

Impacto do desmatamento e queimas na biodiversidade invisível da Amazônia

Impact of deforestation and burning on the invisible biodiversity of the Amazon

*Monyck Jeane dos Santos Lopes¹, Beatriz Silva Santiago², Ila Nayara Bezerra da Silva³,
Ely Simone Cajueiro Gurgel⁴*

RESUMO: A Amazônia brasileira destaca-se pela sua biodiversidade, sendo ampla fonte de recursos biogenéticos. Além da sua expressiva fauna e flora, existe uma grande biodiversidade invisível, encontrada na microbiota do solo, composta principalmente por fungos e bactérias. Esses micro-organismos são essenciais para conservação do meio ambiente, participam em diversos processos na manutenção do ecossistema, como ciclos biogeoquímicos, fertilidade e estrutura dos solos, e na decomposição e mineralização da matéria orgânica. Também são recursos genéticos para diversos bioprocessos: biotecnológicos, biorremediação de solos contaminados, biodegradação de agrotóxicos, biofertilizantes e bioestimulantes do crescimento de plantas. Atualmente, desmatamentos e queimadas são os principais causadores da degradação florestal e perdas na biodiversidade amazônica, afetando também os fatores abióticos, como temperatura e umidade, que influenciam o solo, causando estresse à microbiota. O estudo foi realizado por meio de levantamento bibliográfico, sendo consultados livros, dados publicados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e artigos indexados nas principais bases de pesquisas. Com base no levantamento bibliográfico e a fim de apresentar um melhor entendimento sobre os impactos que a degradação da Amazônia pode causar na microbiota do solo, esse artigo foi subdividido nos tópicos: desmatamento e queimas na Amazônia, biodiversidade invisível, importância da microbiota do solo, impactos do desmatamento e queima na microbiota. Considerando o potencial da microbiota amazônica em enriquecer a biodiversidade, essa revisão objetiva abordar os impactos que o desmatamento e o fogo podem ter na biodiversidade microbiana do solo.

Palavras-chave: Bactérias. Fogo. Fungos. Microbiota. Temperatura.

ABSTRACT: The Brazilian Amazon is conspicuous for its biodiversity and a great source of biogenetic resources. Besides its expressive fauna and flora, there is a great invisible biodiversity, found in the soil microbiota, composed mainly of fungi and bacteria. These microorganisms are essential for environmental conservation and participate in various processes for the maintenance of the ecosystem, such as biogeochemical cycles, fertility and soil structure and for the decomposition and mineralization of organic matter. They are also genetic resources for several bioprocesses: biotechnological, bioremediation of contaminated soils, biodegradation of pesticides, biofertilizers and bio-stimulants of plant growth. Currently, deforestation and burning are the main causes of forest degradation and losses in Amazonian biodiversity, also affecting abiotic factors, such as temperature and humidity, that influence the soil, causing stress to the microbiota. Current research was conducted through a bibliographic survey: books, data published by the National Institute for Space Research (INPE) and articles indexed in the main research databases. Based on bibliographic survey and for a better understanding of the impacts that the degradation of the Amazon causes on soil microbiota, current paper deals with deforestation and burning in the Amazon, invisible biodiversity, importance of soil microbiota, impacts of deforestation and burning on the microbiota. Due to the importance of Amazonian microbiota to enrich biodiversity, analysis addresses the impacts that deforestation and fire have on soil microbial biodiversity.

Keywords: Bacteria. Fire. Fungi. Microbiota. Temperature.

Autor correspondente:

Monyck Jeane dos Santos Lopes: monyck_lopes@yahoo.com.br

Recebido em: 09/12/2020

Aceito em: 05/04/2021

¹ Laboratório de Biotecnologia de Propágulos e Mudanças - Museu Paraense Emílio Goeldi

² Museu Paraense Emílio Goeldi

³ Museu Paraense Emílio Goeldi

⁴ Museu Paraense Emílio Goeldi



INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira destaca-se pela sua biodiversidade, sendo ampla fonte de recursos biogenéticos. Sua grande biodiversidade vai muito além da fauna e flora. Nessa região também existe uma biodiversidade invisível, a da microbiota (CARMO; CARMO, 2019; VIEIRA *et al.*, 2019; LOPES *et al.*, 2020; LEMOS *et al.*, 2021).

A microbiota do solo é composta por inúmeros organismos que são essenciais para a manutenção do ecossistema, participando na mineralização da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes, micro-organismos que também são importantes na biorremediação, biofertilização, bioestímulo de plantas e na produção de várias enzimas de interesse industrial, medicinal e comercial (BERTOL *et al.*, 2019; VARMA *et al.*, 2019; NANNIPIERI *et al.*, 2020; ILESANMI *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, o aumento do desmatamento e das queimadas tornou a Amazônia o foco da atenção mundial (INPE, 2020). Esses infortúnios causam irreparáveis danos ao meio ambiente e à biodiversidade; resultam no aumento das áreas degradadas, afetam o estoque de carbono, danificando as espécies utilizadas no extrativismo, o que acarreta a extinção de várias espécies da fauna, flora e de micro-organismos (CARMO; CARMO, 2019; VIEIRA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2021). Por fim, geram sérios problemas ecológicos globais.

Além disso, os desmatamentos e as queimadas afetam fatores abióticos que influenciam o solo, causando estresse à microbiota (ETSAMI, 2020; LOPES *et al.*, 2021). Áreas descampadas aumentam a exposição do solo à radiação solar, elevam a temperatura e reduzem a umidade do solo. Por sua vez, isso diminui a biodiversidade dos micro-organismos que habitam o solo, o que minimiza a sua qualidade. Considerando o potencial da microbiota amazônica, essa revisão tem por objetivo abordar os impactos que o desmatamento e a queima podem ter na biodiversidade microbiana do solo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado por meio de levantamento bibliográfico, sendo consultados livros, dados publicados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e artigos indexados nas principais bases de pesquisas, como: *Scopus*, *Science Direct*, *Scielo*, *Web of Science*, *Wiley Online Library*, *PubMed* e *Google Scholar*. Para localização dos artigos, foram utilizados os termos, juntos ou separados, em português e em inglês: queima, desmatamento, temperatura e micro-organismos do solo; desmatamento e queima na biodiversidade da microbiota;

microbiota do solo florestal; microbioma florestal; diversidade microbológica e biodiversidade microbológica da Amazônia.

Essa revisão integrativa de caráter exploratório qualitativo, aborda um tema de grande importância e que foi amplamente comentado no último ano. Por isso, foram incluídos todos os artigos originais, escritos em português ou inglês, indexados na última década, buscando ser mais atualizada, para assim servir de base para estudos futuros. Com base no levantamento bibliográfico e a fim de apresentar um melhor entendimento sobre os impactos que a degradação da Amazônia pode causar na microbiota, esse artigo foi subdividido nos tópicos: desmatamento e queimas na Amazônia, biodiversidade invisível, importância da microbiota do solo, impactos do desmatamento e queima na microbiota.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora a biodiversidade seja uma das principais características do bioma amazônico, com base no levantamento bibliográfico, notou-se carência de estudos sobre a biodiversidade da microbiota dos solos florestais. Além da expressiva fauna e flora da Amazônia, existe uma grande biodiversidade invisível, encontrada na microbiota, ou microflora, composta principalmente por fungos e bactérias (CARDOSO; ANDREOTE, 2016; BERTOL *et al.*, 2019). No entanto, o aumento do desmatamento e das queimadas reduzem a biodiversidade da floresta Amazônica.

3.1 DESMATAMENTO E QUEIMAS NA AMAZÔNIA

O bioma amazônico é o maior do Brasil, ocupando cerca de 40% do seu território. Inclui os Estados do Acre, Pará, Amapá, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Maranhão, Goiás, Tocantins e Amazonas. A Floresta Amazônica é fonte da maior biodiversidade, uma região de grande importância para o equilíbrio ambiental do planeta, por isso é o bioma com maior interesse em ser preservado (VIEIRA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2021).

Atualmente, o desmatamento e as queimadas são os principais causadores da degradação e perdas na biodiversidade amazônica. Segundo dados do INPE, na última década, o desmatamento teve efeito exponencial. Só em 2020, na Amazônia legal, foram desmatados 12000 km² (Figura 1), destacando-se o Pará com a maior taxa de áreas desmatadas (Figura 2). Esse Estado também apresenta o maior número dos focos de queimadas, isso porque é o maior setor de pecuária e produção agrícola do Norte do Brasil (SODRÉ *et al.*, 2018).

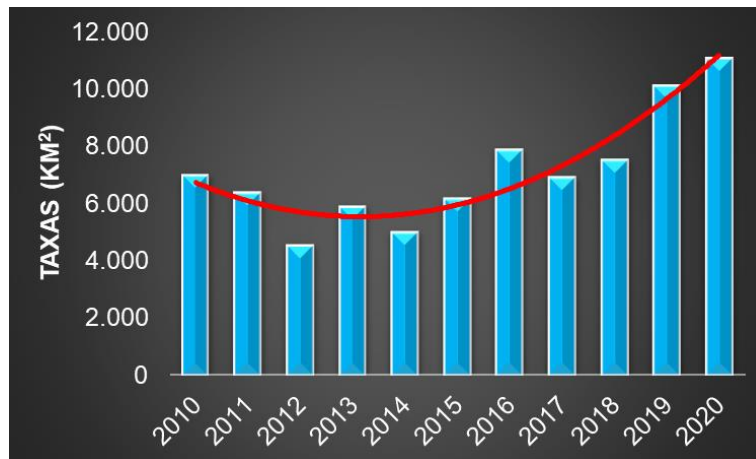


Figura 1. Taxa de desmatamento na Amazônia legal na última década.
Fonte dos dados: INPE, 2020. Gráfico elaborado pelos autores.

De acordo com o INPE (2020), a taxa de desmatamento na Amazônia aumentou 34% nos últimos 12 meses em comparação de agosto de 2019 a julho de 2020, a estação de seca na região Amazônia Legal foi longa, reduzindo a umidade e favorecendo a disseminação do fogo, com o crescimento da associação entre queimadas e desmatamento no ano de 2019.

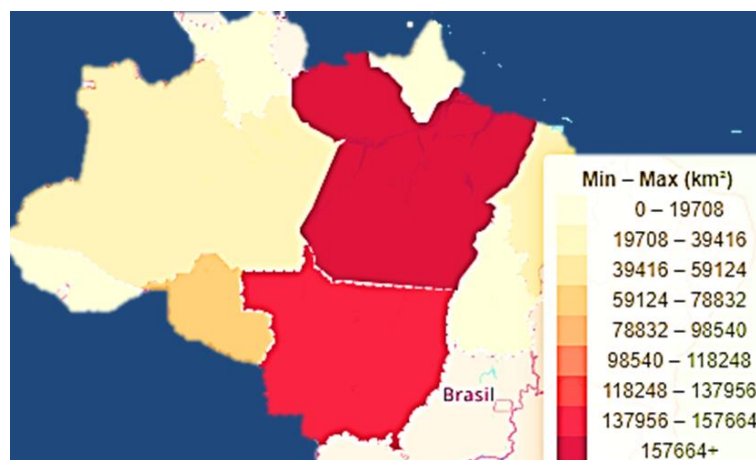


Figura 2. Taxa de desmatamento nos Estados da Amazônia Legal.

Fonte dos dados: INPE, 2020.

Segundo o INPE (2020), em novembro foram verificados mais de 13.000 focos de queima no Brasil, com maior concentração na Amazônia e também no Estado do Pará. Em 2020, 47% das queimadas foram na Amazônia, 22% no Cerrado, 20% na Caatinga, 5,8% no Pantanal e 5% na Mata Atlântica (Figura 3). Essas ações devastadoras afetam as espécies de fauna, flora e de micro-organismos, além de causar grande impacto ambiental (IBFLORESTAS, 2020).

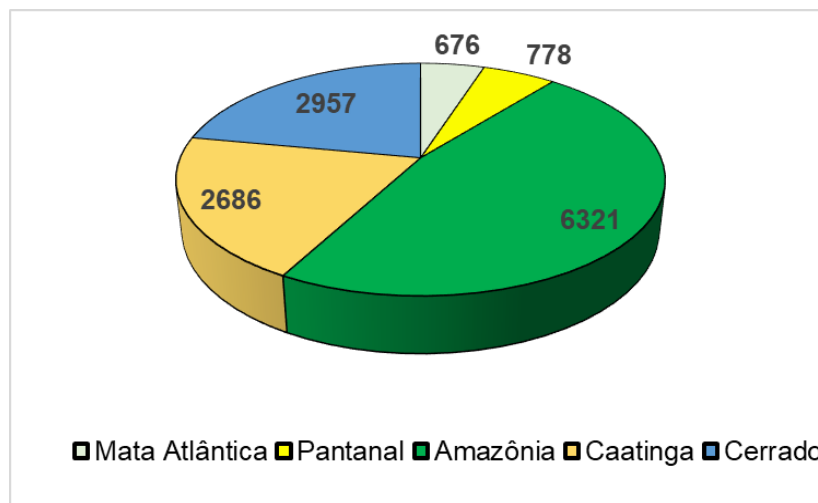


Figura 3. Distribuição de focos de queimadas por bioma brasileiro.
Fonte dos dados: INPE, 2020. Gráfico elaborado pelos autores.

3.2 BIODIVERSIDADE INVISÍVEL

O solo é habitado por vários organismos, que também são essenciais para o funcionamento dos ecossistemas e sobrevivência da vida na Terra (TROIAN *et al.*, 2020; NANNIPIERI *et al.*, 2020). A microbiota do solo é um ambiente heterogêneo, sendo o habitat de vários seres vivos, como micro-organismos, que estão em contínua interação com diferentes espécies, ocorrendo condições de sinergismo, antagonismo, mutualismo e parasitismo (Figura 4) (VARMA *et al.*, 2019; ARORA *et al.*, 2020).

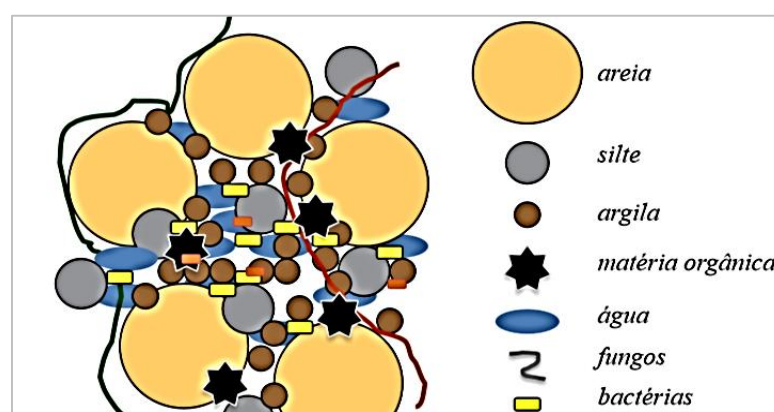


Figura 4. Esquema da estrutura, composição e organização de um agregado de solo.
Fonte: Cardoso & Andreote, 2016.

A biodiversidade invisível dos micro-organismos do solo é assim considerada pela impossibilidade de ser visualizada sem aparelhos próprios de aumento, como microscópio. Dentre esses seres, os que mais se destacam são os fungos e as bactérias, sendo responsáveis

por mais de 90% da respiração dos organismos presentes no solo (Figura 5). Além de atuarem na decomposição de resíduos orgânicos, mineralização de nutrientes, controle de pragas e doenças e serem fitoestimulantes (ETESAMI, 2020; ARORA *et al.*, 2020). Grande parte dos micro-organismos está concentrada na rizosfera, zona ao redor das raízes, devido à maior exsudação de compostos e fontes de carbono (LOPES *et al.*, 2021).

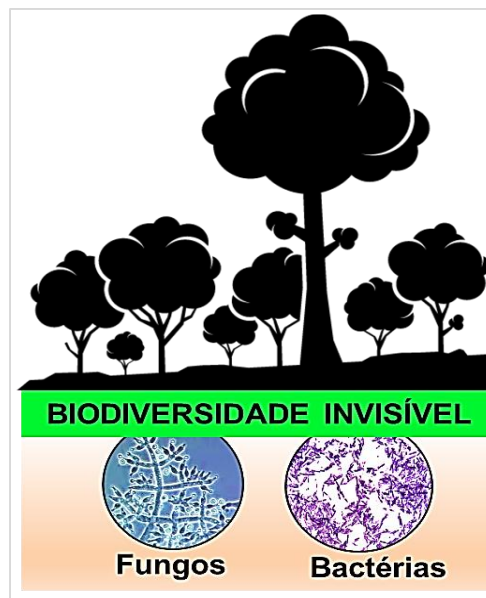


Figura 5. Biodiversidade invisível da microbiota do solo, composta principalmente por fungos e bactérias.
Fonte: Produzida pelos autores.

As bactérias do solo, constituem o grupo mais numeroso, participam em ciclos biogeoquímicos, sendo essenciais para fertilidade do solo e disponibilização de nutrientes às plantas. Os fungos estão em menor quantidade do que as bactérias, mas por apresentarem micélio ocupam maior volume no solo. Uma função essencial dos fungos, devido seu micélio filamentoso, é fazer ligação entre as partículas, contribuindo para estruturação do solo. Também são capazes de degradar lignina e assim decompor substratos complexos (DOMEIGNOZ-HORTA *et al.*, 2020; LOPES *et al.*, 2021).

Em apenas uma grama de solo pode conter até 10 bilhões de micro-organismos, sendo 10^8 bactérias e 10^6 fungos (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Cerca de 160.000 espécies já foram identificadas, mesmo assim é considerado pouco em comparação com a quantidade de micro-organismos que existem. Acredita-se que menos de 10% das espécies microbianas foram descobertas (BERTOL *et al.*, 2019), e esse percentual é bem menor na Amazônia, que é o berço da biodiversidade. Nos solos da Amazônia já foram encontrados micro-organismos benéficos promotores de crescimento em plantas, como *Pseudomonas*, *Burkholderia* e *Trichoderma* (LOPES *et al.*, 2020). A diversidade na microbiota é tão expressiva, que seriam necessárias

análises metagenômicas e programas de bioinformática avançados para identificar mais rapidamente pelo menos metade das espécies existentes. Por isso, são essenciais pesquisas sobre o potencial dessa biodiversidade invisível.

3.3 IMPORTÂNCIA DA MICROBIOTA DO SOLO

7

A biodiversidade invisível dos solos é essencial para conservação ambiental e é fundamental para a manutenção da vida e do equilíbrio do planeta. A diversidade de micro-organismos executa diversas funções, como decomposição de material orgânico, remoção de toxinas, estruturação do solo, infiltração e armazenamento de água, nos processos de ciclagem de nutrientes e ajudam na regulação do clima (BERTOL *et al.*, 2019; DOMEIGNOZ-HORTA *et al.*, 2020).

Fungos e bactérias são essenciais na formação do solo, fertilidade, nutrição de plantas, degradação e remediação de elementos tóxicos. Participam dos processos biogeoquímicos da ciclagem de nutrientes, fixação biológica do nitrogênio, solubilização do fósforo, no ciclo do carbono, decomposição e mineralização da matéria orgânica (VARMA *et al.*, 2019; NANNIPIERI *et al.*, 2020). Aumentam a disponibilidade de nutrientes do solo como nitrogênio, fósforo, ferro entre outros. E têm potencial biotecnológico, como bioinoculantes, biofertilizantes, biocontrole, produção de fármacos e enzimas de interesse industrial (SOUSA *et al.*, 2019; ARORA *et al.*, 2020).

Os micro-organismos também são bioindicadores da qualidade do solo (CARDOSO; ANDREOTE, 2016; SHI *et al.*, 2019). Isso porque, são mais sensíveis às alterações naturais e antrópicas. Para essa verificação podem ser usados: a respiração basal, biomassa microbiana, atividade enzimática, catabólica, mineralização de nitrogênio e métodos moleculares. Esse atributo biológico é importante, porque quanto maior for a biodiversidade do solo, mais ele será estável, produtivo e resistente a estresses bióticos e abióticos (NANNIPIERI *et al.*, 2020).

Além disso, o solo é uma das fontes mais frequentes de micro-organismos potenciais à prospecção para a indústria (MALAJOVICH, 2016; AL-DHABI *et al.*, 2020; ILESANMI *et al.*, 2020), haja vista os micro-organismos serem fonte de produtos naturais bioativos, como enzimas importantes em processos industriais com alto valor econômico. Existem micro-organismos capazes de aumentar compostos nas plantas de interesse para indústrias fitoterápicas. Além disso, há bactérias que produzem catalase, enzima que decompõe o peróxido de hidrogênio, reduzindo o estresse oxidativo, podendo ser usadas nas indústrias farmacêuticas. Alguns produzem celulase, amilase, lipase, entre outros compostos usados nos setores alimentícios, farmacêutico e industriais (OLIVEIRA *et al.*, 2006; MALAJOVICH,

2016; LIMA *et al.*, 2019; AL-DHABI *et al.*, 2020; ILESANMI *et al.*, 2020; KARTHIKA *et al.*, 2020).

Micro-organismos do solo mantêm interações mutualísticas com as raízes das plantas, acelerando o crescimento e produção vegetal (ARORA *et al.*, 2020; KHOSHRU *et al.*, 2020); protegem plantas contra patógenos e estresses causados por mudanças climáticas, aumentam a resistência dessas contra seca, pH, alagamento e metais pesados (LOPES *et al.*, 2021). Dessa forma, atuam como biofertilizantes, bioestimulantes e agentes de biocontrole, possibilitando um manejo sustentável (VARMA *et al.*, 2019; ARORA *et al.*, 2020; KHOSHRU *et al.*, 2020).

A biologia do solo oferece inúmeras alternativas para o desenvolvimento de processos biotecnológicos. Por isso é importante ampliar o conhecimento sobre a diversidade desses micro-organismos, descobrindo novas espécies e seu potencial de uso em diversos fins. No entanto, a microbiota está sujeita a diversos fatores abióticos, como umidade do solo, luz, exsudação radicular, além de fatores bióticos (VARMA *et al.*, 2019; ILESANMI *et al.*, 2020; LOPES *et al.*, 2021), fatores esses que podem ser influenciados pelo desmatamento e queima.

3.4 IMPACTOS DO DESMATAMENTO E QUEIMA NA MICROBIOTA

A vegetação é necessária para manter o equilíbrio nos ecossistemas, controle da temperatura, fertilização dos solos, absorção de gás carbônico, manutenção de microclimas e do ciclo hidrológico (RODRIGUES *et al.*, 2013; NANNIPIERI *et al.*, 2020), servindo, ainda, de refúgio para a fauna e fonte de medicamentos e alimentos não só para os animais, mas também para os humanos (MACHADO, 2012; SILVA *et al.*, 2021).

A degradação gerada pelo desmatamento e queimadas reduz drasticamente a vegetação nativa, causando diversos danos. Além de ser ilegal, é prejudicial para o meio ambiente e para a vida humana. A ausência de controle por parte do poder público e a destruição progressiva da vegetação podem gerar desastres naturais, extinção de ecossistemas e destruição da biodiversidade na região amazônica (CARMO; CARMO, 2019; VIEIRA *et al.*, 2019).

A ocorrência de queimadas em ambientes florestais pode trazer consequências drásticas também para o solo, acarretando a perda de biomassa e redução de material orgânico, que é fonte energética dos micro-organismos (LEMOS *et al.*, 2021), culminando na diminuição da biodiversidade microbiana (Figura 6) e, conseqüentemente, na perda da capacidade produtiva do solo (RODRIGUES *et al.*, 2013).

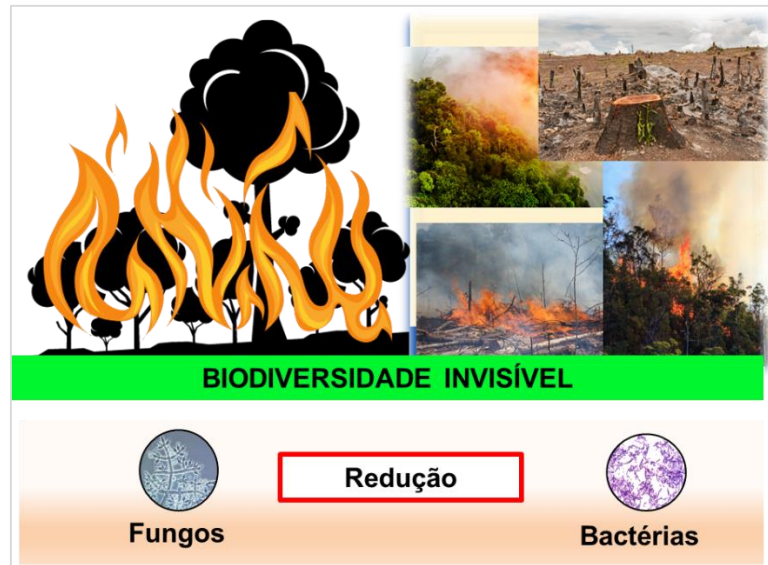


Figura 6. Efeito do desmatamento e da queima na biodiversidade invisível.
Fonte: Produzida pelos autores.

O desmatamento e as queimadas causam mudanças físicas, químicas e biológicas, reduzindo a qualidade do solo; expõem o solo aos impactos das chuvas, o que favorece a lixiviação e erosão. O escoamento do solo reduz a matéria orgânica, porosidade, infiltração e aumenta a compactação, também aumenta a exposição do solo à incidência de luz, alterando a temperatura e umidade; pode causar alterações no pH, volatilização de elementos químicos e mineralização da matéria orgânica, o que também leva a mudanças na dinâmica populacional da microbiota do solo, principalmente nas camadas superficiais, como na rizosfera (FREITAS; SANT'ANNA, 2004; SOUSA *et al.*, 2019; ETSAMI, 2020).

Modificações na floresta, causam mudanças nos fatores abióticos, alterando o metabolismo dos micro-organismos, reduzindo a biodiversidade na microbiota, causando pressão seletiva, o que beneficia a proliferação de micro-organismos patogênicos (RODRIGUES *et al.*, 2013; SHI *et al.*, 2019). Ademais, causam alteração no metabolismo das plantas, mudando a composição dos seus exsudados rizosféricos, modificando a microbiota (GOUDA *et al.*; 2018; ETSAMI, 2020). Por isso, os solos agrícolas e os de pastagens contêm menor variedade de micro-organismos, do que os solos de floresta (MENDES *et al.*, 2015).

Além disso, de acordo com Lemos *et al.* (2021), os desmatamentos da Floresta Amazônica beneficiam a proliferação de micro-organismos no solo, que são resistentes a antibióticos. Segundo os autores, isso pode ser uma ameaça à saúde pública, pois caso aumentem também em solos agrícolas, há possibilidade de serem transferidos para os humanos através da cadeia alimentar, comprometendo a eficácia do tratamento com antibióticos. A degradação florestal também favorece a abundância de fungos patogênicos, inibindo o surgimento e estabelecimento de plantas de sucessão após o desmatamento (SHI *et al.*, 2019).

Durante a queima, a temperatura do solo pode chegar a 70 °C, o que aumenta a evaporação da água e reduz a umidade do solo (REDIN *et al.*, 2011). A perda da vegetação decorrente do desmatamento, expõe o solo a maior radiação solar, elevando a sua temperatura e reduzindo a umidade. Essas mudanças dos fatores abióticos, como temperatura e intensidade de luz, modificam a umidade, matéria orgânica e estrutura do solo, causando mudanças na dinâmica populacional da microbiota do solo, principalmente nas camadas superficiais, como na rizosfera (SOUSA *et al.*, 2019; LOPES *et al.*, 2021).

Em áreas queimadas, o fogo eleva a temperatura do solo reduzindo ou eliminando micro-organismos mais sensíveis às variações de calor. Como a mortalidade dos micro-organismos ocorre entre as temperaturas de 50 a 121 °C, a atividade microbiana no solo é substancialmente reduzida com as queimadas (CARDOSO; ANDREOTE, 2016), podendo reduzir em até 25% a atividade microbiana, interferindo na respiração do solo, promovendo a competição entre micro-organismos e o estresse microbiano (NUNES *et al.*, 2006; VARMA *et al.*, 2019).

A umidade e a matéria orgânica do solo modificam o pH, influenciando a disponibilidade de nutrientes e toxidez mineral. Nos solos descobertos, os raios gama e a luz ultravioleta causam mutações no DNA de micro-organismos ou os matam (LOPES *et al.*, 2021). Por sua vez, esses efeitos adversos do desmatamento e queimas, também alteram a abundância, o metabolismo, a taxa de crescimento e a sobrevivência dos micro-organismos do solo (VARMA *et al.*, 2019). Ademais, a redução da umidade do solo afeta principalmente as bactérias, por serem organismos unicelulares (GOUDA *et al.*, 2018), podendo reduzir cerca de 57% delas (MERCANTE, 2001) e 45% de fungos (SOUSA *et al.*, 2019). Esses impactos levam a perdas de recursos genéticos e são prejudiciais ao ecossistema, por isso precisam ser urgentemente estudados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As queimadas e o desmatamento na Amazônia interferem diretamente no seu funcionamento ecológico, podendo reduzir a biodiversidade invisível da microbiota, a qualidade do solo e levando a perdas de recursos genéticos de uso potencial em diversos processos biotecnológicos. Ainda são escassos estudos sobre a biodiversidade da microbiota da Floresta Amazônica, sobretudo sobre o impacto da destruição da Amazônia, por meio de desmatamentos e queimadas, na população microbiana e as consequências desse problema ao meio ambiente.

Considerando o grande potencial da biodiversidade do bioma amazônico tais pesquisas são fundamentais, pois o estudo dessa biodiversidade invisível proporciona uma melhor

compreensão sobre a dinâmica da ecologia local. Assim, para aumentar esse conhecimento, são necessárias mais políticas públicas, com maior investimento em pesquisas sobre a microbiota da Amazônia.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Museu Paraense Emílio Goeldi e ao MCTI/CNPq (301193/2021-5).

REFERÊNCIAS

- AL-DHABI, N.; ESMAIL, G. A.; GHILAN, A. K. M.; ARASU, M. V. Isolation and screening of *Streptomyces* sp. Al-Dhabi-49 from the environment of Saudi Arabia with concomitant production of lipase and protease in submerged fermentation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 1, p. 474-479, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.11.011>.
- ARORA, N. K. *et al.* Microbe-based inoculants: role in next green revolution. In: SHUKLA, V.; KUMAR, N. (ed.). **Environmental Concerns and Sustainable Development**, p. 191-246, 2020.
- BERTOL, I.; MARIAS, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2019. 1355p.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDROTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2^a ed. São Paulo: ESALQ, 2016. 221p.
- CARMO, W.; CARMO, M. DAS G. Desmatamento, queimadas e ameaça de extinção da flora e fauna na Amazônia brasileira. **Revista Científica do Instituto Ideia**, v. 8, n. 2, p. 55-59, 2019.
- DOMEIGNOZ-HORTA, L. A.; POLD, G.; LIU, X. J. A.; FREY, S. D.; MELILLO, J. M.; DEANGELIS, K. M. Microbial diversity drives carbon use efficiency in a model soil. **Nature Communications**, v. 11, n. 3684, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17502-z>.
- ETESAMI, H. Plant-microbe interactions in plants and stress tolerance. **Plant Life Under Changing Environment**, p. 355-396, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818204-8.00018-7>.
- FREITAS, L. C.; SANT'ANNA, G. L. Efeito do fogo nos ecossistemas florestais. **Revista da Madeira**, v. 14, n. 79, 2004.
- GOUDA, S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H.; PATRA, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, v. 206, p. 131-140, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>.

IBFLORESTAS, 2020. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/bioma-amazonico>. Acesso em: 02 dez. 2020.

ILESANMI, O. I.; ADEKUNLE, A. E.; OMOLAIYE, J. A.; OLORODE, E. M.; OGUNKANMI, A. L. Isolation, optimization and molecular characterization of lipase producing bacteria from contaminated soil. **Scientific African**, v. e00279, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00279>.

INPE, 2020. Disponível em:

http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/homologation/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates/2020_11_infoqueima.pdf (inpe.br) /Focos de Queimada versus / Desmatamentos (Bioma Amazônia) (inpe.br) / TerraBrasilis (inpe.br). Acesso em: 30 nov. 2020.

KARTHIKA, A.; SEENIVASAGAN, R.; KASIMANI, R.; BABALOLA, O. O.; VASANTHY, M. Cellulolytic bacteria isolation, screening and optimization of enzyme production from vermicompost of paper cup waste. **Waste Management**, v. 116, p. 58-65, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.036>.

KHOSHRU, B. *et al.* Current scenario and future prospects of plant growth-promoting rhizobacteria: an economic valuable resource for the agriculture revival under stressful conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 20, p. 3062-3092, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1799004>.

LEMONS, L. N.; PEDRINHO, A.; VASCONCELOS, A. T. R.; TSAI, S. M.; MENDES, L. W. Amazon deforestation enriches antibiotic resistance genes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 153, 2021, 108110, ISSN 0038-0717. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108110>.

LIMA, V. O.; PRATES, K. V. M. C.; FAZOLO, A. Avaliação da eficiência de bactérias lipolíticas e de lipase suína no pré-tratamento de efluente de curtume. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental**, v. 8, n. 4, p. 131-151, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e42019131-151>.

LOPES, M. J. S.; DIAS-FILHO, M. B.; CASTRO, T. H. R.; SILVA, E. F.; REGO, M. C. F.; SILVA, G. B. Impacts of plant growth promoting rhizobacteria on tropical forage grass in Brazil. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 1, p. 342-356, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5296/jas.v8i1.16077>.

LOPES, M. J. S.; DIAS-FILHO, M. B.; GURGEL, E. S. C. Successful plant growth-promoting microbes: inoculation Methods and Abiotic Factors. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, n. 606454, p. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606454>.

MACHADO, C. A. Desmatamento e queimadas na região norte do estado do Tocantins. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 43, 2012.

MALAJOVICH, M. A. **Biotecnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bteduc, 2016.

MENDES, L. W.; TSAI, S. M.; NAVARRETE, A. A.; HOLLANDER, M.; VAN VEEN, J. A.; KURAMAE, E. E. Soil-Borne Microbiome: Linking Diversity to Function. **Microbial Ecology**, v. 70, n. 1, p. 255-265, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0559-2>.

MERCANTE, F. M. **Os microrganismos do solo e a dinâmica da matéria orgânica em sistemas de produção de grãos e pastagem**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001.

NANNIPIERI, P.; ASCHER-JENULL, J.; CECCHERINI, M. T.; PIETRAMELLARA, G.; RENELLA, G.; SCHLOTTER, M. Beyond microbial diversity for predicting soil functions: A mini review. **Pedosphere**, v. 30, n. 1, p. 5-17, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(19\)60824-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(19)60824-6).

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO-FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga** v. 19, p. 200-208, 2006.

OLIVEIRA, A. N.; OLIVEIRA, L. A.; ANDRADE, J. S.; CHAGAS JUNIOR, A. F. Atividade enzimática de isolados de rizóbia nativos da Amazônia central crescendo em diferentes níveis de acidez. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 1, p. 204-210, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612006000100032>.

REDIN, M. *et al.* Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050983243>.

RODRIGUES, J. L. M.; PELLIZARI, V. H.; MUELLER, R.; BAEK, K.; JESUS, E. DA C.; PAULA, F. S.; MIRZA, B.; HAMAOU, G. S.; TSAI, S. M.; FEIGL, B.; TIEDJE, J. M.; BOHANNAN, B. J. M.; NÜSSLEIN, K. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Science of United States of America**, v. 110, n. 3, p. 988-993, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1220608110>.

SHI, L.; DOSSA, G. G. O.; PAUDEL, E.; ZANG, H.; XU, J.; HARRISON, R. D. Changes in fungal communities across a forest disturbance gradient. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 85, n. e00080-19, p. 1-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00080-19>.

SILVA, C. A.; SANTILLI, G.; SANO, E. E.; LANEVE, G. FIRE. Occurrences and Greenhouse Gas Emissions from Deforestation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 13, n. 376, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13030376>.

SODRÉ, G.; SOUZA, E.; OLIVEIRA, J.; MORAES, B. Cálculo de risco e detecção de queimadas: uma análise na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 49, p. 1-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180345>.

SOUSA, R.; LEÃO, E.; VELOSO, R.; GIONGO, M.; SANTOS, G. Impacto da queima de vegetação do Cerrado sobre fungos habitantes do solo. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 965-974, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509822614>.

TROIAN, D.; ROSSET, J. S.; MARTINS, L. F. B. N.; OZÓRIO, J. M. B.; PIERRI, S. C. C.; MARRA, L. M. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. **RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1447-1469, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n4p1447-1469>.

VARMA, A.; TRIPATHI, S.; PRASAD, R. (eds.). **Plant Biotic Interactions**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/doi:10.1007/978-3-030-26657-8>.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; BUAINAIN, A. M.; CONTINI, E. Amazônia um mosaico em construção. **Revista de política agrícola**, v. 4, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1122347/amazonia-um-mosaico-em-construcao>.