

# Capítulo 1

## *Perfil de resistência antimicrobiana de bactérias isoladas em cavernas ferríferas da Amazônia Oriental-Pará, Brasil*

*Mayara Maria de Souza<sup>1</sup>*

*Maiara Zonin<sup>2</sup>*

*Debora Marina Bandeira<sup>3</sup>*

*Jéssica Rosset<sup>4</sup>*

*Luana de Souza<sup>5</sup>*

*Fabiana Gisele da Silva Pinto<sup>6</sup>*

**Resumo:** As cavernas são ambientes geologicamente isolados, oligotróficos, predominando a quimiolitotrofia, e com capacidade de abrigar uma elevada diversidade microbiana que desempenham funções biológicas para sobrevivência nesses ambientes. Por serem ambientes pouco estudados, apresentam escassez de trabalhos na literatura relacionados ao perfil de resistência bacteriana no ambiente cavernícola. O objetivo desta pesquisa foi avaliar 53 bactérias isoladas de solo de duas cavernas ferríferas (GEM-1423 e GEM-1462) da Serra da Bocaina, localizada no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, no município de Canaã dos Carajás, PA, BR, quanto ao seu perfil de resistência à 12 antimicrobianos comerciais. A coleta ocorreu nas estações seca e chuvosa, período que compreende os meses de setembro de 2022 e março de 2023, respectivamente, e foram amostrados três diferentes pontos: zona fótica, penumbra e afótica de cada caverna. A suscetibilidade aos antimicrobianos foi avaliada por meio da técnica de disco-difusão e o perfil de resistência antimicrobiana foi avaliado de acordo com as recomendações do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2018). Os agentes antimicrobianos testados foram: Amoxicilina (10 µg), Ácido Nalidíxico (30 µg), Ampicilina (10 µg), Ciprofloxacina (5 µg), Cloranfenicol (30 µg), Estreptomicina (10 µg), Imipenem (10 µg), Gentamicina (10 µg), Norfloxacin (10 µg), Trimetoprima (5 µg), Sulfazotrim (25 µg) e Tetraciclina (30 µg). Os resultados revelaram uma variação no perfil de resistência antimicrobiana, sendo mais elevada na estação chuvosa (92,8%) em comparação com a estação seca (68,7%) em ambas as cavernas. Cerca de 80% das bactérias demonstraram resistência a pelo menos dois antimicrobianos. Os isolados bacterianos apresentaram resistência elevada aos antimicrobianos Ampicilina, Amoxicilina e Trimetoprima. Os resultados obtidos evidenciam a presença de genes de resistência a antimicrobianos nas bactérias cavernícolas e a investigação propõe que a resistência observada, nesse contexto, seja intrínseca e que tais microrganismos desenvolveram adaptações ao ambiente cavernícola, sugerindo uma possível evolução direcionada pela pressão seletiva do ambiente.

**Palavras-chave:** Cavernas ferríferas. Antimicrobianos. Resistência bacteriana.

<sup>1</sup> Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)/Cascavel - PR <https://orcid.org/0009-0000-0444-1442>

<sup>2</sup> Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)/Cascavel - PR <https://orcid.org/0009-0007-2460-1379>

<sup>3</sup> Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI)/ Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)/Cascavel - PR <https://orcid.org/0000-0001-5956-7210>

<sup>4</sup> Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)/Cascavel - PR <https://orcid.org/0000-0002-8348-0649>

<sup>5</sup> Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)/Cascavel - PR <https://orcid.org/0000-0002-0851-2161>

<sup>6</sup> Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)/Cascavel - PR <https://orcid.org/0000-0002-0486-8486>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil reúne algumas das maiores formações ferríferas mundiais, dentre elas destaca-se as formações ferríferas dos Campos Ferruginosos no Pará, que se tornaram grande alvo de estudo nos últimos anos. São caracterizadas por conterem depósitos de minerais de ferro, com condições ambientais peculiares que contribuem para evolução de microrganismos presentes nesse ecossistema, pesquisas a respeito dessa temática descrevem uma microbiota rica, com grande diversidade e alto potencial para auxiliarem no desenvolvimento microbiológico aliado com a biotecnologia (Çandiroğlu; Güngör, 2020).

Tratando-se de desenvolvimento microbiológico, um dos maiores produtos é a descoberta de antimicrobianos que tem grande sucesso, sendo seu uso clínico o mais significativo da história (Ambrožič; Petrič; Pašić, 2019). Todavia, o uso irresponsável desses medicamentos contribui para o aumento de resistência bacteriana, diminuindo sua eficácia.

Assim, bactérias ambientais, especificamente de ambientes cavernícolas, tornam-se uma fonte importante para desenvolvimento de compostos bioativos devido a sua capacidade de adaptação em ambientes extremófilos. A extensa presença de bactérias ambientais resistentes a antimicrobianos representa um indicador relevante da produção dessas substâncias, conforme evidenciado por estudos sobre a prevalência generalizada de resistência a antibióticos em bactérias do ambiente (D'Costa et al., 2006; Nodwell, 2007).

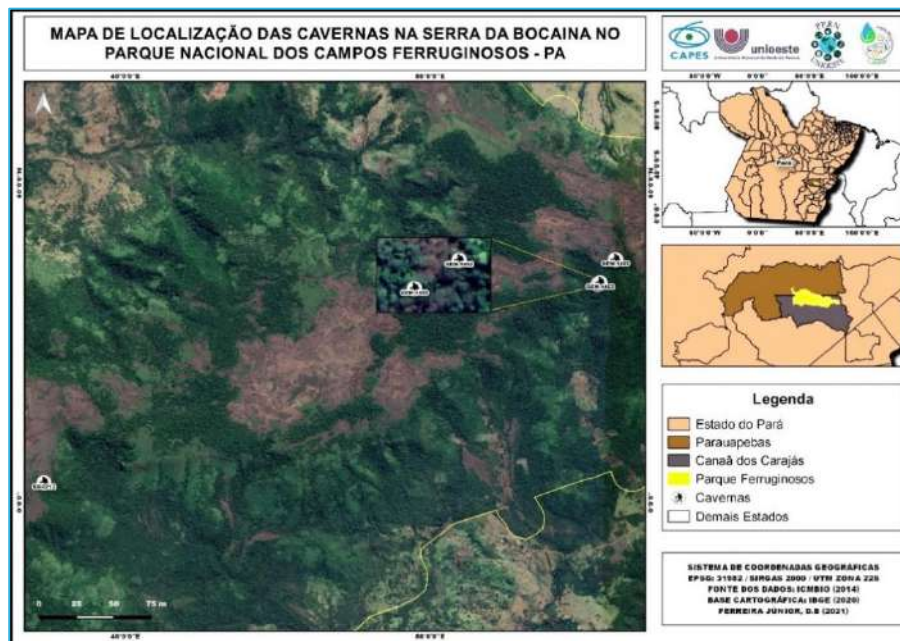
Desvendar o potencial dessas bactérias nos dá um ponto de partida para desenvolvimento de novos compostos antimicrobianos. Neste contexto, foram avaliados o perfil de resistência a antimicrobianos de bactérias isoladas de solo, nas estações seca e chuvosa, de duas cavernas ferríferas da Serra da Bocaina GEM-1423 e GEM-1462, localizada no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, no município de Canaã dos Carajás, Pará, Brasil.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo foi a Serra da Bocaina, localizada no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, no município de Canaã dos Carajás, Pará. Com base em dados secundários do Relatório de Diagnóstico e Análise de Relevância existem cerca de 235 cavernas nesta região (Piló et al., 2014). Foram selecionadas duas cavernas de relevância máxima, de litologia jaspilito/canga GEM-1423 (6°18'49.27"S, 49°53'35.06"O) e jaspilito GEM-1462 (6°18'59.18"S, 49°53'41.71"O), considerando as características de litologia, morfologia, hidrologia, presença ou ausência de matéria orgânica e presença de solo, informações estas indicadas no mapa topográfico, ficha geo e bioespeleologia.

**Figura 1-** Mapa de localização das cavernas GEM-1423 e GEM-1462 localizadas na Serra da Bocaina, Parque Nacional dos Campos Ferruginosos



Fonte: FERREIRA, JÚNIOR D.B, (2021).

## 2.2. COLETA DAS MOSTRAS

A coleta ocorreu sob a licença do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) nº 86153-1 na estação seca e chuvosa, período esse que compreende os meses de setembro de 2022 e março de 2023, respectivamente. As amostras foram coletadas na camada superficial da caverna, nos primeiros 10 cm. A caverna foi classificada em zonas, de acordo com Trajano & Bichuette (2006), coletando-se 100g de solo de três pontos em cada zona, ou seja, três na zona afótica (ausência de luz), três na disfótica (penumbra) e três na entrada, totalizando 9 pontos de amostragem. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos estéreis (ziplock), com o auxílio da pá de jardinagem estéril, sendo limpa a cada coleta com álcool 70%, identificadas com o nome/número da caverna, número da amostra, data da coleta e nome do coletor responsável e armazenadas em caixa térmica a 4°C para a análise.

## 2.3. ISOLAMENTO E PRESERVAÇÃO DE MICRORGANISMO

No laboratório de Microbiologia e Biotecnologia (LAMIBI) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), as amostras de solo foram peneiradas, homogêneas, retiradas subamostras (10 g) e enriquecidas em frascos contendo 90 mL de meio salino mineral (MSM), em solução salina NaCl a 0,85% em 90 mL de água destilada. As amostras foram incubadas em agitador orbital a 150 rpm, 28°C por 24 horas. Após esse período, foram realizadas diluições em série, sendo retiradas alíquotas de 100 µL das diluições de 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-3</sup> e semeadas nas superfícies dos meios Luria Bertani (LB), ISP<sub>2</sub> (Pridham et al., 1957) e Batata-Dextrose-Ágar (BDA) com o auxílio da alça de Drigalski. As placas foram incubadas à 28°C no período de 24 a 48 h. As linhagens microbianas foram divididas por caverna e zona, identificadas como IM (GEM-1423) e SC

(GEM-1462) com o sufixo da estação chuvosa (C), estação seca (S) e sufixo da zona fótica (F), penumbra (P) ou afótica (A) e número nominal crescente e posteriormente conservadas em meio Ágar Estoque e à  $-80^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.4. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS ISOLADOS

Os isolados foram crescidos em meio LB líquido à  $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 24h e, em seguida, foi realizada a coloração de Gram. Os isolados foram observados em microscópio óptico com aumento de 100 X e caracterizados com base em sua morfologia e coloração.

#### 2.5. AVALIAÇÃO DO PERFIL DE RESISTÊNCIA A ANTIMICROBIANOS

O perfil de resistência antimicrobiana foi avaliado de acordo com as recomendações do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) (CLSI, 2018). Os antimicrobianos testados foram: Amoxicilina (10  $\mu\text{g}$ ), Ácido Nalidíxico (30  $\mu\text{g}$ ), Ampicilina (10  $\mu\text{g}$ ), Ciprofloxacina (5  $\mu\text{g}$ ), Cloranfenicol (30  $\mu\text{g}$ ), Estreptomicina (10  $\mu\text{g}$ ), Imipenem (10  $\mu\text{g}$ ), Gentamicina (10  $\mu\text{g}$ ), Norfloxacina (10  $\mu\text{g}$ ), Trimetoprima (5  $\mu\text{g}$ ), Sulfazotrim (25  $\mu\text{g}$ ) e Tetraciclina (30  $\mu\text{g}$ ). Os resultados obtidos foram comparados com os dados da tabela padrão do documento M100-S17 do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2018).

Os isolados bacterianos selecionados foram retirados do estoque, com auxílio de alça bacteriológica estéril, e semeados no meio sólido Ágar LB por estriamento descontínuo e incubados por 24h a  $30^{\circ}\text{C}$ . Após esse período, foi realizado o inóculo com colônias isoladas e resuspendidas em 5ml de caldo Mueller Hinton (CMH) a fim de se obter uma turvação correspondente a 0,5 da escala de McFarland. Essa avaliação foi feita por meio da técnica de disco-difusão de Kirby-Bauer (Bauer et al., 1966) que consiste em após a homogeneização do inóculo, foi introduzido um suabe estéril dentro do tubo, e em seguida, este foi comprimido contra a parede do tubo para a remoção do excesso de líquido. A inoculação foi feita em forma de estrias contínuas na superfície do ágar em três direções, girando a placa em ângulo de  $60^{\circ}$  após cada estria. Antes da aplicação dos discos, as placas semeadas foram deixadas em cima da bancada por aproximadamente cinco minutos, para permitir que o excesso de umidade da superfície do ágar fosse absorvido. Os discos foram retirados do freezer uma hora antes de sua aplicação e deixados em temperatura ambiente. A aplicação destes foi realizada com auxílio de uma pinça estéril para evitar contaminação. Todos os discos foram pressionados suavemente para o contato total com a superfície do ágar. Após 24h de incubação, as placas foram analisadas para verificar a presença de contaminantes e a ocorrência de halos de inibição. A leitura foi realizada com auxílio de um paquímetro. Os testes foram realizados em triplicata.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram isolados um total de 183 microrganismos das amostras de solo cavernícola nas duas coletas. Na primeira coleta, no período seco (setembro 2022), obteve-se 50 isolados da caverna GEM-1462 e 32 isolados da caverna GEM-1423. Na segunda coleta, que compreende o período chuvoso (março 2023), foram isolados 44 microrganismos na caverna GEM-1462 e 57 na caverna GEM-1423.

As amostras de bactérias foram selecionadas aleatoriamente, de duas cavernas distintas, totalizando 53 bactérias, sendo que 52,8% foram classificadas como Gram-positivas e 47,2% Gram-negativas. Dentre as cepas Gram-positivas, 25 apresentaram forma de bacilo e 3 foram cocos. Já dentre as cepas Gram-negativas, 24 apresentaram forma de bacilo e apenas 1 isolado apresentou forma de cocos, conforme a tabela 1.

**Tabela 1.** Número de bactérias isoladas e suas características morfológicas

Isolados bacterianos das cavernas GEM-1423 e GEM-1462 Estação Seca e Chuvosa		
Morfologia bacteriana	Número de Isolados	%
Bacilo Gram-Negativo	24	47,05
Bacilo Gram-Positivo	25	45,09
Coco Gram-Negativo	1	1,96
Coco Gram-Positivo	3	5,88
<b>Total:</b>	<b>53</b>	<b>100</b>

Neste estudo, foi realizada uma análise do perfil de resistência a 12 antimicrobianos dos isolados bacterianos cavernícolas, ao longo de duas diferentes estações: seca e chuvosa. A escolha de realizar a análise em duas diferentes estações foi fundamentada na necessidade de compreender melhor a dinâmica da suscetibilidade antimicrobiana em ambientes com variações sazonais significativas. A estação seca e chuvosa representa condições ambientais distintas, que podem influenciar a ecologia microbiana em diferentes aspectos. Os dados obtidos foram organizados com base nas características morfológicas das amostras, baseadas na técnica de coloração de Gram, visto que, dados taxonômicos ainda estão em processo de análise.

**Tabela 2.** Perfil de Resistência bacteriana dos isolados da Caverna GEM-1462 e GEM-1423 aos antimicrobianos testados

Bactérias testadas	Nº de amostras	%	Número de bactérias resistentes aos antimicrobianos											
			AMO	NAL	AMP	CLO	CIP	EST	GEN	IPM	NOR	TRI	TET	SUT
<b>ESTAÇÃO SECA</b>														
<b>GEM-1462</b>														
Bacilo Gram-Positivo	11	68,75	4	2	6	3	1	1	-	4	-	4	2	4
Bacilo Gram-Negativo	5	31,25	3	1	2	1	-	-	-	1	-	3	1	1
Coco Gram-Positivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coco Gram-Negativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>100</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>5</b>
<b>ESTAÇÃO CHUVOSA</b>														
<b>GEM-1462</b>														
Bacilo Gram-Positivo	7	50	6	2	4	-	1	-	-	2	1	6	2	3
Bacilo Gram-Negativo	4	28,57	4	1	4	-	1	-	1	3	1	3	1	-
Coco Gram-Positivo	2	14,28	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-
Coco Gram-Negativo	1	7,14	1	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>ESTAÇÃO SECA</b>														
<b>GEM-1423</b>														
Bacilo Gram-Positivo	1	11,11	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1
Bacilo Gram-Negativo	8	88,88	4	-	3	1	-	1	1	4	1	2	2	2
Coco Gram-Positivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coco Gram-Negativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>ESTAÇÃO CHUVOSA</b>														
<b>GEM-1423</b>														
Bacilo Gram-Positivo	6	42,85	2	1	3	-	1	1	-	3	2	6	2	-
Bacilo Gram-Negativo	7	50	4	-	3	-	1	1	-	3	1	5	-	-
Coco Gram-Positivo	1	7,14	-	1	1	-	1	-	-	-	1	1	1	1
Coco Gram-Negativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

AMO: Amoxicilina; NAL: Ácido nalidixico; AMP: Ampicilina; CIP: Ciprofloxacina; CLO: Cloranfenicol; EST: Estreptomicina; IPM: Imipenem; GEN: Gentamicina; NOR: Norfloxacina; TRI: Trimetoprima; SUT: Sulfazotrim; TET: Tetraciclina.

Os resultados revelaram semelhanças entre os perfis de resistência dos isolados, colaborando com informações valiosas sobre a dinâmica das bactérias nas cavernas em diferentes condições ambientais. No que diz respeito à caverna GEM-1462 durante a estação seca, um total de 16 bactérias foram testadas. Dentre essas, 43,7% bactérias demonstraram um perfil de resistência a Amoxicilina e Trimetoprima e 50% à Ampicilina, enquanto 31,2% demonstraram resistência ao Sulfazotrim, e Imipenem, esses foram os antimicrobianos aos quais as bactérias apresentaram maior resistência.

Foi observado que, durante a estação seca, as bactérias provenientes da caverna GEM-1462 demonstraram suscetibilidade à Ciprofloxacina e Norfloxacina, ambos pertencentes ao grupo de antimicrobianos das quinolonas, assim como à Gentamicina,

que faz parte da classe dos aminoglicosídeos. Esses resultados sugerem que, apesar da prevalência de resistência a diversos antimicrobianos, a classe das quinolonas e aminoglicosídeos demonstraram sua eficácia frente aos isolados da caverna GEM-1462.

Na caverna GEM-1462, estação chuvosa, foi observado maior resistência entre as bactérias avaliadas. Um total de quatorze bactérias foram testadas, sendo que verificada uma maior resistência a Amoxicilina e Trimetoprima (85,7%), seguido da Ampicilina (71,4%). No entanto, a Ciprofloxacina, o Cloranfenicol e a Gentamicina mostraram-se eficazes contra a maioria das bactérias isoladas desta caverna. Esses resultados indicam uma persistência na resistência aos antimicrobianos de maior espectro e a eficácia contínua das quinolonas e aminoglicosídeos.

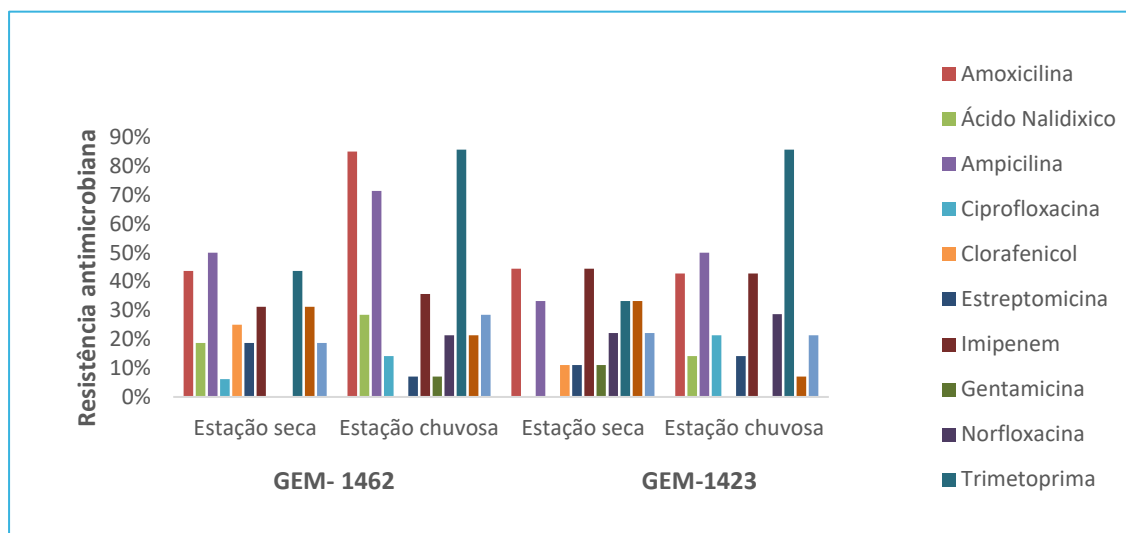
Observou-se uma tendência no perfil de resistência aos mesmos antimicrobianos, em ambas as estações. Sendo assim, 68,7% das bactérias da estação seca apresentaram resistência a pelo menos 2 antimicrobianos, enquanto na estação chuvosa, esse número foi maior, sendo 92,8%. Essa variação de estação pode ser sugestiva de que as bactérias são mais adaptadas a ambientes úmidos, estando correlacionado com a expressão de genes que conferem resistência a antimicrobianos.

Da Caverna GEM-1423 na estação seca, um total de 9 bactérias foram testadas, 44,4% das bactérias apresentaram resistência tanto à Amoxicilina quanto à Imipenem, enquanto 33,3% mostraram resistência à Trimetoprima e Ampicilina. Na Caverna GEM-1423 durante a estação seca, todas as bactérias exibiram suscetibilidade ao Ácido Nalidíxico e Ciprofloxacina, e a maioria a Gentamicina, Cloranfenicol e Estreptomicina. Na estação chuvosa, observou-se uma prevalência de resistência quando comparada a estação seca. Das quatorze bactérias testadas, 42,8% demonstraram resistência à Amoxicilina e 50% à Ampicilina, além disso, 85,7% bactérias foram resistentes à Trimetoprima. As bactérias da Caverna GEM-1423 da estação chuvosa apresentaram suscetibilidade à Cloranfenicol e Gentamicina, semelhantes ao observado na estação seca.

Um ambiente cavernícola é um objeto de estudo importante para compreensão de como ambientes que não foram expostos ao uso de antimicrobianos humanos, fornecem uma diversidade genética de resistência intrigante para a compreensão da prevalência de genes de resistência e sua relação com a evolução.

De modo geral, 80% das bactérias são resistentes a pelo menos dois antimicrobianos (Figura 2), apresentando um padrão de resistência semelhante ao observado por Çandiroğl & Güngö (2020) na caverna Parsik, na Turquia. Ambas as cavernas do nosso estudo, apresentaram elevada resistência à Trimetoprima, semelhante ao observado por Bhullar et al. (2012), em 60% das bactérias isoladas de caverna da Lechuguilla, localizada no Estado do Novo México (EUA), e em isolados de cavernas de Ônix dos Estados Unidos (Lavoie, 2017). Além disso, as bactérias também apresentaram elevada resistência a Ampicilina e a Amoxicilina, ambos pertencentes à classe das penicilinas, corroborando as descobertas de Bhullar et al. (2012) no Estado do Arizona, e Turrini et al. (2020), na caverna do rio Yumugi, na Nova Guiné. Na nossa pesquisa, foi observado semelhança entre os isolados de ambas as cavernas, nas duas estações, quanto ao perfil de resistência aos antimicrobianos Trimetoprima, Amoxicilina e Ampicilina, corroborando com informações valiosas sobre a dinâmica das bactérias em diferentes condições ambientais.

**Figura 2.** Comparação dos perfis de resistência antibacteriana entre os isolados nas estações seca e chuvosas das cavernas ferríferas GEM-1462 e GEM-1423 do Pará, Brasil



Os elevados índices de resistência a antimicrobianos observados pode estar relacionado com o ambiente, visto que cavernas ferríferas têm como característica ser um ambiente muito suscetível as ações de intemperismo, alto índice de umidade além do depósito do minério. Lavoie (2017) traz como hipótese que essas características das cavernas agregam estresse adicional, resultando no aumento da produção de antimicrobianos para reduzir a competição ou aumentar a predação.

Em contraste, as bactérias apresentaram maior suscetibilidade a classe das quinolonas (Ciprofloxacina e Norfloxacin) e aminoglicosídeo (Gentamicina), que mantiveram sua eficácia ao longo das estações, sugerindo uma resistência menos impactante a esses antimicrobianos, independentemente das variações sazonais.

Após a análise das duas cavernas, observou-se diferenças relevantes em relação à resistência antibacteriana dos isolados bacterianos testados, nas estações seca e chuvosa. Foi observado que as bactérias, em ambas as cavernas apresentam maior perfil de resistência na estação chuvosa. Provavelmente, esse comportamento está relacionado ao isolamento de maior número de cepas bacterianas durante a estação chuvosa, indicando uma possível correlação entre o aumento da diversidade microbiana e a expressão de genes de resistência. Além disso, a umidade elevada e as condições de temperatura durante a estação chuvosa, podem proporcionar um ambiente propício para o desenvolvimento e disseminação de bactérias resistentes a antimicrobianos, contribuindo assim para o aumento do perfil de resistência observado nesse período.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, a investigação do perfil de resistência antibacteriana em ambientes de cavernas ferríferas, oferece insights valiosos sobre a adaptação microbiana em ambientes extremos. Os padrões de resistência e suscetibilidade observados nas cavernas ao longo das estações, seca e chuvosa, destacam a complexidade das interações entre os microrganismos e as variações ambientais sazonais. A descoberta de diferentes perfis de resistência bacteriana aos antimicrobianos de amplo espectro em ambientes inóspitos,

destaca a capacidade adaptativa das bactérias em ambientes desafiadores e reforça a importância da vigilância e pesquisa contínuas para compreender a dinâmica da resistência antimicrobiana em contextos diversos. Além disso, a eficácia contínua das quinolonas e aminoglicosídeos, em ambos os ambientes, sugere um potencial para o desenvolvimento de novos compostos antimicrobianos. A análise da microbiota em ambientes extremos como cavernas ferríferas contribui para a compreensão da diversidade microbiana, e oferece perspectivas promissoras para a pesquisa biotecnológica. Esse estudo ressalta a relevância da conservação desses ambientes naturais, não apenas pela sua importância geológica, mas também pelo potencial que oferecem para a descoberta de soluções antimicrobianas inovadoras.

## REFERÊNCIAS

- [1] AMBROŽIČ AVGUŠTIN, Jerneja; PETRIČ, Patricia; PAŠIĆ, Lejla. Screening the cultivable cave microbial mats for the production of antimicrobial compounds and antibiotic resistance. **International Journal of Speleology**, v. 48, n. 3, p. 9, 2019.
- [2] BAUER, A.W.; KIRBY, E.; SHERRIS, E.M.; TURK, M. Antibiotic by standardized single disk method. **American Journal of Clinical Pathology**, 45, p.493-496, 1996
- [3] BHULLAR, Kirandeep et al. Antibiotic resistance is prevalent in an isolated cave microbiome. **PLoS One**, v. 7, n. 4, p. e34953, 2012.
- [4] ÇANDIROĞLU, B.; GÜNGÖR, N. The Biotechnological Potentials of Bacteria Isolated from Parsik Cave, Turkey: Measuring the enzyme profiles, antibiotic resistance and antimicrobial activity in bacteria. **Johnson Matthey Technology Review**, v. 64, n. 4, p. 466-479, 2020.
- [5] CLSI. Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing – Twenty-Eighth Edition: M100. CLSI, Wayne, PA, USA, 2018
- [6] LAVOIE, K., RUHUMBIKA, T., BAWA, A., WHITNEY, A., & DE ONDARZA, J. High levels of antibiotic resistance but no antibiotic production detected along a gypsum gradient in great Onyx Cave, KY, USA. **Diversity**, 9, n. 12, 1-10, 2017.
- [7] PILÓ, L. B. **Diagnóstico e análise de relevância das cavernas da Serra da Bocaina**. Belo Horizonte: Carste Consultores Associados, 179, 2014.
- [8] TRAJANO, E. & BICHUETTE, M. Biologia subterrânea: introdução. **Redespeleo**: São Paulo, 2006
- [9] TURRINI, P., TESCARI, M., VISAGGIO, D., PIROLO, M., LUGLI, G. A., VENTURA, M., VISCA, P. The microbial community of a biofilm lining the wall of a pristine cave in Western New Guinea. **Microbiological Research**, 241, 126584, 2020.