



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

DIOGO TELES DE CARVALHO ROCHA

FUNGOS CAVERNÍCOLAS PRODUTORES DE ENZIMAS: Revisão

Recife
2024

DIOGO TELES DE CARVALHO ROCHA

FUNGOS CAVERNÍCOLAS PRODUTORES DE ENZIMAS: Revisão

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Cristina Maria De Souza-Motta
Co Orientador (a): Joenny Maria da Silveira de Lima

Recife
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Rocha, Diogo Teles de Carvalho.

Fungos cavernícolas produtores de enzimas: Revisão / Diogo Teles de
Carvalho Rocha. - Recife, 2024.

32 p : il.

Orientador(a): Cristina Maria de Souza-Motta

Coorientador(a): Joenny Maria da Silveira de Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências
Ambientais - Bacharelado, 2024.

1. Micologia. 2. Biotecnologia. 3. Ambientes Cavernícolas . 4. Enzimas. I.
Souza-Motta, Cristina Maria de . (Orientação). II. Lima, Joenny Maria da
Silveira de . (Coorientação). IV. Título.

570 CDD (22.ed.)

DIOGO TELES DE CARVALHO ROCHA

Fungos Cavernícolas Produtores de Enzimas: Revisão

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: 26/02/2024

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dr^a Cristina Maria de Souza-Motta (UFPE)

Dr^a Maria Tamara de Caldas Felipe (UFPE)

Ma. Vitória Cristina Santiago Alves (RENORBIO)

Recife
2024

AGRADECIMENTOS

A professora Doutora Cristina Maria de Souza-Motta pela oportunidade de realizar esse estudo e pelas orientações.

A Doutoranda Joenny Maria da Silveira de Lima por me orientar no processo de desenvolvimento do trabalho.

A todos os membros do laboratório de Taxonomia e Biotecnologia do departamento de micologia da UFPE por todo o apoio.

RESUMO

Os fungos de cavernas são organismos que habitam os ambientes subterrâneos mais profundos e remotos do nosso planeta. Adaptados a condições desafiadoras de escuridão parcial ou total, baixa disponibilidade de nutrientes e variações extremas de temperatura e umidade, esses fungos desempenham um papel crucial na decomposição de matéria orgânica e na reciclagem de nutrientes em ecossistemas subterrâneos. Esses fungos desenvolveram uma notável capacidade de produzir uma variedade de enzimas extracelulares que lhes permitem quebrar moléculas complexas presentes em seu ambiente e transformá-las em nutrientes absorvíveis. Enzimas como celulasas, ligninases e amilases são produzidas por esses fungos para degradar substâncias orgânicas recalcitrantes, como celulose, lignina e amido, respectivamente. Essa habilidade enzimática é crucial para a sobrevivência desses fungos, uma vez que os nutrientes essenciais são escassos em ambientes subterrâneos. Além de sua importância ecológica, os fungos têm chamado a atenção da comunidade científica e da indústria biotecnológica. As enzimas produzidas por esses fungos possuem propriedades únicas e adaptativas, o que as torna potencialmente valiosas para diversas aplicações industriais. Por exemplo, as celulasas produzidas por esses fungos têm o potencial de serem utilizadas na produção de biocombustíveis a partir de resíduos vegetais, enquanto as ligninases podem ser empregadas no tratamento de efluentes industriais e na degradação de poluentes ambientais. A pesquisa contínua sobre os fungos de cavernas não apenas aprofunda nosso entendimento sobre a biodiversidade em cavernas, mas também pode levar a descobertas na área biotecnológica. Esses microrganismos representam um fascinante campo de estudo, que nos leva a explorar não apenas as maravilhas ocultas do mundo subterrâneo, mas também as potenciais aplicações benéficas que a natureza pode nos oferecer.

Palavras Chave: Biotecnologia. Cavernas. Microrganismos.

ABSTRACT

Cave fungi are organisms that inhabit the deepest and most remote underground environments on our planet. Adapted to challenging conditions of partial or total darkness, low nutrient availability and extreme temperature and humidity variations, these fungi play a crucial role in the decomposition of organic matter and nutrient recycling in underground ecosystems. These fungi have developed a remarkable ability to produce a variety of extracellular enzymes that allow them to break down complex molecules present in their environment and transform them into absorbable nutrients. Enzymes such as cellulases, ligninases and amylases are produced by these fungi to degrade recalcitrant organic substances such as cellulose, lignin and starch, respectively. This enzymatic ability is crucial for the survival of these fungi, since essential nutrients are scarce in subterranean environments. In addition to their ecological importance, enzyme-producing cave fungi have also drawn the attention of the scientific community and the biotechnology industry. The enzymes produced by these fungi have unique and adaptive properties, which makes them potentially valuable for several industrial applications. For example, the cellulases produced by these fungi have the potential to be used in the production of biofuels from plant residues, while the ligninases can be used in the treatment of industrial effluents and in the degradation of environmental pollutants. Ongoing research on cave fungi not only deepens our understanding of cave biodiversity, but may also lead to breakthroughs in the biotechnological arena. These microorganisms represent a fascinating field of study, which leads us to explore not only the hidden wonders of the subterranean world, but also the potential beneficial applications that nature can offer us.

Keywords: Biotechnology. Caves. Microorganisms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de espeleotemas que podem ser observados em cavernas.	13
Figura 2 – Número de cavernas descobertas no Brasil ao longo dos anos.	14
Figura 3 – Distribuição de cavernas por unidade da federação.	14
Figura 4 – Áreas de ocorrência de cavernas no Brasil.	15
Figura 5 – Caverna do Crotes.	20
Figura 6 – Cavernas alvo do estudo da tanase.	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
SdME	Serra do Espinhaço Meridional
MMA	Ministério do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	METODOLOGIA	11
3	REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1	CAVERNAS	12
3.1.1	Cavernas no Brasil	13
3.2	FUNGOS	15
3.2.1	Fungos cavernícolas	17
3.2.2	Produção de enzimas por fungos de cavernas	19
4	CONCLUSÃO	26
5	REFERÊNCIAS	27

1.INTRODUÇÃO

Os fungos são organismos de grande importância por causa do seu papel fundamental no ecossistema como decompositores e também exercem grande influência sobre os seres humanos (DE ABREU et al. 2015). Esses seres são onipresentes na natureza com cerca de 1,5 milhão de espécies (DA SILVA et al. 2016). Diferentes espécies ocupam uma ampla gama de habitats, enquanto outras são mais restritas devido a fatores ambientais específicos que podem torná-las endêmicas em nichos ecológicos exclusivos (OLIVEIRA et al. 2019).

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº347, uma cavidade natural subterrânea é todo e qualquer espaço subterrâneo que um ser humano possa adentrar, podendo possuir outros nomes como caverna, gruta, fuma, abismo e entre outros.

A interação humana com os ambientes cavernícolas acaba por propiciar a distribuição de microrganismos. Fungos são um exemplo disso, já que os visitantes podem carregar detritos contendo esporos e micélios acarretando a dispersão deles ao longo do caminho (JURADO et al. 2021). Pesquisas mostram que o grupo de maior prevalência em ambientes cavernícolas faz parte do filo Ascomycota com destaque para o gênero *Aspergillus* (SHAPIRO J et al. 2010); (KRIJGSHELD, P. et al. 2013).

As cavernas abrigam um grande potencial para a descoberta de organismos com uso biotecnológico que, por sua vez, consiste no uso de sistemas celulares para desenvolver processos e produtos que tenham algum interesse econômico ou social. Os fungos são de grande interesse na biotecnologia. Dentre os seres vivos eles estão entre os que mais contribuem para a área biotecnológica (AZEVEDO, 2011).

2.METODOLOGIA

Foi adotada uma revisão literária abrangente sobre fungos de cavernas, abordando suas características, ecologia e principalmente a importância biotecnológica referente a produção enzimática. A revisão tem como objetivo compilar informações atualizadas e relevantes a partir de fontes científicas confiáveis, a fim de proporcionar uma compreensão abrangente deste tema.

Foram selecionados artigos científicos que abordam os fungos cavernícolas. As fontes selecionadas deveriam estar em conformidade com critérios de relevância, confiabilidade e atualidade. Foram analisadas publicações dos últimos dez anos, mas também foram incluídos trabalhos mais antigos que fornecessem informações pertinentes.

Banco de dados como o Google Acadêmico e Scielo foram utilizadas nas pesquisas dos artigos e publicações na língua inglesa e portuguesa com as palavras chaves referentes ao assunto: Biotecnologia, Cavernas e Microorganismos.

Foram identificados os principais temas e informações relevantes relacionadas aos fungos em geral e os encontrados em cavernas, incluindo suas adaptações, ecologia, interações e potencial biotecnológico. Os dados foram então sintetizados para criar uma narrativa coesa e informativa.

Os artigos e fontes pesquisados tiveram um enfoque também nas enzimas produzidas pelos fungos, evidenciando suas possíveis funções e aplicações na biotecnologia, como por exemplo, na indústria alimentícia e farmacêutica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CAVERNAS

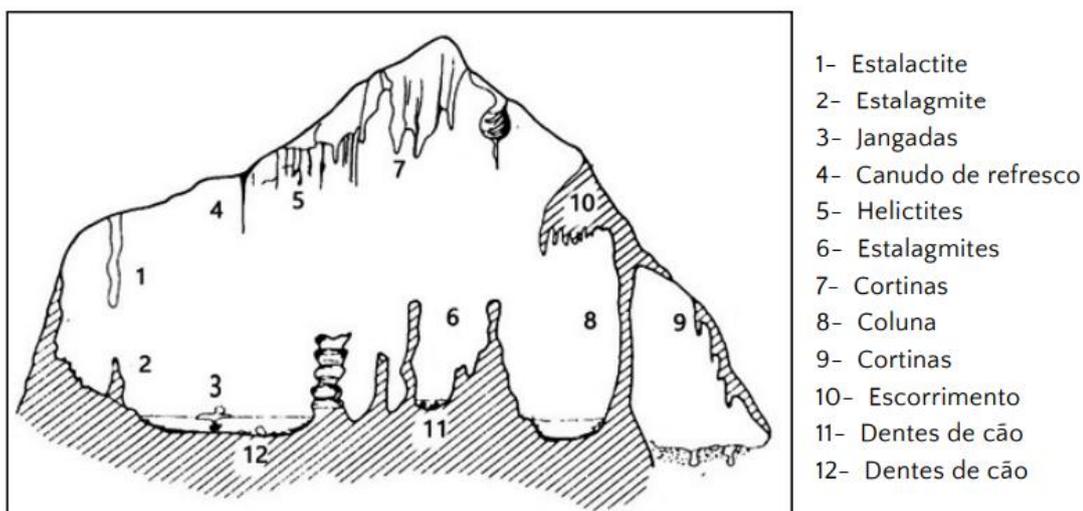
A espeleologia é a ciência que estuda o ambiente cavernícola, e de acordo com Travassos (2019), cavernas são cavidades naturais que se formam no subsolo devido a uma variedade de processos geológicos diferentes. Essas cavidades podem variar significativamente em tamanho, forma e características.

Esses ambientes podem ser divididos em regiões com base na intensidade de luz e na temperatura (MOHR et al. 1996). Cada caverna pode ser dividida em 3 regiões: A zona de crepúsculo localizada na área de entrada; a zona intermediária onde possui relativa escuridão com pequenas oscilações de temperatura; e a zona de total escuridão e temperaturas constantes (POULSON et al. 1969).

As cavernas se formam de várias maneiras, sendo as mais comuns aquelas criadas por processos de dissolução química em rochas solúveis, como calcário e mármore. A água, levemente ácida devido a uma reação química com CO₂, desempenha um papel crucial nesse processo, infiltrando-se nas rochas e dissolvendo-as ao longo do tempo (SOUZA et al. 2021). De acordo com Piló (2011), 90% das cavernas reconhecidas em todo o mundo são formadas por rochas carbonáticas, com destaque para o calcário e o dolomito. Devido a fatores relacionados a variáveis geológicas, geomorfológicas e climáticas, rochas formadas por outros minerais como quartzito e arenito são também capazes de formar cavernas (PILÓ et al. 2011).

Esse ambiente exibe uma ampla variedade de características geológicas chamadas de espeleotemas como as estalactites que são formações de calcita pendentes do teto e estalagmites que crescem a partir do chão (Figura 1) (TRAVASSOS, 2019). Existem formações que possuem uma origem diferente dos espeleotemas chamadas de espeleogens que por sua vez são formações inerentes a rocha originadas pela erosão, não possuindo ligação com a deposição de minerais. (AULER, 2006).

Figura 1 – Tipos de espeleotemas que podem ser observados em cavernas.



Fonte: Pulina, 1999.

A biota nesses locais subterrâneos é bastante única, existindo espécies classificadas como troglófilos (seres que são bem adaptados ao meio cavernícola mas não são inteiramente dependentes desse ambiente), troglóbios (seres que dependem do ambiente cavernícola para sobreviverem) e troglóxenos (seres que utilizam as cavernas como abrigo e precisam sair regularmente), que especifica o período de permanência no interior das cavernas por parte dessa biota (Zhang et al. 2017, 2021).

3.1.1 Cavernas do Brasil

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2023), o Brasil é reconhecido como um país mega diverso, com a maior biodiversidade do planeta. Possui um clima majoritariamente tropical possuindo seis biomas cada uma com suas próprias especificidades que permite uma enorme diversificação na sua biogeografia (COUTINHO, 2016). Estes biomas que formam o território brasileiro, abrigam um patrimônio espeleológico bastante vasto (ICMBio/CECAV, 2020). Naturalistas e exploradores do século XIX foram de grande importância ao iniciar as investigações dos ambientes cársticos no Brasil (PILÓ, 1998). Muitas cavernas brasileiras são locais de visita turística devido as suas belezas cênicas apresentando características geomorfológicas e resquícios paleontológicos que as tornam interessantes. (MONTEIRO et al. 2019)

Analisando os dados espeleológicos do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), no ano de 2022, o Brasil apresentou mais de 23.000 cavernas registradas (Figura 2). Estima-se que esse número representa cerca de apenas 10% do total de cavernas existentes no Brasil (JANSEN et al. 2012). Quanto à distribuição das cavernas pelo território nacional, o estado de Minas Gerais é o maior detentor representando cerca de 46,72% do total de cavernas registradas (Figura 3).

Figura 2 - Número de cavernas descobertas no Brasil ao longo dos anos.



Fonte: CECV/ICMbio, 2023.

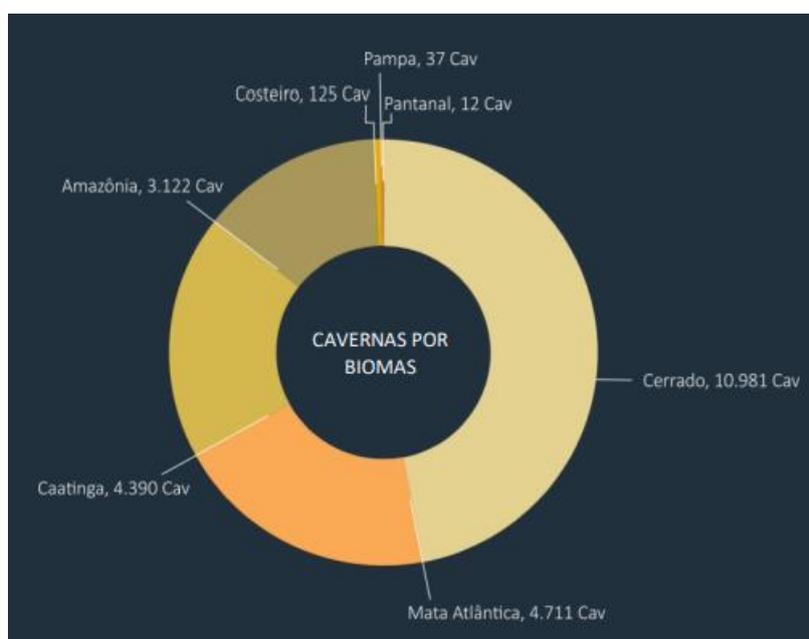
Figura 3 - Distribuição de cavernas por unidade da federação



Fonte: CECV/ICMbio, 2023.

Em relação à distribuição pelos biomas nacionais, a maior parte das cavernas registradas está localizada no bioma Cerrado (46,97%). Outros biomas como o Pampa e o Pantanal representam juntos menos de 1% da totalidade com apenas 49 cavernas (CECAV/ICMbio, 2022) (Figura 4).

Figura 4 - Áreas de ocorrência de cavernas no Brasil



Fonte: CECAV/ICMbio, 2023

3.2 FUNGOS

Os fungos são seres eucarióticos, heterotróficos que se alimentam de matéria orgânica inanimada ou adquirem sua nutrição por meio do parasitismo e predação (TORTORA, 2012). São seres que possuem respiração tipicamente aeróbica, mas podem ser anaeróbios facultativos ou obrigatórios (SOLOMON et al. 2019). A distribuição desses seres é bastante ampla e diversificada, habitando quase a totalidade dos ecossistemas existentes, sejam eles terrestres ou aquáticos, sendo assim considerados cosmopolitas (PEAY et al. 2016; BAJPAI A et al. 2019).

Esses organismos possuem grande diversidade entre si e apresentam características únicas que os diferenciam dos outros seres vivos (OLIVEIRA, 2014). Estimativas sugerem a existência de mais de 1,5 milhões de espécies em todo o mundo, embora apenas cerca de 100 mil tenham sido cientificamente descritas até o momento (DE ABREU et al. 2015). O reino Fungi é atualmente dividido em 19 filos, levando em conta suas características morfológicas reprodutivas e filogenéticas, são eles: Aphelidiomycota, Ascomycota, Basidiobolomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota, Calcarisporiellomycota, Caulochytriomycota, Chytridiomycota, Entomophthoromycota, Entorrhizomycota, Glomeromycota, Kickxellomycota, Monoblepharomycota, Mortierellomycota, Mucoromycota, Neocallimastigomycota, Olpidiomycota, Rozellomycota e Zoopagomycota (WIJAYAWARDENE et al. 2020).

Essa diversidade é observada em várias formas e tamanhos, desde fungos microscópicos unicelulares, como as leveduras, até estruturas macroscópicas complexas e multicelulares, como os bolores ou mofos (TORTORA, 2012). O Filo Ascomycota possui o maior número de representantes deste reino com espécies filamentosas macroscópicas e microscópicas, leveduras de ampla importância e espécies patogênicas de plantas, animais e seres humanos (SANTOS, 2015). Neste filo, em sua reprodução sexuada, há a formação de esporos (ascósporos) em estruturas especializadas (ascos) que se encontram no interior do ascoma (FORTUNA, 2000).

Dentre todos os gêneros conhecidos deste filo, devido a ampla importância que possuem, estão *Aspergillus* e *Penicillium* que possuem várias utilidades para a biotecnologia (ABREU et al. 2015). Espécies de *Aspergillus*, por exemplo, produzem metabólitos, atuam na fermentação de alimentos e são causadores de alergias e doenças como a asma (VANDERWOLF et al. 2013; RAWAT et al. 2017; BAKER et al. 2007). *Penicillium* é um gênero conhecido por ser a fonte original da penicilina, o primeiro antibiótico descoberto. Espécies do grupo também estão envolvidas em diversas aplicações na indústria de alimentos, fármacos e são utilizados em estudos para controle biológico e produção de enzimas (PALLU et al. 2010). Basidiomycota é o segundo maior filo do reino Fungi que inclui seres simbiotes e sapróbios, sendo a maior parte dos representantes macroscópicos (COSTA, 2021).

3.2.1 Fungos cavernícolas

Fungos que habitam ambientes cavernícolas são importantes devido ao seu papel de decompositores da matéria orgânica e de parasitas (RAWAT et al. 2017). Muitos desses fungos possuem origem do exterior desses ambientes sendo trazidos, em formato de esporos, pelo ar, pela água, animais e pelos seres humanos (PUSZ et al. 2014).

Quanto aos táxons encontrados nesses ambientes, a maior porcentagem se dá aos Ascomycota que predominam com 69,1% dos fungos seguido dos Basidiomycota com 20%, zigomicetos (atualmente Mucoromycota segundo Wijayawardene et al. 2020) com 6,6% e demais grupos que incluem: Amoebozoa, Chytridiomycota, Microsporidiomycota, Percolozoa, Oomicetos e Mycetozoa representam juntos menos de 5% da biota fúngica das cavernas (VANDERWOLF et al. 2013).

A micobiota de ambientes cavernícolas está intimamente relacionada com os animais que vivem nesses locais. Os morcegos são exemplos de animais que abrigam uma variedade de fungos em seus corpos. Uma pesquisa realizada no Parque Nacional do Catimbau em Pernambuco (CUNHA et al. 2020), apresentou resultados relevantes, pois foi apresentada uma micobiota bastante rica e diversificada, fazendo com que as *bat caves*, como a caverna Meu Rei, sejam classificadas como *hotspots* de riqueza fúngica. Nesta caverna foram isolados fungos do ar, dos morcegos e do guano, distribuídos em 59 táxons pertencentes a 37 gêneros dos filos Ascomycota, Basidiomycota e do grupo Mucoromycota. Foi constatado nas análises que algumas espécies de fungos são encontradas de forma predominante ou exclusiva em uma espécie específica de morcego, a exemplo do *Aspergillus westerdijkiae* (CUNHA et al. 2020).

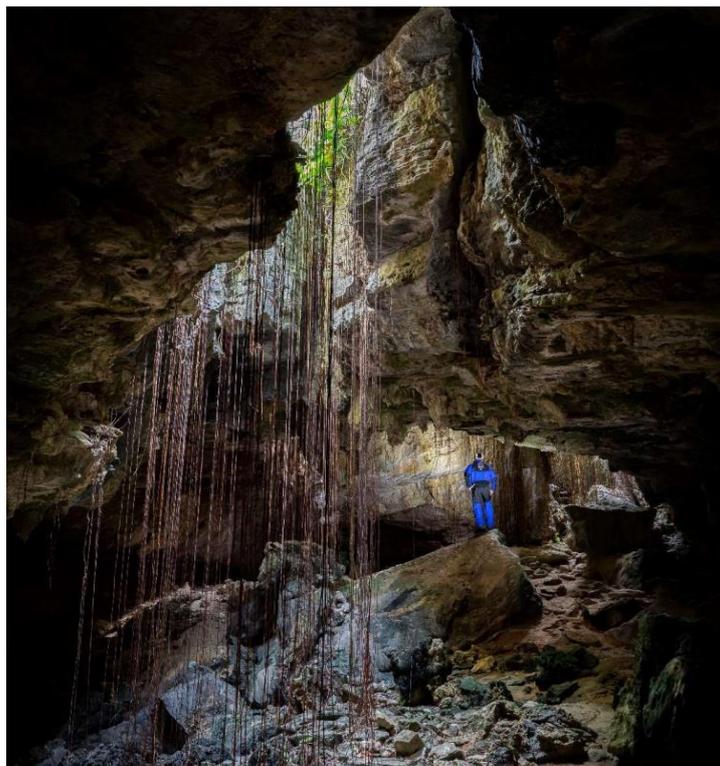
Uma outra caverna também localizada no Parque Nacional do Catimbau chamada Furna do Morcego foi alvo de estudo relacionado a sua micobiota. Neste estudo, os ectoparasitas de morcegos desempenharam o papel de protagonistas. Além de serem vetores de fungos, esses insetos também são

transmissores de outros microrganismos como por exemplo bactérias, vírus e protozoários (SZENTIVÁNYI et al. 2019). Os isolados dos insetos foram identificados e distribuídos em 10 gêneros, sendo *Aspergillus* e *Cladosporium*, os mais abundantes. A grande maioria das espécies identificadas pertenciam ao filo Ascomycota (12 espécies) e alocadas nos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Cladosporium* e *Penicillium*, enquanto para o filo Basidiomycota apenas uma espécie foi identificada (*Hannaella cf. siamensis*) (CARVALHO et al. 2022).

Esta pesquisa realizada na caverna Furna do Morcego foi pioneira em realizar isolamentos de fungos cultiváveis associados a ectoparasitas de morcegos no Brasil. Uma quantidade expressiva de morcegos capturados na caverna, 80% deles, possuíam fungos que estavam associados aos ectoparasitas. Esses organismos são úteis para os fungos, pois conseguem transporte e dispersão de seus esporos pelo interior da caverna, o que indica uma importante relação ecológica entre esses insetos e o modo de vida desses fungos (CARVALHO et al. 2022).

Por serem abundantes no ar atmosférico, existe uma preocupação médica em relação aos fungos já que alguns são os principais responsáveis por causarem alergias e infecções em hospedeiros que possuem alguma deficiência na imunidade como imunocompetentes e imunocomprometidos (ARAÚJO et al. 1999, BELMIRO, 2012). Com isso em vista, foi realizado um levantamento na Caverna do Crotas (Figura 5) localizada no município de Felipe Guerra/RN. O estudo buscou inventariar a diversidade de fungos cultiváveis no ar e no sedimento contribuindo assim, para o manejo espeleológico direcionado ao turismo. Como resultado foram identificados nas amostras do ar e sedimento 15 espécies que pertencem a pelo menos 10 gêneros. Dentre os gêneros encontrados estavam: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, todos com potencial de causarem doenças tanto em animais quanto em plantas, além de algumas espécies possuírem potencial biotecnológico. Apesar da importância médica, mais de 80% dos propágulos do ar não são causadores de doenças em seres humanos e apenas 10% podem causar enfermidades dependendo das condições de saúde do hospedeiro (Brooks et al. 1998)

Figura 5 - Caverna do Crotes (RN).



Fonte: CECAV/ICMBIO, 2022

A Serra do Espinhaço é uma formação geológica com 3 milhões de hectares sendo dividida em duas partes: Meridional localizada em Minas Gerais e a Setentrional localizada na Bahia. Em um estudo realizado na Serra do Espinhaço Meridional (SdEM), foram descobertos um novo gênero e quatro novas espécies da família *Chaetomiaceae* encontrados em 3 cavernas da localidade. O novo gênero chamado *Parahumicola* foi encontrado em uma amostra de fezes de morcego e as novas espécies *Pseudohumicola alba* e a *P. Lutea* foram isoladas de um substrato distinto (CONDÉ et al. 2023).

3.2.4 Produção de enzimas por fungos de cavernas

Os fungos são amplamente utilizados na síntese de diversas substâncias como: enzimas, antibióticos, vitaminas e esteróides. As enzimas são biocatalisadoras que podem ser usados no estudo da biologia molecular, aplicações biomédicas, tratamento de resíduos e na fabricação de produtos biotecnológicos, isso faz da produção dessas enzimas um dos maiores setores

da biotecnologia. (DE QUEIROZ BAPTISTA et al. 2012). Aqui estão algumas áreas em que os fungos desempenham um papel fundamental:

1. **Indústria Alimentícia:** Fungos comestíveis são considerados bastantes nutritivos, possuindo aminoácidos essenciais e não-essenciais. São utilizados na produção de bebidas fermentadas e como fonte de alimento há milênios. Enzimas produzidas por esses organismos como a pectinase são bastante úteis na produção de sucos desde 1930 e outras enzimas como a celulase e a xilanase também são importantes nessa indústria (GHORAI et al. 2009). A enzima lyase também é utilizada no processamento de frutas e produção de sucos (SUHAIMI et al. 2021)

2. **Biotecnologia Ambiental:** Se tratando de biorremediação, fungos são de forma geral, considerados mais tolerantes a elevadas concentrações de poluentes químicos do que outros organismos como por exemplo as bactérias o que demonstrou interesse da comunidade científica a estudá-los de forma intensiva desde a década de 80 (GADD, 2001). São também chave para a redução de metano na atmosfera já que as enzimas produzidas por fungos podem ser utilizadas na produção de aditivos alimentares para os ruminantes reduzindo a emissão deste gás (LANGE et al. 2020). As lacases produzidas pelos fungos são amplamente utilizadas na biorremediação de corantes sintéticos de tecidos, alterando as moléculas de corante para estruturas não coloridas, mais seguras e ecologicamente amigáveis (MONTEIRO et al 2015).

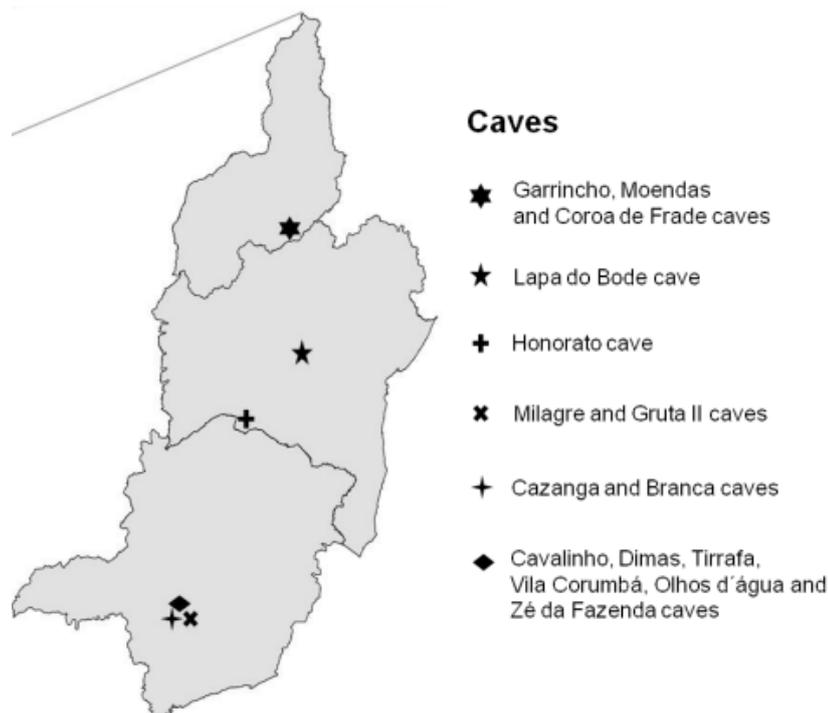
3. **Medicina e Farmacologia:** De acordo com Novaes (2007), a ordem de fungos Agaricales possui representantes que podem contribuir com o tratamento do câncer. Esses cogumelos possuem glicoproteínas e polissacarídeos que condicionam atividades antitumorais (WANG et al. 2003). O cogumelo *Agaricus blazei* é um exemplo de fungo deste gênero utilizado nesse ramo e possui estudos relacionados indicando propriedades anticancerígenas e anti-inflamatórias (PARK et al. 2003). Várias enzimas fúngicas atuam como ativadores de medicamentos anticâncer. A enzima α -L-ramnosidase, derivada de espécies de *Acremonium*, é usada na ramnosilação em uma etapa de medicamentos anticâncer, como 2'-desoxi-5-fluorouridina, citosina arabinosídeo e hidroxiuréia (HOW et al. 2021).

4. **Agricultura:** Os biofertilizantes são uma importante fonte de nutrientes para a produção agrícola. Fungos podem ser manejados para aumentar a absorção de fósforo por parte das plantas acelerando o seu crescimento. As espécies mais utilizadas para isso pertencem aos gêneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Chaetomium* e *Trichoderma* (PAL et al. 2015). Além da promoção do crescimento de plantações, eles são fontes renováveis nutrientes e mantêm a saúde do solo. Existem também vantagens dos fungos endofíticos em relação ao uso de métodos químicos como por exemplo a redução do contato com esses compostos químicos que podem ser prejudiciais à saúde (YADAV et al. 2020). Uma espécie de fungo (*P. chrysogenum*) encontrada em uma mina de sal em Portugal foi capaz de degradar o ácido 2,4-diclorofenoxiacético, um herbicida que pode contaminar o solo e os recursos hídricos (GUEDES et al. 2010)

5. **Energias Renováveis:** Reduzir a utilização de combustíveis fósseis e substituí-los por fontes de energia alternativas renováveis é um desafio das próximas décadas (STERN et al 2016). A biomassa vegetal é a fonte renovável mais abundante para se fazer a conversão em biocombustíveis (BAEYENS et al 2015). Fungos do gênero *Trichoderma*, são fontes de celulases que podem desempenhar um papel importante na conversão de biomassa vegetal em biocombustíveis (ZHANG et al. 2019).

Cavernas são ambientes pouco explorados que podem conter um alto potencial de abrigar fungos que produzem enzimas de interesse biotecnológico (BARTON, 2006). A tanase é uma enzima importante para a produção de bebidas como vinhos, cafés e sucos de fruta (AGUILAR et al. 2001). Em um estudo realizado para detectar a tanase, foram coletados em cavernas localizadas nos estados da Bahia (BA), Minas Gerais (MG) e Piauí (PI) fungos dispersos no ar com possível capacidade de produzir a enzima. As cavernas alvo do estudo estão situadas nos biomas da Caatinga (Bahia e Piauí) e Cerrado (Minas Gerais) (Figura 6).

Figura 6 - Cavernas alvo do estudo da tanase.



Fonte: DE MELO, 2013.

Dos 544 fungos isolados, 386 produziram a enzima tanase representando quase 70,96% dos isolados, mostrando que as cavernas são ambientes que apresentam um potencial biotecnológico em seus microorganismos. Dos 7 gêneros identificados (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Epicoccum*, *Trichoderma* e *Cladosporium*), *Aspergillus* e *Penicillium* demonstraram ser os mais abundantes nas cavernas estudadas. As espécies do gênero *Aspergillus* apresentaram um grande potencial para produzir a tanase possibilitando o uso em indústrias farmacêutica e alimentícia (DE MELO et al. 2013).

Enzimas como a Lacase catalisam uma grande variedade de substratos orgânicos e inorgânicos (PACHECO et al. 2014) e são estudadas para diversas aplicações biotecnológicas a exemplo da biotransformação de xenobióticos (compostos estranhos a organismos ou a ambientes) e efluentes industriais, a biorremediação de solos contaminados e descoloração de corantes (DURÁN et al. 2002). Na Caverna de Altamira, localizada no norte da Espanha, os isolados fúngicos foram adquiridos por amostras de ar (FERNÁNDEZ- REMACHA et al 2022). Duas espécies se destacaram na produção de lacase, *Conidiobolus*

thromboides e *Gliomastix murorum*, sendo *G. murorum* a espécie de maior destaque na produção de lacase.

Um estudo envolveu o isolamento e seleção de cepas fúngicas celulolíticas da caverna Gruta do Catão no estado da Bahia. Três cepas (*Aspergillus ustus*, *Talaromyces bruneus* e *Aspergillus sp.* CBMAI 1926) mostraram altas atividades enzimáticas após fermentação submersa (SmF), destacando-se na produção de endoglucanase, β -glucosidase e celulase, respectivamente. Na fermentação em estado sólido (SSF), essas cepas exibiram rendimentos superiores em comparação com a cepa de referência *Aspergillus niger* 3T5B8. A cepa *Aspergillus sp.* CBMAI 1926 revelou-se uma nova espécie com atividade de celulases significativa e baixa concentração de proteína. Em síntese, as cepas isoladas apresentaram complexos enzimáticos celulolíticos mais eficientes, promissores para processos de fermentação e sacarificação, com atividade enzimática superior e concentração proteica inferior à cepa de referência. O estudo destaca os benefícios da exploração de ambientes extremos de cavernas na busca por cepas potencialmente valiosas (DE PAULA et al. 2019).

Em uma pesquisa realizada em 2014, foram descobertas manchas escuras em sedimentos argilosos em paredes da Caverna Driny, na Eslováquia, revelando a presença de fungos. A descrição desses microrganismos, baseada na morfologia e nas relações filogenéticas, identificou-os como *Penicillium glandicola*. Esta cepa demonstrou capacidade de produção de enzimas extracelulares, como amilases, proteases e celulases. Além disso, foi observado que as estruturas vegetativas do micélio desta espécie são viáveis em temperaturas baixas, mostrando crescimento ativo em temperaturas entre 5 e 25°C, mas sem germinação de esporos e sem crescimento ativo em temperaturas mais altas. *Penicillium glandicola* é considerada uma espécie psicrotolerante (capaz de crescer em temperaturas de refrigeração). Esses achados destacam a importância da microbiota na ecologia subterrânea (OGÓREK et al. 2016).

Um estudo investigou a biodiversidade fúngica termotolerante em cavernas, túneis subterrâneos e fontes termais, com foco em seu potencial para

produção de enzimas extracelulares a exemplo das proteases. Amostras foram coletadas na região de Cardonal, em Hidalgo, México. O estudo caracterizou a diversidade morfológica dos fungos isolados e identificou vários gêneros, incluindo *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Cladosporium* e *Fusarium*. Os fungos isolados foram testados quanto à capacidade de produzir enzimas extracelulares em meio sólido, possuindo enfoque nas proteases devido à sua importância industrial. Entre os 35 fungos isolados, 20 apresentaram atividade proteolítica e 12 cepas foram identificadas como boas produtoras de protease. Os resultados destacaram a diversidade fúngica termotolerante em ambientes extremos e enfatizam seu potencial para produção enzimática. Esta pesquisa contribuiu para a compreensão da ecologia fúngica e fornece mais conhecimento sobre as aplicações biotecnológicas dessas enzimas (LEGORRETA-CASTAÑEDA et al. 2024).

Na caverna Mandeepkhol localizada no estado de Chhattisgarh, na Índia, foi realizado um levantamento de fungos produtores de enzimas que possuem a capacidade de degradar lignina. Um total de 71 espécies pertencentes a 24 gêneros e dois micélios estéreis foram isolados. Entre eles, os fungos do grupo *Deuteromycota* prevaleceram sobre os grupos *Ascomycota* e *Zygomycota*. Dos isolados, 8 espécies (6 gêneros) pertencem ao grupo *Zygomycota*, 4 espécies (4 gêneros) pertencem ao grupo *Ascomycota* e 59 espécies (14 gêneros) pertencem ao grupo *Deuteromycota*. O táxon *Aspergillus* foi dominante, representando 21 espécies, seguido por *Penicillium*, representado por 12 espécies. Do total de isolados, 9 espécies (*Alternaria alternate*, *Aspergillus fumigates*, *Aspergillus luchensis*, *Aspergillus niger*, *Curvularia lunata*, *Fusarium caucassam*, *Penicillium citrinum*, *Penicillium mealagrinum var. viridiflavum* e *Phanerochaete cryosporium*) cresceram bem em meios contendo lignina como única fonte de carbono. *Phanerochaete cryosporium* apresentou a melhor atividade ligninolítica, seguida por *Penicillium mealagrinum var. viridiflavum*, *Alternaria alternate* e *Penicillium citrinum* (KARKUN et al. 2013).

Três cavernas foram alvo de estudo na Eslováquia (Caverna Brestovská, Demänovská L'adová e caverna Slobody), e todas apresentaram fungos com a capacidade de degradar queratina. Um total de 67 isolados fúngicos

queratinofílicos e queratinolíticos foram cultivados a partir de 24 amostras de solo/sedimento coletadas nas cavernas estudadas. Todas as culturas fúngicas queratinofílicas e queratinolíticas identificadas pertenciam a Ascomycota, incluindo 7 famílias (Arthrodermataceae, Aspergillaceae, Clavicipitaceae, Cordycipitaceae, Nectriaceae, Onygenaceae e Pseudeurotiaceae), e 10 gêneros (*Aphanoascus*, *Arthroderma*, *Aspergillus*, *Chrysosporium*, *Cordyceps*, *Cosmospora*, *Keratinophyton*, *Metapochonia*, *Penicillium* e *Pseudogymnoascus*). A maioria das espécies fúngicas pertencia à família Aspergillaceae e aos gêneros *Arthroderma* ou *Penicillium*. A espécie *Arthroderma quadrifidum* foi a mais presente nas amostras de solo/sedimento coletadas, apresentando-se em 12 dos 24 locais onde o estudo foi realizado nas 3 cavernas citadas (OGÓREK et al. 2022).

Na Turquia, uma caverna (Divle) é utilizada na produção de queijos, a partir disso, um estudo determinou as atividades enzimáticas da lipase e protease dos fungos presentes nesta caverna. Foram selecionadas e testadas cinco cepas de leveduras e 17 cepas filamentosas isoladas de queijos. A produção e enzimática variou bastante entre os isolados. Dentre as 5 cepas de leveduras, apenas as espécies *Yarrowia lipolytica* e *Debaryomyces hansenii* produziram protease. Das 17 cepas filamentosas, a maior produção de protease foi observada em: *Penicillium brevicompactum*, *Penicillium olsonii* e *Penicillium cavernicola*. Todos os isolados foram capazes de produzir lipases. A maior atividade de lipase entre as leveduras foi detectada pela espécie *Y. lipolytica*, enquanto *P. cavernicola*, *P. bifforme*, *P. olsonii*, *P. cyclopium*, *P. brevicompactum*, *P. roqueforti* e *P. commune* foram os melhores produtores de lipase pelas cepas fúngicas (OZTURKOGU et al. 2016).

4. CONCLUSÃO

Os fungos representam um grupo diversificado e intrigante de organismos que desempenham papéis cruciais em ecossistemas terrestres e aquáticos, na indústria, na medicina e em muitos outros campos. Sua adaptabilidade a uma ampla gama de ambientes, sua capacidade de degradar materiais orgânicos complexos e sua importância como simbiontes e fontes de compostos bioativos tornam os fungos elementos essenciais na teia da vida.

O potencial biotecnológico dos fungos cavernícolas para a produção de enzimas é promissor e tem despertado crescente interesse na comunidade científica. Fungos adaptados a ambientes cavernícolas possuem características que podem resultar em enzimas com propriedades especiais, adequadas para diversas aplicações industriais e ambientais, mas ainda são necessários mais estudos para aprofundar o entendimento desses fungos.

A compreensão dos fungos de cavernas e de seu papel nos ecossistemas subterrâneos continua sendo um campo em evolução, com muitas perguntas ainda a serem respondidas. À medida que a pesquisa avança, é fundamental reconhecer a importância desses organismos e promover esforços para conservar os ambientes subterrâneos.

REFERÊNCIAS

AGUILAR CN, GUTIÉRREZ-SÁNCHEZ G (2001). Review sources, properties, applications and potential uses of tannin acyl hydrolase. *Food Sci. Technol.* 7:373-382.

ARAÚJO, E.; ANSEMI, F.; LEIRIA, T. L. L.; RICHTER, V. T.; PIRES, L. M. Sinusite fúngica: uma análise clínica em nosso meio. *Revista HCPA, Rio Grande do Sul*, v. 19, n. 2, p. 177-185, 1999.

AULER, A. 2006. Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas – Contextualização, Impactos Ambientais e Aspectos Turísticos. Relatório 01. Projeto BRA/01/039. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Executiva. Brasília, DF 166.

AZEVEDO, J. L. Fungos – Genética e melhoramento de fungos na biotecnologia. *Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*.

BAEYENS, Jan et al. Challenges and opportunities in improving the production of bio-ethanol. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 47, p. 60-88, 2015.

BAJPAI A, RAWAT S, JOHRI BN. Fungal diversity: global perspective and ecosystem dynamics. In: *Microbial Diversity in Ecosystem Sustainability and Biotechnological Applications*. Springer, Singapore, p. 83-113, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-8315-1_4.

BAKER, Scott E. et al. An overview of the genus *Aspergillus*. *The Aspergilli: Genomics, medical aspects, biotechnology, and research methods*, p. 3-13, 2007.

BARTON HA (2006). Introduction to cave geomicrobiology: a review for the nonspecialist. *J. Cave Karst Stud.* 68:43-54

BELMIRO, C. C. L. Identificação da microbiota fúngica anemófila presente em sala de arquivos e três bibliotecas de uma universidade pública da Paraíba. 2012. 23f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

BROOKS, G. S.; BUTEL, J. S.; ORNSTON, L. N. *Microbiologia Médica*. 20.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1998.

CARVALHO, J.L.V.R et al. Ticket to ride: fungi from bat ectoparasites in a tropical cave and the description of two new species. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 53, n. 4, p. 2077-2091, 2022.

CONDÉ, Thiago Oliveira et al. Shedding light on the darkness: a new genus and four new species in the family Chaetomiaceae from Brazilian neotropical caves revealed by multi-gene phylogenetic analyses. *Mycological Progress*, v. 22, n. 7, p. 49, 2023.

COSTA, PHO. Diversidade microbiana na rizosfera de *Dioclea apurensis* kunth em áreas nativas e de recuperação em Carajás. Belém: Instituto Tecnológico Vale - ITV, 2021

COUTINHO, L.M. *Biomass Brasileiros*. São Paulo, Oficina de Textos. 2016.

CUNHA, A.O.B. et al. Living in the dark: Bat caves as hotspots of fungal diversity. *PLoS One*, v. 15, n. 12, p. e0243494, 2020.

DA SILVA, C. J. A.; DO N. M., D.J. A importância dos fungos na biotecnologia. *Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-PERNAMBUCO*, v. 2, n. 3, p. 49-49, 2016.

DE ABREU, J. A. S.; ROVIDA, A.F. S.; PAMPHILE, J. A. Fungos de interesse: aplicações biotecnológicas. *Uningá Review*, v. 21, n. 1, 2015.

DE MELO, A. G. et al. Screening and identification of tannase-producing fungi isolated from Brazilian caves. *African Journal of Microbiology Research*, v. 7, n. 6, p. 483-487, 2013.

DE QUEIROZ BAPTISTA, Nelânia Maria et al. Produção das enzimas lignina peroxidase e lacase por fungos filamentosos. *Scientia Plena*, v. 8, n. 1, 2012.

DURÁN, N.; Rosa, M. A.; D'annibale, A.; Gianfreda, L.; *Enzyme Microb. Technol.* 2002, 31, 907.

FERNÁNDEZ-REMACHA, Daniel et al. Analysis of laccase-like enzymes secreted by fungi isolated from a cave in northern Spain. *MicrobiologyOpen*, v. 11, n. 2, p. e1279, 2022.

FORTUNA, J. L. Apostila da Disciplina de Biologia dos Fungos. Teixeira de Freitas: Projeto Fungus Extremus, UNEB, Campus X. 2020, 27 p

GADD, G. M. (Ed.). *Fungi in bioremediation*. Cambridge University Press, 2001.

GHORAI, Shakuntala et al. Fungal biotechnology in food and feed processing. *Food research international*, v. 42, n. 5-6, p. 577-587, 2009.

GUEDES, Sumaya Ferreira. Estudo da biodegradação do ácido 2, 4-Diclorofenoxiacético, um herbicida selectivo amplamente utilizado na agricultura, por uma estirpe de *penicillium*. 2010. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

HOW, C.W.; Ong, Y.S.; Low, S.S.; Pandey, A.; Show, P.L.; Foo, J.B. How far have we explored fungi to fight cancer? *Semin. Cancer Biol.* 2021, in press.

JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LAMBLÉM, H. S. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1: 2.500. 000. *Revista Brasileira de Espeleologia*, v. 2, n. 1, p. 42-57, 2012.

JURADO V, DEL ROSAL Y, LIÑAN C, MARTIN-POZAS T, GONZALEZ-PIMENTEL JL, SAIZ-JIMENEZ C. 2021. Diversity and seasonal dynamics of

airborne fungi in Nerja Cave, Spain. *Appl. Sci.* 11:6236. doi: 10.3390/app11136236.

KARKUN, Arunima; JADHAV, S. K.; TIWARI, K. L. LIGNIN DEGRADATION BY CAVE DWELLING FUNGI. *International Journal of Pharmacology & Biological Sciences*, v. 7, n. 2, 2013.

KRIJGSHELD, P. et al. Development in aspergillus. *Studies in mycology*, v. 74, n. 1, p. 1-29, 2013.

LANGE, Lene; AGGER, Jane W.; MEYER, Anne S. Fungal biotechnology: unlocking the full potential of fungi for a more sustainable world. *Grand Challenges in Fungal Biotechnology*, p. 3-32, 2020.

LEGORRETA-CASTAÑEDA, Adriana Jazmín et al. Biotechnological insights into extracellular enzyme production by thermotolerant fungi from hot springs and caves: Morphology, pellets formation, and protease production. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 2024.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade Brasileira. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira.html>. Acesso em: 25 de Março de 2023

MOHR, C. E. AND POULSON, T. L. (1996). *The Life of the Cave*. McGraw-Hill, New York.

Monteiro de Souza P, de Bittencourt ML et al (2015) A biotechnology perspective of fungal proteases. *Braz J Microbiol* 46:337–346.

MONTEIRO, F.A.D., MONTEIRO, J.F.N., MOURA, P.E.F. 2019. Que riquezas podemos encontrar nas cavernas? In: Zampaulo, R.A. (org.) Congresso Brasileiro De Espeleologia, 35. Bonito. Anais... Campinas: SBE, 2019. p.430–438.

NOVAES, Maria Rita Carvalho Garbi; NOVAES, Luiz Carlos Garcez; TAVEIRA, Vanessa Cunha. Pharmacological effects of Agaricales fungi: a review of evidence. *Revista de Ciências Médicas*, v. 16, n. 2, 2007.

OGÓREK, Rafał et al. Keratinophilic and Keratinolytic fungi in cave ecosystems: A culture-based study of Brestovská cave and Demänovská Ľadová and Slobody caves (Slovakia). *Applied Sciences*, v. 12, n. 3, p. 1455, 2022.

OGÓREK, Rafał; DYLAĞ, Mariusz; KOZAK, Bartosz. Dark stains on rock surfaces in Driny Cave (Little Carpathian Mountains, Slovakia). *Extremophiles*, v. 20, p. 641-652, 2016.

OLIVEIRA LA. et al. *Conhecimento, conservação e uso de fungos*. Manaus: Editora INPA, 2019

OLIVEIRA, J. C. Tópicos em Micologia Médica. Rio de Janeiro; 2014, 230 págs.; il. col.

OZTURKOGLU-BUDAK, Sebnem et al. Protease and lipase activities of fungal and bacterial strains derived from an artisanal raw ewe's milk cheese. *International Journal of Food Microbiology*, v. 237, p. 17-27, 2016.

PACHECO, S; SOARES, C. H. L. Imobilização e caracterização de lacase e seu uso na biodegradação de efluentes de indústrias papeleiras. *Química Nova*, v. 37, p. 209-214, 2014.

PAL, S. et al. Fungal biofertilizers in Indian agriculture: perception, demand and promotion. *Journal of Eco-friendly Agriculture*, v. 10, n. 2, p. 101-113, 2015.

PALLU, A.P.S. Potencial biotecnológico de fungos de gênero *Penicillium* e interação com cana-de-açúcar. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PARAPOULI M, VASILEIADIS A, AFENDRA AS, HATZILOUKAS E. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS Microbiol.* 2020 Feb 11;6(1):1-31. doi: 10.3934/microbiol.2020001.

PARK, Yong K. et al. Determinação da concentração de beta-glucano em cogumelo *Agaricus blazei* Murill por método enzimático. *Food Science and Technology*, v. 23, p. 312-316, 2003.

PAULA, Caio CP DE et al. High cellulolytic activities in filamentous fungi isolated from an extreme oligotrophic subterranean environment (Catão cave) in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 91, 2019.

PEAY K, KENNEDY P, & TALBOT J. Dimensions of biodiversity in the Earth mycobiome. *Nat Rev Microbiol* 14, 434–447 (2016). <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.59>.

PILÓ, L.B. 1998. Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú, Carste de Lagoa Santa, MG. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

PILÓ, Luís Beethoven; AULER, Augusto. Introdução à espeleologia. Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Belo Horizonte: Instituto Terra Brasilis, p. 7-23, 2011.

POULSON, Thomas L.; WHITE, William B. The Cave Environment: Limestone caves provide unique natural laboratories for studying biological and geological processes. *Science*, v. 165, n. 3897, p. 971-981, 1969.

PULINA, M. KRAS: formy i procesy. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, 1999. 375p.

PUSZ, W.; OGÓREK, R.; Knapik, R.; Kozak, B.; Bujak, H. 2014. The occurrence of fungi in the recently discovered Jarkowicka cave in the Karkorosze Mts. (Poland). *Geomicrobiology Journal*. 32: 59- 67.

RAWAT, S.; RACHN, R.; JOHRI, B.N. 2017. Fungal world of cave ecosystem. Springer Nature Singapore.7: 99-124.

SANTOS, E.RD. Material Complementar ao livro Sistemática Vegetal I: Fungos. Florianópolis. 2015

SHAPIRO J, PRINGLE A. Anthropogenic Influences on the Diversity of Fungi Isolated from Caves in Kentucky and Tennessee. *The American Midland Naturalist* amid 163-01-08. 3d. 2010.

SOLOMON, Barry D. Biofuels and sustainability. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1185, n. 1, p. 119-134, 2010.

SOUZA, Julia Cristina Bandeira Lino de; SUHOGUSOFF, Alexandra Vieira. Cavernas e espeleotemas. *Geologia Geral: Uma revista da turma* 63, p. 31-33, 2021.

STERN, Paul C. et al. Opportunities and insights for reducing fossil fuel consumption by households and organizations. *Nature Energy*, v. 1, n. 5, p. 1-6, 2016.

SUHAIMI H, Dailin DJ, Malek RA et al (2021) Fungal pectinases: production and applications in food industries. In: Dai X, Sharma M, Chen J (eds) *Fungi in sustainable food production*. Springer, Cham, pp 85–116

SZENTIVÁNYI, Tamara; CHRISTE, Philippe; GLAIZOT, Olivier. Bat flies and their microparasites: current knowledge and distribution. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 6, p. 115, 2019.

TORTORA, G.; CASE, C. L.; FUNKE, B. R. *Microbiologia*. 8ª Ed. – São Paulo: Editora Atheneu, 2012

TRAVASSOS LEP. Geomorfologia cárstica subterrânea. In: *Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica*. ICMBio, Brasília: 133–161. 2019.

VANDERWOLF, K. J., MALLOCH, D., MCALPINE, D. F., FORBES, G. J. 2013. A world review of fungi, yeast, and slime molds in caves. *International Journal of Speology*. 42: 77-96.

WANG, H; NG, T. B. Isolation of a novel N-acetylglucosamine-specific lectin from fresh sclerotia of the edible mushroom *Pleurotus tuber-regium*. *Protein expression and purification*, v. 29, n. 2, p. 156-160, 2003.

WIJAYAWARDENE NN, HYDE KD, AL-ANI LK, TEDERSOO L et al. 2020 – Outline of Fungi and funguslike taxa. *Mycosphere* 11(1), 1060–1456. Doi 10.5943/mycosphere/11/1/8

YADAV, AJAR NATH et al. (Ed.). Agriculturally important fungi for sustainable agriculture. Cham: Springer, 2020.

ZHANG ZF, LIU F, ZHOU X, et al. (2017). Culturable mycobiota from Karst caves in China, with descriptions of 20 new species. *Persoonia* 39: 1–31

ZHANG, Jiajia et al. The transcription factor ACE3 controls cellulase activities and lactose metabolism via two additional regulators in the fungus *Trichoderma reesei*. *Journal of Biological Chemistry*, v. 294, n. 48, p. 18435-18450, 2019.