

**Proposta submetida para cadastro no banco de projetos para compensação ecológica, mantido pela Sociedade Brasileira de Espeleologia**

**Proponente**

Prof. Dr. Leandro Marcio Moreira  
Bolsista PQ2 CNPq, área de recursos genéticos e biotecnológicos

**Instituição de Origem**

Departamento de Ciências Biológicas e Núcleo de Pesquisa em Ciências Biológicas  
da Universidade Federal de Ouro Preto

**Conhecer para explorar e preservar: estudo genético e de divulgação científica sobre a importância biológica e biotecnológica da microbiota associada a cavernas ferruginosas do quadrilátero ferrífero**

Ouro Preto, abril de 2022

---

**Conhecer para explorar e preservar: estudo genético e de divulgação científica sobre a importância biológica e biotecnológica da microbiota associada a cavernas ferruginosas do quadrilátero ferrífero**

**Proponente:** Prof. Dr. Leandro Marcio Moreira  
Bolsista PQ2 CNPq, área de recursos genéticos e biotecnológicos

**Resumo expandido**

As cavernas e cavidades naturais sempre despertaram a atenção e a curiosidade humana. Servindo de ambiente de proteção a intemperes a pranchas de pintura e comunicação humana, são registros concretos da evolução e um catálogo vivo da história. Com o avanço dos estudos espeleológicos, respostas a perguntas envolvendo questões geológicas, físicas e químicas tem se destacado. Porém, apenas nas últimas três décadas estudos sobre a biota associada têm sido desenvolvidos. De quirópteros a animais troglóbios a ciência tem, a cada dia, descoberto mais sobre estes seres vivos fascinantes e extremamente adaptados a tais ambientes, muitas vezes considerados extremos. Embora volumoso e diversificado, quando tais estudos se referem a macroorganismos, estes tornam-se escassos quando envolvendo a microbiota associada a ambientes cársticos, especialmente no caso das cavernas ferruginosas. Diante desta lacuna de conhecimento e considerando que a região do quadrilátero ferrífero apresenta alto potencial mineral e alta incidência de cavernas ferruginosas, nossa equipe, nos últimos sete anos, tem se dedicado a explorar tais cavidades com o propósito de conhecer a biodiversidade e o potencial biotecnológico deste patrimônio genético negligenciado. Nossos estudos, pioneiros e de impacto internacional, revelaram que a biodiversidade microbiana destes ambientes merece uma atenção especial, já que se diferencia não apenas da encontrada em cavidades quartzíticas, mas também entre as cavernas ferruginosas, o que as coloca em evidência biológica. Para além disso, já sabemos que isolados bacterianos destas cavidades apresentam elevado potencial biotecnológico associado com promoção de crescimento de plantas, remoção e biotransformação de metais, e até mesmo de controle de patógenos e pragas humanas e agrícolas. Com o propósito de dar continuidade a estas descobertas, e avançar neste pioneirismo, propomos neste projeto avaliar as características genéticas de bactérias cultiváveis isoladas a partir de piso e teto de cavidades ferruginosas dos municípios de Ouro Preto, Ouro Branco, Rio Acima, Moeda, Mariana, Nova Lima e Itabirito. Tais investigações possibilitarão que genes e vias metabólicas ou processos celulares identificados possam contribuir para a compreensão acerca da gênese deste ambiente, ao mesmo tempo que podem nos municiar de repertórios moleculares para uso e emprego direto em diversos setores industriais. Finalmente, mas não menos importante, tal conhecimento poderá no futuro auxiliar, de alguma maneira, no desenvolvimento de futuros planos de manejo e extração mineral, e servirá de aporte para o desenvolvimento de um material pedagógico de divulgação científica sobre a importância do tema.

**Palavras-chaves:** Microbiota, genômica comparativa, metabolismo integrativo, divulgação científica, potencial biotecnológico, manejo e conservação.

---

**Knowing in order to explore and preserve: a genetic and scientific dissemination study on the biological and biotechnological importance of the microbiota associated with ferruginous caves of the Iron Quadrangle**

**Bidder:** Prof. Dr. Leandro Marcio Moreira  
Research PQ2 CNPq, Genetic and Biotechnological Resources

**Expanded abstract**

Natural caves and cavities have always aroused human attention and curiosity. Serving as a weather protection environment for painting boards and human communication, they are concrete records of evolution and a living catalog of history. With the advancement of speleological studies, answers to questions involving geological, physical and chemical issues have stood out. However, only in the last three decades studies on the associated biota have been developed. From bats to troglobites, science has, every day, discovered more about these fascinating living beings and extremely adapted to such environments, often considered extreme. Although voluminous and diversified, when such studies refer to macroorganisms, they become scarce when involving the microbiota associated with karst environments, especially in the case of ferruginous caves. Faced with this knowledge gap and considering that the Iron Quadrangle region has a high mining potential and a high incidence of ferruginous caves, our team, in the last seven years, has been dedicated to exploring such cavities with the purpose of knowing the biodiversity and biotechnological potential of this neglected genetic heritage. Our studies, pioneering and with an international impact, revealed that the microbial biodiversity of these environments deserves special attention, since it differs not only from that found in quartzite cavities, but also among ferruginous caves, which puts them in biological evidence. Furthermore, we already know that bacterial isolates from these cavities have high biotechnological potential associated with promoting plant growth, removing and biotransforming metals, and even controlling human and agricultural pathogens and pests. In order to continue these discoveries, and advance in this pioneering spirit, we propose in this project to evaluate the genetic characteristics of cultivable bacteria isolated from the floor and ceiling of ferruginous cavities in the municipalities of Ouro Preto, Ouro Branco, Rio Acima, Moeda, Mariana, Nova Lima and Itabirito. Such investigations will make it possible for genes and metabolic pathways or cellular processes identified to contribute to the understanding of the genesis of this environment, while at the same time providing us with molecular repertoires for use and direct employment in various industrial sectors. Finally, but not least, such knowledge may, in the future, help, in some way, in the development of future mining management and extraction plans, and will serve as a contribution to the development of pedagogical material for scientific dissemination on the importance of the topic.

**Keywords:** Microbiota, comparative genomics, integrative metabolism, scientific dissemination, biotechnological potential, management and conservation.

## Introdução

O Quadrilátero Ferrífero (QF) localiza-se no Centro-Sul do Estado de Minas Gerais (MG), Brasil, e apresenta amplo interesse econômico pela elevada presença de ferro, ouro, topázio e esmeralda em seus solos (Roeser and Roeser, 2013). Por esta razão, intensa atividade mineradora se estabeleceu na região desde 1960 (Azevedo and Machado, 2013), sendo considerada, portanto, uma das mais importantes áreas de extrativismo mineral do mundo. Apesar de sua importância, esta atividade por muitas vezes tem colocado em risco um dos ecossistemas brasileiros menos estudados, e que apresenta uma das maiores taxas de endemismo vegetal no país (Jacobi and Carmo, 2008), os denominados campos rupestres ferruginosos, em uma área considerada chave para a biodiversidade de plantas.

Para além da destacada biodiversidade, o QF apresenta em sua constituição um enorme número de cavidades naturais. São centenas já registradas na região do QF, sem contar outras centenas ainda não catalogadas. No Brasil, as cavidades naturais subterrâneas registradas em litotipos ferruginosos somam 2.517 registros, o que equivale a 13,7% do patrimônio identificado no país (CECAV, 2018). Apesar deste impressionante número, diferentemente das cavidades carbonáticas e quartizíticas, as cavidades em litotipos ferruginosos, em geral, não ultrapassam 100 m de projeção horizontal (Auler and Piló, 2007) e possuem entradas de pequenos diâmetros. Quase sempre estão localizadas nas bordas de canga (afloramentos ferruginosos), devido a processos erosivos, destacando uma minoria oriunda de pequenas aberturas verticais causadas por um colapso do manto da canga (Simmons, 1963). Internamente estas cavidades apresentam condutos totalmente desprovidos de luz e tendência à estabilidade das condições ambientais, tais como temperatura e umidade, proporcionando, assim, um ambiente seletivo para a vida (Culver, 1982).

Assim como em outras cavernas cujos fatores bióticos e abióticos são únicos, pouco explorados ou de difícil acesso, atribuem a estes ambientes certa notoriedade em uma série de pesquisas que buscam novas descobertas (Orcutt et al., 2013; Nunez-Montero and Barrientos, 2018; Orellana et al., 2018; Davila-Ramos et al., 2019), especialmente com relação a presença e ao potencial uso de microrganismos (Rooney et al., 2010; Gabriel and Northup, 2013; Hershey and Barton, 2018; Yasir, 2018; Rangseekaew and Pathom-aree, 2019). Como exemplos destes propósitos e sucesso investigativo podemos destacar o trabalho de Cheeptham e colaboradores que reportaram em uma caverna vulcânica do Canadá actinomicetos capazes de atuarem contra um patógeno de abelhas produtoras de mel (Cheeptham et al., 2012). Em outros trabalhos foram encontradas e identificadas bactérias produtoras de enzimas de interesse industrial (Ghosh et al., 2017; Riquelme et al., 2017), produtoras de novos antibióticos, dentre outras moléculas terapêuticas (Bhullar et al., 2012; Montano and Henderson, 2013; Pawlowski et al., 2016).

Diante deste cenário, recentemente, nossa equipe, por meio de análise de sequenciamento em larga escala do gene 16S rRNA de procariotos, identificou gêneros bacterianos associados com produção de biomoléculas de interesse biotecnológico associados a amostras de piso e teto de cavernas ferruginosas do QF (Lemes et al, 2018). Em seguida, esta mesma equipe identificou 15 isolados bacterianos com elevado potencial de aplicação biotecnológica, especialmente na agricultura (Lemes et al, 2021).

Agora, com a proposta de dar continuidade a estas descobertas iniciais, visamos sequenciar os genomas colocando em evidência, pela primeira vez, novas possibilidades de investigações científicas permitindo que o patrimônio genético associado aos ambientes cavernícolas possa ser melhor compreendido e investigado em diversos outros setores da economia, atribuindo assim importância aos serviços ecossistêmicos associados ao ambiente cavernícola.

## Objetivos

Investigar as características e o potencial genético de isolados bacterianos obtidos a partir de cavernas ferruginosas localizadas em sete municípios mineiros inseridos no quadrilátero ferrífero mineiro, por meio de análise genômica estrutural e funcional.

### Objetivos específicos

- a) Sequenciar completamente o genoma de bactérias associados a cavernas ferruginosas do QF, e que já se mostraram potencialmente interessantes na perspectiva de aplicação em diversos setores industriais.
- b) Comparar estes genomas com outros genomas de mesmas espécies oriundos de bactérias isoladas a partir de outros ambientes, usando informações do repositório NCBI.
- c) Identificar por esta comparação genes únicos ou mesmos compartilhados que possam justificar suas adaptações nestes ambientes metalíferos.
- d) Entender o potencial metabólico deste isolados bacterianos, e consequentemente dos genes associados, quanto a capacidade de biorremediação/biotransformação de metais.
- e) Analisar a capacidade de estes isolados em produzirem moléculas com potencial de ação antibiótica e antifúngica.
- f) Consolidar o grupo de pesquisa com pioneiro na análise da composição e importância da microbiota ferruginocavernícola numa perspectiva de aplicabilidade direta do conhecimento gerado.
- g) Formar recursos humanos especializados na arte de estudar microrganismos e seus genomas.
- h) Desenvolver os primeiros materiais de divulgação científica de cunho pedagógico destacando a importância da microbiota associada a cavernas ferruginosas do quadrilátero ferrífero.

## **Metodologias a serem empregadas**

Todas as bactérias a serem investigadas já se encontram disponíveis e mantidas no laboratório de interação bactérias ambientes, localizado no prédio do ICEB II superior, na Universidade Federal de Ouro Preto, sob responsabilidade e curadoria do proponente do projeto.

### ***Reativação dos isolados bacterianos***

Os isolados bacterianos mantidos conservados em temperatura de -20°C serão reativados em meio de cultura LB, e mantidos a 28°C por 2 dias, com adição de antifúngico.

### ***Extração de DNA total***

Após atingirem massa bacteriana satisfatória (OD 600 superior a 0,8), o DNA destas bactérias serão extraídos usando para isso o kit da NORGEN. A integridade dos DNAs será avaliada em gel de agarose a 0.8%, e corado com brometo de etídeo. A quantificação do DNA será avaliado por meio de espectrofotometria, usando o equipamento NANODROP.

### ***Sequenciamento do DNA***

As amostras de DNA extraídas serão enviadas para serem sequenciadas no exterior (a princípio Arizona State University). Isso porque a tecnologia mais desenvolvida para isso ainda é pouco difundida no Brasil, e pela experiência destas instituições vale a pena o investimento, e a praticidade e velocidade com as quais estão associados.

### ***Montagem e anotação do DNA***

Os DNAs serão montados como parte da prestação de serviço descrita no item anterior. A anotação será feita usando programas como PROKKA, PAGIT e PGAP. Uma vez anotados todos estes genomas serão depositados no NCBI para socialização mundial da informação.

### ***Análise comparativa dos genomas sequenciados***

Genomas de referência serão obtidos do próprio NCBI e análise usando a ferramenta ORTHOLOGSORTER serão utilizadas. A partir daí, genes compartilhados e úncos para cada espécie serão identificados.

### ***Desenvolvimento dos matérias de divulgação científica***

Primeiramente um roteiro de conteúdos será desenvolvido. Em seguida os alunos responsáveis levantarão as informações técnicas associadas e, a partir daí, farão as redações textuais para este documento, com linguagem adaptada à proposta de divulgação científica. Uma vez finalizado o texto, gravuras, figuras e outras imagens serão levantadas para compor parte visual do material. Finalmente, com ajuda de um prestador de serviço será realizada a diagramação e finalização da proposta a ser gerada em documento passível de ser compartilhado em todas as mídias gratuitas de divulgação e redes sociais.

## **Importância deste estudo e diferencial competitivo**

### **Importância científica**

Trata-se do primeiro estudo de caracterização completa de genomas bacterianos associado a cavernas ferruginosas do quadrilátero ferrífero.

A identificação destas informações genômicas permitirá identificar genes possivelmente relacionados com adaptação a estes ambientes, mas que também poderão ser utilizados como referencial biotecnológico para o desenvolvimento de bioprodutos.

### **Importância pedagógica**

Trata-se do primeiro estudo que se propõe a criar um material de divulgação científica sobre o tema em questão.

Trata-se do primeiro projeto de que formará alunos de iniciação científica na arte de analisar genomas microbianos de amostras ambientais.

### **Importância econômica**

As descobertas derivadas do projeto poderão dar suporte ao desenvolvimento de bioprodutos, a exemplo de soluções contendo bactérias ou consórcios bacterianos que poderiam ser aplicados nas áreas de promoção de crescimento vegetal (agricultura), na remoção ou biotransformação de metais (biorremediação de solos e efluentes), ou mesmo na produção de enzimas e outras biomoléculas de amplo interesse industrial.

### **Importância social**

Todos os resultados direta (material pedagógico) ou indiretamente (bioprodutos) poderão contribuir para o avanço sobre o conhecimento e importância do quadrilátero ferrífero e de suas cavidades em questões ambientais e econômicas.

**Custo detalhado: projeto financeiro****Capital**

Para esta proposta não necessitamos de nenhum equipamento, pois temos toda a estrutura física necessária para o desenvolvimento completo do projeto

**Custeio**

Kit de extração de DNA genômico = R\$ 5.000,00

Plásticos e descartáveis para os ensaios biológicos = R\$ 3.000,00

Sais e outros reagentes necessários para os ensaios biológicos = R\$ 5.000,00

**Serviço de terceiros**

- a) Serão requisitados o serviço de terceiros para sequenciamento das amostras genômicas, uma vez que o custo final deste processo se torna menor do que o investimento em reagentes específicos para sequenciamento *in house* (no próprio estabelecimento onde será executado a proposta). A tecnologia de PacBio foi escolhida para geração dos resultados por diminuir o custo e o tempo nas etapas posteriores do projeto (etapas 4 e 6), corroborando a exequibilidade temporal proposta neste projeto. No ato da redação desta proposta um orçamento de duas SMRTcells de sequenciamento girava em torno de U\$ 7500, algo em torno de R\$ 37500,00.
- b) Serviço de revisão de manuscritos e dados científicos em Língua inglesa. Uma das etapas que mais gera rejeição de aceite de trabalhos em revistas internacionais especializadas está no uso formal da língua inglês. Neste sentido estamos propondo o destino de R\$ 4.000,00 para a revisão de pelo menos 3 manuscritos (ver métrica adiante).
- c) Serviço de taxa de publicação em revistas científicas. Hoje a maioria das revistas de grande circulação cobram pela publicação dos manuscritos, num modelo denominado *open access*. Cada publicação gira em torno de U\$2000, considerando que objetivamos publicar três artigos, o custo total aproximado previsto seria de R\$ 30.000,00.
- d) Serviço de diagramação dos materiais didáticos de divulgação científica = R\$ 5.000,00
- e) Serviço de hospedagem para a equipe em eventos científicos = R\$ 2.000,00
- f) Serviço de traslado para a equipe (aéreo ou terrestre) para eventos científicos = R\$ 4.000,00.
- g) Taxa de inscrição em eventos científicos = R\$ 1000,00
- h) Serviço de transporte internacional de material biológico = R\$ 1000,00

**Bolsas de estudo e prolabore**

Bolsa de iniciação científica

2 bolsas por 12 meses cada no valor de R\$ 400,00

Total proposto: R\$ 9.600,00

Prolabore para o proponente da proposta

24 vezes de R4 1.500,00 totalizando 36.000,00

**CUSTO TOTAL DO PROJETO R\$ 138.500,00**

**Cronograma de execução física e financeira**

Atividade	1º ano (trimestre)				2º ano (trimestre)				GC	CA
	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º		
1 - Reativação os isolados bacterianos	X								1	R\$1.500,00
2 - Extração e análise da qualidade do DNA genômico	X								1	R\$ 5.500,00
3 - Sequenciamento do DNA (terceirizado)	X	X							1	R\$ 38.500,00
4 - Montagem e anotação os genes do genoma		X							1	R\$ 0,00
5 - Seleção de outros genomas para estabelecer parâmetros de comparação		X							1	R\$ 0,00
6 - Promoção de análises genômicas comparativas diversas			X	X	X				3	R\$ 0,00
Seleção genes e vias metabólicas alvos para estudos de aplicação e desenvolvimento de produtos					X	X			3	R\$ 0,00
Redação, revisão e publicação de três manuscritos em periódicos internacionais						X	X	X	2	R\$ 34.000,00
Organização e apresentação dos resultados em eventos científicos						X	X	X	1	R\$ 7.000,00
Desenvolvimento de material de cunho pedagógico e de divulgação científica envolvendo as bactérias e os resultados encontrados			X	X	X	X	X	X	3	R\$ 5.000,00
Formação de recursos humanos especializados	X	X	X	X	X	X	X	X	2	R\$ 9.600,00
<b>Total</b>										<b>R\$ 138.500,00*</b>

GC - Grau de Complexidade da tarefa, estabelecida em um métrica de 1 a 3, sendo 1 o nível mais fácil de resolução e 3 o mais complexo.

CA - Custo associado a etapa

\* Valor total incluindo prolabore

---

## Metas e métricas

São **Metas** a serem atingidas com a proposta:

- a) Obter os primeiros genomas bacterianos completos associados a cavernas ferruginosas do quadrilátero ferrífero.
- b) Identificar genes e processos metabólicos associados a adaptação e potencial uso biotecnológico destes isolados bacterianos.
- c) Tornar o laboratório e a linha de pesquisa como referenciais de qualidade em análise de microbiota cavernícola.
- d) Formar mão de obra especializada em análise de genomas microbianos e suas relações com ambientes cavernícolas.
- e) Gerar informações técnicas que possam ser usadas como material de apoio a propostas de manejo e extração mineral.
- f) Divulgar o conhecimento científico gerado, socializando assim a importância destas cavernas e deste geossistema ferruginoso.

São **Métricas** estabelecidas para esta proposta.

- a) Formar dois alunos em nível de pós-graduação
- b) Formar dois alunos em nível de graduação (iniciação científica)
- c) Publicar pelo menos 3 artigos científicos em revistas internacionais especializadas
- d) Participar e divulgar o projeto e os resultados em pelo menos dois eventos, nacionais ou internacionais (com vistas a apresentar todo este repertório de conhecimento no 19º congresso internacional de espeleologia a ser realizado em Belo Horizonte)
- e) Ter o primeiro material de cunho pedagógico relacionado a divulgação científica do conhecimento gerado com este estudo, em genética de bactérias ferruginosas

## Experiência prévia do grupo de pesquisa

Embora estejamos trabalhando com o tema cavernas ferruginosas tem pouco tempo (cerca de sete anos), neste intervalo de tempo adquirimos enorme experiência e estamos hoje num patamar de excelência pelo que produzimos.

- a) Somos autores de dois dos principais, se não únicos, artigos científicos que exploram a diversidade e potencial biotecnológico de bactérias associada a cavernas ferruginosas do quadrilátero ferrífero.

### ARTIGO 1



Article

## Potential Bioinoculants for Sustainable Agriculture Prospected from Ferruginous Caves of the Iron Quadrangle/Brazil

Camila G. C. Lemes <sup>1</sup>, Isabella F. Cordeiro <sup>1</sup>, Camila H. de Paula <sup>1</sup>, Ana K. Silva <sup>1</sup>, Flávio F. do Carmo <sup>2</sup>,  
Luciana H. Y. Kamino <sup>2</sup>, Flávia M. S. Carvalho <sup>3</sup>, Juan C. Caicedo <sup>4</sup>, Jesus A. Ferro <sup>3</sup>  
and Leandro M. Moreira <sup>1,5,\*</sup>

### ARTIGO 2



Article

## 16S rRNA Gene Amplicon Sequencing Data of the Iron Quadrangle Ferruginous Caves (Brazil) Shows the Importance of Conserving This Singular and Threatened Geosystem

Camila G. C. Lemes <sup>1</sup>, Morghana M. Villa <sup>2</sup>, Érica B. Felestrino <sup>1</sup>, Luiza O. Perucci <sup>3</sup>, Renata A. B. Assis <sup>1</sup>,  
Isabella F. Cordeiro <sup>1</sup>, Natasha P. Fonseca <sup>1</sup>, Lara C. C. Guerra <sup>2</sup>, Washington L. Caneschi <sup>1</sup>, Lauro Â. G. Moraes <sup>3</sup>,  
Flávio F. do Carmo <sup>4</sup>, Luciana H. Y. Kamino <sup>4</sup>, Pedro N. C. Vale <sup>5</sup>, Suzana E. S. Guima <sup>6</sup>, João C. Setubal <sup>6</sup>,  
André A. R. Salgado <sup>5</sup> and Leandro M. Moreira <sup>1,2,\*</sup>

- b) Temos um artigo científica em vias de publicação pela revista da SBE. Artigo este que gerou uma das premiações abaixo listadas.



## POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE BACTÉRIAS CULTIVÁVEIS OBTIDAS A PARTIR DA GRUTA MARTIMIANO II, PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA – MG

GUERRA, Lara CC; LEMES, Camila GC, MOREIRA, Leandro M.

- c) Esta experiência não se limita apenas ao estudo das cavidades, mas também ao estudo da microbiota associada a plantas e animais da região do quadrilátero ferrífero.

## ARTIGO 1

**SCIENTIFIC  
REPORTS**  
nature research

OPEN

## *Serratia liquefaciens* FG3 isolated from a metallophyte plant sheds light on the evolution and mechanisms of adaptive traits in extreme environments

Washington Luiz Caneschi<sup>1,9</sup>, Angélica Bianchini Sanchez<sup>1,9</sup>, Érica Barbosa Felestrino<sup>1,9</sup>, Camila Gracyelle de Carvalho Lemes<sup>1</sup>, Isabella Ferreira Cordeiro<sup>1</sup>, Natasha Peixoto Fonseca<sup>1</sup>, Morghana Marina Villa<sup>1</sup>, Izadora Tabuso Vieira<sup>1</sup>, Lauro Ângelo Gonçalves Moraes<sup>1</sup>, Renata de Almeida Barbosa Assis<sup>1</sup>, Flávio Fonseca do Carmo<sup>2</sup>, Luciana Hiromi Yoshino Kamino<sup>2</sup>, Robson Soares Silva<sup>3</sup>, Jesus Aparecido Ferro<sup>4</sup>, Maria Inês Tiraboschi Ferro<sup>4</sup>, Rafael Marini Ferreira<sup>4</sup>, Vera Lúcia Santos<sup>5</sup>, Ubiana de Cássia Mourão Silva<sup>5</sup>, Nalvo Franco Almeida<sup>3</sup>, Alessandro de Mello Varani<sup>4</sup>, Camila Carrião Machado Garcia<sup>1,6</sup>, João Carlos Setubal<sup>7,8</sup> & Leandro Marcio Moreira<sup>1,6\*</sup>

## ARTIGO 2

 **frontiers**  
in Microbiology

ORIGINAL RESEARCH  
published: 23 July 2018  
doi: 10.3389/fmicb.2018.01638



## Brazilian Ironstone Plant Communities as Reservoirs of Culturable Bacteria With Diverse Biotechnological Potential

Washington L. Caneschi<sup>1</sup>, Érica B. Felestrino<sup>1</sup>, Natasha P. Fonseca<sup>1</sup>, Morghana M. Villa<sup>2</sup>, Camila G. de C. Lemes<sup>1</sup>, Isabella F. Cordeiro<sup>1</sup>, Renata de A. B. Assis<sup>1</sup>, Angélica B. Sanchez<sup>1</sup>, Izadora T. Vieira<sup>2</sup>, Luciana H. Y. Kamino<sup>3</sup>, Flávio F. do Carmo<sup>3</sup>, Camila C. M. Garcia<sup>1,2</sup> and Leandro M. Moreira<sup>1,2\*</sup>

**ARTIGO 3**

*Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2017 , 17 (4), 1102-1115

RESEARCH ARTICLE

### ***Alcaligenes faecalis* associated with *Mimosa calodendron* rizosphere assist plant survival in arsenic rich soils**

Érica Barbosa Felestrino<sup>1</sup>, Renata de Almeida Barbosa Assis<sup>1</sup>, Camila Gracyelle de Carvalho Lemes<sup>1</sup>, Isabella Ferreira Cordeiro<sup>2</sup>, Natasha Peixoto Fonseca<sup>1</sup>, Morghana Marina Villa<sup>3</sup>, Izadora Tabuso Vieira<sup>3</sup>, Luciana Hiromi Yoshino Kamino<sup>4</sup>, Flávio Fonseca do Carmo<sup>4</sup>, and Leandro Marcio Moreira<sup>1,5\*</sup>

**ARTIGO 4**

*Herpetology Notes*, volume 12: 1083-1093 (2019) (published online on 30 October 2019)

### **Arsenic resistance in cultured cutaneous microbiota is associated with anuran lifestyles in the Iron Quadrangle, Minas Gerais State, Brazil**

Isabella Ferreira Cordeiro<sup>1</sup>, Natasha Peixoto Fonseca<sup>1</sup>, Érica Barbosa Felestrino<sup>1</sup>, Washington Luiz Caneschi<sup>1</sup>, Maria Rita Silvério Pires<sup>2</sup>, and Leandro Márcio Moreira<sup>1\*</sup>

- d) Somos uma equipe premiada em eventos científicos nacionais e internacionais com temas relacionados a esta proposta.
- 2022. Prêmio de 2° lugar MICHEL LE BRET pós-graduação, “Potencial biotecnológico de bactérias cultiváveis obtidas a partir da gruta Martimiano II, parque estadual do ibitipoca – MG, apresentado no 36° congresso brasileiro de espeleologia.
  - 2017. Menção Honrosa de melhor pôster "Comparative analysis of 69 complete Xanthomonadaceae genomes reveals seven effector protein families with diverse adaptive and evolutionary histories", VI Simpósio brasileiro de genética molecular de plantas - SBG.
  - 2017. Prêmio de melhor pôster "Comparative analysis of 69 complete Xanthomonadaceae genomes reveals seven effector protein families with diverse adaptive and evolutionary histories", IV Simpósio de microbiologia da UFMG.
  - 2017. Prêmio de melhor pôster "Metagenomics and biotechnological potential of bacterial isolates associated with canga caves of the iron quadrangle", II International Symposium on Biological Science (UFOP) Structural Biochemistry and Molecular Biolog.

- 2017. Prêmio de melhor pôster "Genômica comparativa de Xanthomonas como ferramenta para o desenvolvimento de diagnóstico molecular a partir de genes espécie-específicos", IV Simpósio de microbiologia da UFMG.
- 2016. Prêmio de melhor pôster "Comparative analysis of 69 complete Xanthomonadaceae genomes reveals seven effector protein families with diverse adaptive and evolutionary histories", III International symposium of microbiology and biotechnology UFV.
- 2016. Prêmio de terceiro melhor pôster "Dechloromonas sp. isolated from the endemic plant Mimosa calodendron: potential remediation for environments contaminated with arsenic", III International symposium of microbiology and biotechnology ufv.

e) Temos experiência na formação de mão de obra qualificada na área em questão (todas as informações disponíveis no repositório RIUFOP <https://www.repositorio.ufop.br/>)

Dr. Washington Luiz Caneschi  
Programa de pósgraduação em biotecnologia- UFOP  
Supervisor: Leandro Marcio Moreira

Dra. Érica Barbosa Felestrino  
Programa de pósgraduação em biotecnologia- UFOP  
Supervisor: Leandro Marcio Moreira

Dra. Camila Gracyelle de Carvalho Lemes  
Programa de pósgraduação em biotecnologia- UFOP  
Supervisor: Leandro Marcio Moreira

Dra. Isabella Ferreira Cordeiro  
Programa de pósgraduação em biotecnologia- UFOP  
Supervisor: Leandro Marcio Moreira

f) Temos material de divulgação científica sobre tema envolvendo o quadrilátero ferrífero.



Disponível em: <https://institutopristino.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Cartilha-Illhas-de-Ferro-Descobrimo-a-importancia-ambiental-dos-ecossistemas-em-cangas-ferruginosas.pdf>

---

**Equipe envolvida no projeto**

Prof. Dr. Leandro Marcio Moreira  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Responsável por toda a coordenação do projeto  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1607735201703873>

Prof. Dra. Camila Carrião Machado Garcia  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Auxílio com as análises genômicas comparativas  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6201516426270860>

Pós-doutoranda. Camila Gracyelle de Carvalho Lemes  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Auxílio com as análises genômicas comparativas  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4139780929954651>

Doutoranda. Camila Henriques de Paula Fernandes  
PPGBIOTEC Universidade Federal de Ouro Preto  
Sob supervisão do proponente  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9580922571694980>

Doutoranda. Ana Karla da Silva  
PPGBIOTEC Universidade Federal de Ouro Preto  
Sob supervisão do proponente  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1810380171128151>

2 alunos de Iniciação científica não selecionados ainda  
Sob supervisão do proponente

## Referências Bibliográficas

- Roeser, H., and Roeser, P. (2013). O Quadrilátero Ferrífero-MG, Brasil: Aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. *Rev Geonomos* 18, 33-37. doi: 10.18285/geonomos.v18i1.67.
- Jacobi, C.M., and Carmo, F.F. (2008). The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. *Ambio* 37(4), 324-326.
- Azevedo, Ú., and Machado, M. (2013). Geological and mining heritage of iron quadrangle, Minas Gerais - Characterization and strategies for education and geotourism. *Boletim Paranaense de Geociências*, 120-136.
- CECAV (2018). *Anuário estatístico do patrimônio espeleológico brasileiro* [Online]. Brasília Available: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/> [Accessed 04 de Julho 2018].
- Auler, A.S., and Piló, L.B. (Year). "Aspectos morfológicos e evolução de cavernas em minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.", in: *Encontro brasileiro de estudos do Instituto de Geociências*, ed. C.d. resumos: IG-USP), 8.
- Simmons, G.C. (1963). Canga Caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Bulletin of the National Speleological Society* 22(2), 66-72.
- Culver, D.C. (1982). *Cave Life: Evolution and Ecology*. Harvard University Press.
- Nunez-Montero, K., and Barrientos, L. (2018). Advances in Antarctic Research for Antimicrobial Discovery: A Comprehensive Narrative Review of Bacteria from Antarctic Environments as Potential Sources of Novel Antibiotic Compounds Against Human Pathogens and Microorganisms of Industrial Importance. *Antibiotics (Basel)* 7(4). doi: 10.3390/antibiotics7040090.
- Orcutt, B.N., Larowe, D.E., Biddle, J.F., Colwell, F.S., Glazer, B.T., Reese, B.K., et al. (2013). Microbial activity in the marine deep biosphere: progress and prospects. *Front Microbiol* 4, 189. doi: 10.3389/fmicb.2013.00189.
- Orellana, R., Macaya, C., Bravo, G., Dorochesi, F., Cumsille, A., Valencia, R., et al. (2018). Living at the Frontiers of Life: Extremophiles in Chile and Their Potential for Bioremediation. *Front Microbiol* 9, 2309. doi: 10.3389/fmicb.2018.02309.
- Rooney, D., Hutchens, E., Clipson, N., Baldini, J., and McDermott, F. (2010). Microbial Community Diversity of Moonmilk Deposits at Ballynamintra Cave, Co. Waterford, Ireland. *Microbial ecology* 60, 753-761. doi: 10.1007/s00248-010-9693-7.
- Davila-Ramos, S., Castelan-Sanchez, H.G., Martinez-Avila, L., Sanchez-Carbente, M.D.R., Peralta, R., Hernandez-Mendoza, A., et al. (2019). A Review on Viral Metagenomics in Extreme Environments. *Front Microbiol* 10, 2403. doi: 10.3389/fmicb.2019.02403.
- Gabriel, C., and Northup, D. (2013). "Microbial Ecology: Caves as an Extreme Habitat.", 85-108.
- Hershey, O.S., and Barton, H.A. (2018). "The Microbial Diversity of Caves," in *Cave Ecology*, eds. O.T. Moldovan, L. Kováč & S. Halse. (Cham: Springer International Publishing), 69-90.
- Rangseekaew, P., and Pathom-aree, W. (2019). Cave Actinobacteria as Producers of Bioactive Metabolites. *Frontiers in Microbiology* 10(387). doi: 10.3389/fmicb.2019.00387.
- Yasir, M. (2018). Analysis of bacterial communities and characterization of antimicrobial strains from cave microbiota. *Braz J Microbiol* 49(2), 248-257. doi: 10.1016/j.bjm.2017.08.005.
- Cheeptham, N., Kay, S., and Pathom-aree, W. (2012). Screening of Volcanic Cave Actinomycetes for Antimicrobial Activity Against Paenibacillus larvae, A Honey Bee Pathogen. *Chiang Mai Journal of Science* 40, 26.
- Ghosh, S., Kuisiene, N., and Cheeptham, N. (2017). The cave microbiome as a source for drug discovery: Reality or pipe dream? *Biochem Pharmacol* 134, 18-34. doi: 10.1016/j.bcp.2016.11.018.
- Pawlowski, A.C., Wang, W., Koteva, K., Barton, H.A., McArthur, A.G., and Wright, G.D. (2016). A diverse intrinsic antibiotic resistome from a cave bacterium. *Nature Communications* 7(1), 13803. doi: 10.1038/ncomms13803.

- 
- Montano, E., and Henderson, L. (2013). "Studies of Antibiotic Production by Cave Bacteria.", 109-130.
- Bhullar, K., Waglechner, N., Pawlowski, A., Koteva, K., Banks, E.D., Johnston, M.D., et al. (2012). Antibiotic Resistance Is Prevalent in an Isolated Cave Microbiome. *PLOS ONE* 7(4), e34953. doi: 10.1371/journal.pone.0034953.
- Lemes, C.G.C. et al (2021). 16S rRNA Gene Amplicon Sequencing Data of the Iron Quadrangle Ferruginous Caves (Brazil) Shows the Importance of Conserving This Singular and Threatened Geosystem. *Diversity* 2021, 13(10), 494; <https://doi.org/10.3390/d13100494>.
- Lemes, C.G.C. et al (2021). Potential Bioinoculants for Sustainable Agriculture Prospected from Ferruginous Caves of the Iron Quadrangle/Brazil. *Sustainability* 2021, 13(16), 9354; <https://doi.org/10.3390/su13169354>
- .