro delas (UB02, UB03, UB04 e UB23) se destacaram por apresentar atividade lipolítica em todos as faixas de pH. Tal fato, demonstra a plasticidade dessas cepas ao parâmetro pH.

Os resultados do presente estudo corroboram com os de Ramos *et al.* (2018) e reforçam a importância destes microrganismos para a manutenção do ecossistema, sobretudo, para suportar variações no pH do solo que podem ser ocasionadas principalmente pela atividade antrópica. Nafis *et al.* (2019) relatam que as actinobactérias sobrevivem em ambientes extremos relacionados a temperatura, pH, salinidade, presença de metais pesados e, ainda assim, são capazes de realizar serviços ecossistêmicos como a promoção do crescimento vegetal.

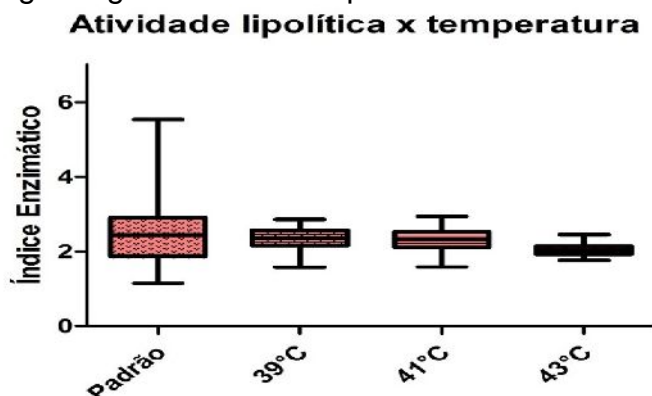
Nesse estudo, com relação ao pH, destacam-se nove cepas que cresceram e apresentaram atividade lipolítica em pH 4 e 5, demonstrando potencial para colonizar solos de áreas degradadas, que normalmente apresentam faixas de pH mais extremas.

Os dados demonstrados nesta pesquisa, revelam que o solo do Parque Nacional de Ubajara representa uma área com potencial para a exploração de actinobactérias que suportam uma ampla variação de pH, denotando a relevância de estudar esses microrganismos, caracterizá-los e compreender seu papel para a conservação da biodiversidade.

## Temperatura

Dentre os fatores abióticos testados, a temperatura foi o menos tolerado por esses microrganismos. Apenas 36,8% das cepas apresentaram atividade lipolítica quando incubadas a 39° C, ou seja, apenas 7 das 19 cepas testadas. Houve uma tendência na diminuição da atividade enzimática à medida que a temperatura aumentou de modo que nenhuma cepa apresentou IE na temperatura de 45°C. A Figura 4 mostra a redução na amplitude dos valores obtidos pelos IE ao longo do gradiente de temperatura.

**FIGURA 4.** Box-plot da atividade lipolítica ao longo do gradiente de temperatura



Fonte: Autores (2021)



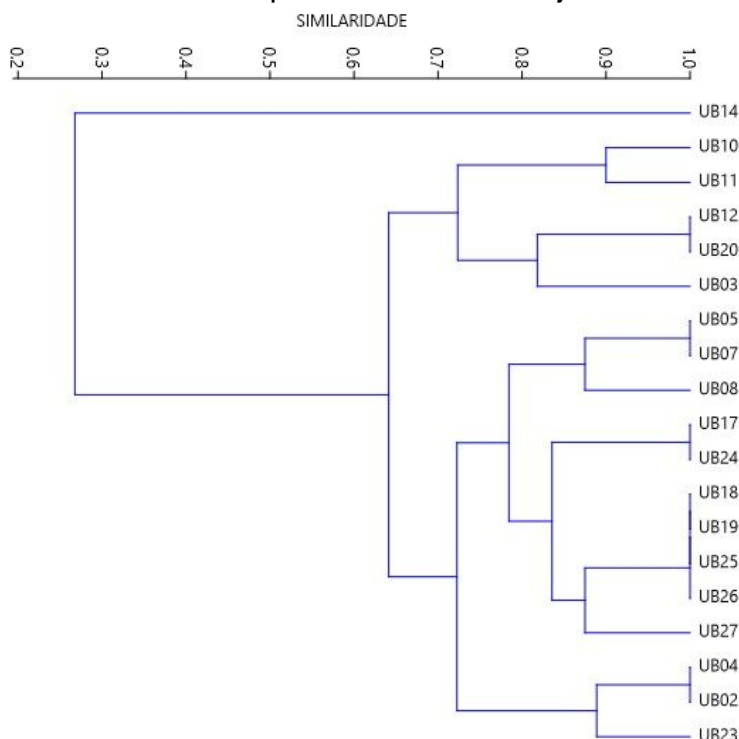
A ANOVA apontou para diferença significativa entre os IE ao longo das diferentes temperaturas. Para esse fator abiótico a análise de regressão linear foi significativa ( $p=0,0164$ ), indicando interação entre as variáveis. O coeficiente de correlação de Pearson foi negativo ( $R= -0,3973$ ), ou seja, à medida que a temperatura aumenta, o IE tende a diminuir, estando de acordo com os resultados obtidos. O valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) foi de 0,1579 podendo-se inferir a partir disso que a variação da temperatura pode diminuir o valor dos IE das actinobactérias em até 15% aproximadamente.

Walker *et al.* (2018), explicam que a temperatura e o teor de carbono do solo são importantes fatores ambientais que determinam o crescimento e atividade da microbiota local. Referidos autores descrevem que temperaturas elevadas aceleram as taxas de decomposição microbiana, aumentando a produção de  $CO_2$  e consequentemente a perda de carbono dos solos. Contudo, Romeo-Olivares *et al.* (2017) destacam que ao serem submetidos a altas temperaturas, os microrganismos do solo causam esgotamento das fontes de carbono disponíveis e o grau de atividade da microbiota é reduzido, devido à escassez de nutrientes.

Nesse contexto, é importante destacar o efeito direto do aquecimento global sobre a microbiota do solo. Em virtude da grande importância dos solos para a sustentação dos ecossistemas terrestres e produção de alimentos, o entendimento dos potenciais impactos das mudanças climáticas sobre a comunidade microbiana do solo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias para mitigar possíveis efeitos deletérios e garantir que os solos se conservem como sistemas autossustentáveis (DELGADO-BAQUERIZO *et al.*, 2017).

Com o intuito de avaliar a diversidade das cepas com relação à produção de lipase considerando as diversas condições abióticas estudadas, foi elaborado um diagrama de similaridade (Figura 5) considerando as cepas produtoras de lipase.

**FIGURA 5.** Dendrograma de similaridade das cepas de actinobactérias do Parque Nacional de Ubajara



Fonte: Autores (2021)

De acordo com a Figura 5, nota-se a formação de vários grupos indicando elevada diversidade das cepas em relação às diversas variações abióticas. Considerando o diagrama de similaridade é possível formar até 12 grupos com mais de 90% de similaridade, ou seja, as cepas de actinobactérias estudadas apresentaram 12 padrões distintos de tolerância aos parâmetros abióticos estudados. Isso demonstra a elevada diversidade e versatilidade das cepas em adaptar-se às diversas condições abióticas.

A diversidade das actinobactérias está diretamente ligada a fatores físico-químicos e ao clima regional. Esses microrganismos tem potencial para adaptar-se a diversos habitats através de ajustes biológicos, nas taxas metabólicas e evolução de enzimas e proteínas. Além disso, sua elevada abundância e diversidade em ambientes mais hostis, sugerem seu papel fundamental para desempenhar funções ecológicas no contexto das mudanças climáticas globais (ARAUJO *et al.*, 2020).

Os resultados do presente estudo enaltecem o papel e a versatilidade das actinobactérias, especialmente na sua capacidade de adaptar-se as diversas condições ambientais. O solo do Parque Nacional de Ubajara conta com uma diversidade de microrganismos que podem desempenhar funções ecossistêmicas importantes, além de servir para pesquisas na área biotecnológica o que reforça o papel e importância das Unidades de Conservação em manter a biodiversidade.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que as cepas de actinobactérias do Parque Nacional de Ubajara são produtoras de lipase, e que sua atividade lipolítica é afetada pela pressão osmótica, pH do meio e temperatura de incubação.

As cepas foram capazes de apresentar atividade lipolítica em concentrações salinas de até 4%. Nas faixas de pH as cepas demonstraram um crescimento melhor nos valores de pH 7 e 9 destacando-se as cepas UB02, UB03, UB04 e UB23 que apresentaram atividade lipolítica nos pHs mais extremos.

A temperatura foi a variável menos tolerada pelas cepas, pois um número reduzido de cepas apresentou atividade lipolítica nessa variável o que evidencia a temperatura como um fator limitante para o crescimento e a atividade metabólica da microbiota do solo.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará e ao Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB) por viabilizarem essa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA-MARTINEZ, V.; CANO, A.; JOHNSON, J. Simultaneous determination of multiple soil enzyme activities for soil health-biogeochemical indices. **Applied Soil Ecology**, v. 126, p. 121-128, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.11.024>

ARAUJO, R.; GUPTA, V. V.; REITH, F.; BISSETT, A.; MELE, P.; FRANCO, C. M. Biogeography and emerging significance of Actinobacteria in Australia and Northern Antarctica soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 146, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107805>

ARAUJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica-Revista Científica da FASETE**, v. 5, n. 5, p. 2-4, 2011. URL:

[https://www.unirios.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/5/a\\_regiao\\_semiarida\\_do\\_nordeste\\_do\\_brasil.pdf](https://www.unirios.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/5/a_regiao_semiarida_do_nordeste_do_brasil.pdf)

BARDGETT, R. D.; CARUSO, T. Soil microbial community responses to climate extremes: resistance, resilience and transitions to alternative states. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 375, n. 1794, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0112>

CAVALCANTE, F.; SOUSA, J.; BERTINI, C. H., MARTINS, S. C.; MARTINS, C. Tolerância à salinidade e uso de fontes de carbono de estirpes de rizóbio oriundas de Pentecoste-Ce. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n. 21, p. 2384-2397, 2015. URL: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/biologicas/tolerancia%20a%20salinidade.pdf>

DELGADO BAQUERIZO, M.; ELDRIDGE, D. J.; OCHOA, V.; GOZALO, B.; SINGH, B. K.; *et al.*; Soil microbial communities drive the resistance of ecosystem multifunctionality to global change in drylands across the globe. **Ecology letters**, v. 20, n. 10, p. 1295-1305, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12826>

DORNELAS, J. C. M.; FIGUEIREDO, J. E. F.; DE ABREU, C. S.; LANA, U. G. P.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; *et al.*; Characterization and phylogenetic affiliation of Actinobacteria from tropical soils with potential uses for agro-industrial processes. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1-16, 2017. URL: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1076062>

FLORES, L. M. A.; ZANETTE, L. R. S.; ARAUJO, F. S. Effects of habitat simplification on assemblages of cavity nesting bees and wasps in a semiarid neotropical conservation area. **Biodiversity And Conservation**, v. 27, n. 2, p. 311-328, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-017-1436-3>.

GORLACH-LIRA, K.; COUTINHO, H. D. M. Population dynamics and extracellular enzymes activity of mesophilic and thermophilic bacteria isolated from semi-arid soil of northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, n.1, p. 135-141, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822007000100028>

HOU, Y., ZENG, W., HOU, M., WANG, Z., LUO, Y. *et al.* Responses of the Soil Microbial Community to Salinity Stress in Maize Fields. **Biology**, v. 10, n. 11, p. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology10111114>

LIMA, C. A. D.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; LIMA, J. L.; ALMEIDA, T. A. B.; SANTOS, J. C. N. D. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 3, p. 531-542, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020193900>

MONTEIRO, V. N.; SILVA, R. N. Aplicações Industriais da Biotecnologia Enzimática. **Revista Processos Químicos**, v. 3, n. 5, p. 9-23, 2009. DOI: <https://doi.org/10.19142/rpq.v3i5.83>

NAFIS, A.; RAKLAMI, A.; BECHTAOUI, N.; EL KHALLOUFI, F.; EL ALAOUI, A.; *et al.* Actinobacteria from extreme niches in Morocco and their plant growth-promoting

potentials. **Diversity**, v. 11, n. 8, p. 1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/d11080139>

NANNIPIERI, P.; TRASAR-CEPEDA, C.; DICK, R. P. Soil enzyme activity: a brief history and biochemistry as a basis for appropriate interpretations and meta-analysis. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, n. 1, p. 11-19, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1245-6>

RAMOS, K. A.; LIMA, J. V. L.; MARTINS, C. M.; MARTINS, S. C. S. Efeito de fatores abióticos sobre a atividade enzimática de actinobactérias de região do semiárido do Ceará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 234-248, 2018. DOI: [10.18677/EnciBio\\_2018A89](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A89)

RATEB, M. E.; EBEL, R.; JASPARS, M. Natural product diversity of actinobacteria in the Atacama Desert. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 111, n. 8, p. 1467-1477, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10482-018-1030-z>

ROMERO-OLIVARES, A. L.; ALLISON, S. D.; TRESEDER, K. K. Soil microbes and their response to experimental warming over time: a meta-analysis of field studies. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 107, p. 32-40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.026>

SANTOS, C. I. A.; SALGADO, C. A.; VANETTI, M. C. D. Lipases bacterianas: impactos na qualidade de produtos lácteos e potencial biotecnológico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21213>

SANTOS, F. L. DE A.; NASCIMENTO, F. R. Geomorfologia como critério para identificação de classes de solos e unidades fitogeográficas no planalto da Ibiapaba - noroeste do Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, n. 2, p. 136-155, 2019. DOI: <https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.536>

SAYED, A. M.; HASSAN, M. H.; ALHADRAMI, H. A.; HASSAN, H. M.; GOODFELLOW, M.; *et al.*; Extreme environments: microbiology leading to specialized metabolites. **Journal of applied microbiology**, v. 128, n. 3, p. 630-657, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14386>

SCHIMEL, J. P. Life in dry soils: effects of drought on soil microbial communities and processes. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 49, p. 409-432, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062614>

SIERRA, G. A simple method for the detection of lipolytic activity of micro-organisms and some observations on the influence of the contact between cells and fatty substrates. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 23, n. 1, p. 15-22, 1957. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02545855>

SILVA, V. M A.; LIMA, J. V. L.; GONDIM, P. M.; MARTINS, C. M.; MARTINS, S. C. S. Efeito da irrigação e do tipo de cultivo sobre a riqueza e diversidade cromogênica de actinobactérias do solo de uma região do semiárido do Ceará. **Enciclopédia**

**Biosfera**, v.11, n.22, p. 2965-2979, 2015. DOI:  
[http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia\\_Biosfera\\_2015\\_016](http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_016)

SINGH, A. K.; JIANG, X. J.; YANG, B.; WU, J.; RAI, A.; *et al.* Biological indicators affected by land use change, soil resource availability and seasonality in dry tropics. **Ecological Indicators**, v. 115, p. 1-11, 2020. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106369>

WALKER, T. W.; KAISER, C.; STRASSER, F.; HERBOLD, C. W.; LEBLANS, N. I.; *et al.*; Microbial temperature sensitivity and biomass change explain soil carbon loss with warming. **Nature climate change**, v. 8, n. 10, p. 885-889, 2018. DOI:  
<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0259-x>