

OCORRÊNCIA DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E SUA RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS EM SOLOS DA SUB-BACIA DO RIO MAROMBAS - SC

OCCURRENCE OF THERMOTOLERANT COLIFORMS AND THEIR ANTIBIOTIC RESISTANCE IN SOILS OF THE MAROMBAS RIVER SUB-BASIN - SC

Fernanda Pucci Rosá¹

<https://orcid.org/0009-0003-6266-2683>

Thaís Fernandes Ronsani²

<https://orcid.org/0000-0003-2334-2815>

Leticia Gonçalves Camargo³

<https://orcid.org/0009-0009-0418-1746>

Joni Stolberg⁴

<https://orcid.org/0000-0002-5720-3162>

Nei Kavaguichi Leite⁵

<https://orcid.org/0000-0002-7732-8122>

Sonia Purin da Cruz⁶

<https://orcid.org/0000-0002-7805-2789>

Submetido: 27/08/2024 / Aprovado: 25/03/2025 / Publicado: 08/09/2025.

Resumo

A resistência antimicrobiana é um dos principais problemas de saúde em nível mundial, pois gera doenças de tratamento dificultado e, muitas vezes, óbitos. Bactérias resistentes são encontradas em ambientes hospitalares, água e alimentos, mas sua ocorrência em solos permanece inexplorada. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a ocorrência de coliformes termotolerantes e sua resistência a três antibióticos em solos da Sub-Bacia do rio Marombas – SC. As amostras foram coletadas durante 12 meses entre 2022 e 2023, e a concentração de coliformes termotolerantes foi determinada por diluição seriada e plaqueamento em Ágar MacConkey. A resistência a antibióticos foi determinada por antibiograma. Os dados foram analisados pelos testes de Kruskal-Wallis e Dunn. As maiores concentrações de coliformes foram observadas no rio Correntes (347.779), enquanto no rio das Pedras foram registrados os menores valores (11.735). As maiores

¹Engenheira Agrônoma. Mestranda em Ciência do Solo na Universidade do Estado de Santa Catarina – Lages, SC. feep.rosa@gmail.com

²Graduanda em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos – Curitibanos, SC. tatahronsani@gmail.com

³Graduanda em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos – Curitibanos, SC. leticiagcamargo2001@gmail.com

⁴Doutor em Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos – Curitibanos, SC. jon.i.stolberg@ufsc.br

⁵Doutor em Ciências. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Trindade – Florianópolis, SC. nei.leite@ufsc.br

⁶Ph.D. em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos – Curitibanos, SC. s.purin@ufsc.br

porcentagens de isolados resistentes ocorreram em relação à ampicilina, chegando a 80%, e foram obtidas mesmo na ausência de fezes no ambiente, o que sugere ampla e frequente contaminação do solo. Conclui-se que a contaminação do solo por coliformes é alta, bem como a incidência de isolados resistentes a antibióticos, o que pode comprometer a qualidade ambiental gerando problemas de saúde animal e humana.

Palavras-chave: Resistência antimicrobiana. Contaminação do solo. Saúde Única.

Abstract

Antimicrobial resistance is one of the main health problems worldwide, as it leads to difficult-to-treat diseases and often deaths. Resistant bacteria are found in hospital environments, water and food, but their occurrence in soil remains unexplored. The present work aimed to evaluate the occurrence of thermotolerant coliforms and their resistance to three antibiotics in soils of the Marombas river Sub-Basin – SC. Samples were collected over 12 months between 2022 and 2023, and the concentration of thermotolerant coliforms was determined by serial dilution and plating on MacConkey Agar. Antibiotic resistance was determined by antibiogram. Data were analyzed using the Kruskal-Wallis and Dunn tests. The highest concentrations of coliforms were observed in Correntes river (347.779), while the lowest values were recorded in Pedras river (11.735). The highest percentages of resistant isolates occurred in relation to ampicillin, reaching 80%, and were obtained even in the absence of feces in the environment, which suggests widespread and frequent soil contamination. It is concluded that soil contamination, as well as the incidence of antibiotic-resistant isolates, is high, what can compromise environmental quality, leading to animal and human health problems.

Keywords: Antimicrobial resistance. Soil contamination. One Health.

1. INTRODUÇÃO

O solo é o ambiente de maior riqueza e diversidade microbiana do mundo, uma vez que mais de 50.000 espécies microbianas, em média, são encontradas em cada grama de solo (Van Der Heijden; Bardgett; Van Straalen, 2008). O ambiente edáfico é um reservatório de microrganismos que são transmitidos para animais e humanos principalmente por exposição direta ou indireta, bem como ingestão mediada por plantas (Wall, Nielsen; Six, 2025; Brevik *et al.*, 2020; Samaddar *et al.*, 2021). Hipóteses recentes sugerem que esse processo é fundamental para a composição da microbiota intestinal e ruminal, que regula inúmeros processos digestórios e fisiológicos (Banerjee; Van Der Heijden, 2023). Pesquisas apontam, inclusive, que a microbiota intestinal em desequilíbrio está diretamente ligada à Doença de Alzheimer (Cammann *et al.*, 2023). Portanto, é consenso entre inúmeros institutos de pesquisa e cientistas que os microrganismos do solo são considerados elementos fundamentais na construção da saúde única, e desequilíbrios na microbiota edáfica geram grandes impactos na saúde de plantas, animais e humanos (Banerjee; Van Der Heijden, 2023).

Uma das fontes mais comuns de alteração negativa da microbiota do solo é a contaminação por coliformes termotolerantes, que podem ser aportados principalmente por dejetos de animais de criação, águas residuárias ou esgoto não tratado (Schneider; Nadvorný; Schmidt, 2009). A ocorrência de coliformes termotolerantes está intimamente associada a inúmeros microrganismos patogênicos como bactérias, vírus e protozoários, principalmente, que estão

ligados não somente a doenças intestinais, mas também a problemas com alto grau de complicações como hepatite e meningite (Santamaría; Toranzos, 2003).

Apesar de a ocorrência de coliformes no solo ser abordada em alguns estudos científicos, uma vertente dessa linha de pesquisa permanece praticamente inexplorada, que é a resistência de coliformes termotolerantes a antibióticos no solo. No Brasil, existem apenas cinco trabalhos publicados a respeito desse tema (Pereira; Neves; Drozdowicz, 1996; Pereira; Neves; Drozdowicz, 1999; Pereira; Neves; Gava, 2000; Silva *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2021) e os dados alertam para o fato de que a presença de bactérias resistentes é frequente nos solos avaliados. Em determinados locais do Cerrado, a porcentagem de bactérias resistentes a estreptomicina e cloranfenicol chegou a 80%, um número extremamente elevado (Pereira; Neves; Drozdowicz, 1996). Silva *et al.* (2005) tiveram como objetivo identificar bactérias resistentes a antibióticos em solo de cerrado, em São Paulo. A maior porcentagem de isolados que exibiram resistência foi de 87%, contra ampicilina. Aproximadamente 50% dos isolados foram resistentes à tetraciclina, enquanto menos de 2% dos isolados apresentaram resistência à ciprofloxacina. Dos 267 isolados obtidos nessa pesquisa, todos apresentaram resistência a pelo menos um antibiótico, uma informação que alerta para a frequência desse fenômeno em regiões onde não há aparente fonte de contaminação microbiológica como esgoto não tratado, aplicação de dejetos animais ou irrigação com água contaminada. Já Oliveira *et al.* (2021) foram os únicos autores a estudarem coliformes em solos com diferentes usos agrícolas, e observaram que os maiores percentuais de resistência ocorreram em relação à ampicilina.

Um aspecto preocupante é que os microrganismos sejam carreados do solo para poços, lagos e rios, contribuindo negativamente para a contaminação dos recursos hídricos, principalmente em áreas com declive acentuado, como é o caso da Bacia do rio Marombas, em Santa Catarina (Ten Caten; Safanelli; Ruiz, 2015). Esse risco é aumentado em áreas com criação de animais, já que os dejetos se acumulam no solo, sustentando tais populações microbianas que serão, em seguida, transportadas para os rios pela ação da chuva ou até mesmo pela erosão (Al Salah; Laffite; Poté, 2019; Urseler *et al.*, 2019). Entretanto, nenhum trabalho desenvolvido no Brasil até o momento aborda a ocorrência de bactérias resistentes em solos próximos a cursos d'água, e que podem contribuir para o aporte desses contaminantes na água de rios.

Como consequência, caso pessoas ou animais consumam água de má qualidade e sejam acometidos por uma infecção causada por bactérias multirresistentes, nenhum tratamento baseado em antibióticos surtirá efeito e, nos casos mais graves, a evolução da infecção culminará em óbito (Woolhouse *et al.*, 2016). De fato, estatísticas apontam que cerca de 700 mil pessoas morrem a cada ano devido a infecções provocadas por bactérias multirresistentes. Segundo estimativas da Organização Mundial de Saúde, esse número se elevará para 10 milhões em 2050, e será a principal causa de morte na população humana, superando câncer e doenças cardíacas (Tang; Millar; Moore, 2023; WHO, 2019). Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi determinar a ocorrência de coliformes termotolerantes resistentes a antibióticos em amostras de solo nas margens de quatro rios na Bacia Hidrográfica do rio Marombas, em Santa Catarina. As hipóteses testadas (H_0) foram de que: 1) a quantidade de coliformes termotolerantes é similar em todos os locais avaliados; 2) a porcentagem de isolados resistentes é semelhante em todos os pontos amostrais.

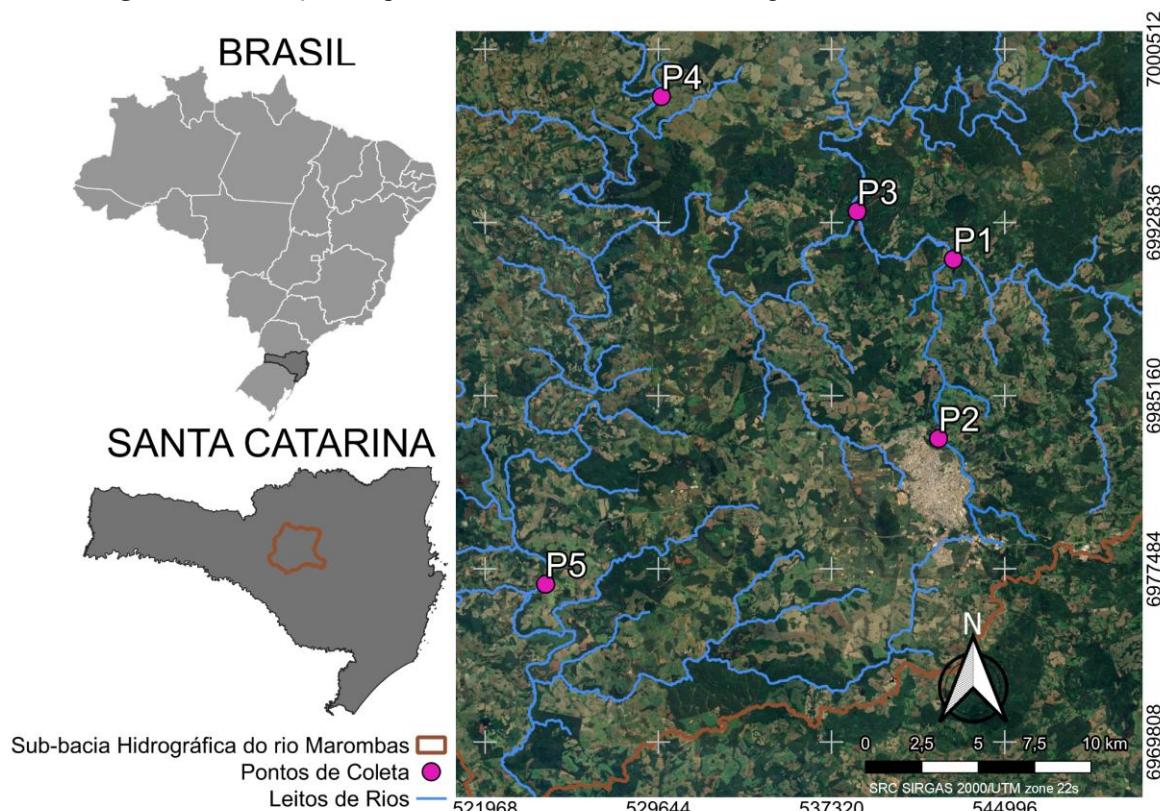
2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo esteve compreendida na Mesorregião Serrana Catarinense, e foram estudados os seguintes rios: rio Marombas, rio Correntes, rio das Pedras e rio Pessegueirinho.

Todos esses rios integram a Bacia do rio Marombas, que é uma sub-bacia do rio Canoas (Leite *et al.*, 2018), inserida na Região Hidrográfica 4 - Planalto de Lages, que é a região hidrográfica do Estado de Santa Catarina com maior extensão territorial.

As coletas de solo foram realizadas a cada dois meses, entre dezembro de 2022 e outubro de 2023. O ponto 1 fica próximo à área de captação de água pela Companhia de Abastecimento Público (CASAN), região na qual o rio Marombas recebe aporte de pequenos e poucos afluentes, e a qualidade é considerada adequada para abastecimento público. O ponto 2 corresponde ao rio Pessegueirinho, cujo curso em sua totalidade ocorre no município de Curitibanos, e os pontos de coleta 3 e 4 foram definidos nas margens do rio das Pedras e do rio Correntes. Todos esses três rios são tributários do rio Marombas que desaguam entre os pontos 1 e 5. O ponto 5 localiza-se no município de Brunópolis, após o rio Marombas receber o aporte de outros rios, e antes de sua confluência com o rio Canoas (Figura 1). Os locais onde o solo é predominantemente destinado a atividades pecuárias são os Pontos 2 e 4. Nos demais pontos, o uso é direcionado a atividades agrícolas, há remanescentes florestais ou também atividades pecuárias, mas nenhuma delas se sobrepõe à outra, de maneira predominante.

Figura 1. Localização dos pontos de coleta na Sub-bacia hidrográfica do rio Marombas, SC.



P1: Rio Marombas, próximo à área de captação de água pela Companhia de Abastecimento Público (CASAN); P2: Rio Pessegueirinho; P3: Rio das Pedras; P4: Rio Correntes; P5: Rio Marombas, próximo à confluência com o rio Canoas. **Fonte:** Autores, 2025.

Em cada ponto de coleta, foram identificados três locais onde houvesse a ocorrência de dejetos fecais de animais silvestres ou domésticos, quando presentes. Na ausência de fezes, o solo foi coletado em locais aleatórios. Em cada um desses três locais, foi coletada uma porção de solo (sub-amostra) de aproximadamente 50 g para a quantificação e isolamento de coliformes

termotolerantes, bem como para a determinação da resistência antimicrobiana. Cada sub-amostra de solo foi considerada como uma repetição, para fins de análise laboratorial e estatística. Inicialmente, a camada superficial contendo cobertura vegetal, fezes e/ou serapilheira foi removida por raspagem com auxílio de uma pá. Em seguida, foi coletada a camada de 5 cm de profundidade do solo, sendo acondicionada em sacos plásticos. O material permaneceu em condições de refrigeração com gelo e em caixa de isopor até o início das análises em laboratório.

A quantificação de coliformes termotolerantes foi realizada por diluição seriada (Pereira; Neves; Drozdowicz, 1999) e plaqueamento em ágar MacConkey. Determinou-se também a umidade do solo, e após a contagem de colônias de coliformes termotolerantes, foi quantificado o número de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por grama de solo seco.

Duas colônias bacterianas de cada sub-amostra foram selecionadas para a realização do antibiograma (CLSI, 2019). Cada colônia foi transferida para um tubo contendo caldo Mueller Hinton e a suspensão resultante foi utilizada para confecção das placas de antibiograma. O teste foi realizado seguindo-se os padrões estabelecidos pelo Manual do Instituto Americano CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) com o método de difusão por discos (CLSI, 2019) avaliando-se a resistência à amoxicilina, ciprofloxacina e tetracicilina. O antibiograma também foi conduzido com a cepa padrão *Escherichia coli* ATCC 25922. Dessa maneira, determinou-se o percentual de isolados resistentes a cada um dos antibióticos testados.

O teste de Kruskal-Wallis foi usado para determinar o efeito das coletas ou locais sobre os valores de medianas. Esse teste não paramétrico foi selecionado visto que os dados não apresentaram distribuição normal mesmo após transformações. O teste de comparação “post-hoc” de Dunn foi utilizado para separação das medianas, quando diferenças significativas foram encontradas pelo teste de Kruskal-Wallis (Ogle, 2017). As análises estatísticas foram realizadas no software SigmaPlot 12.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

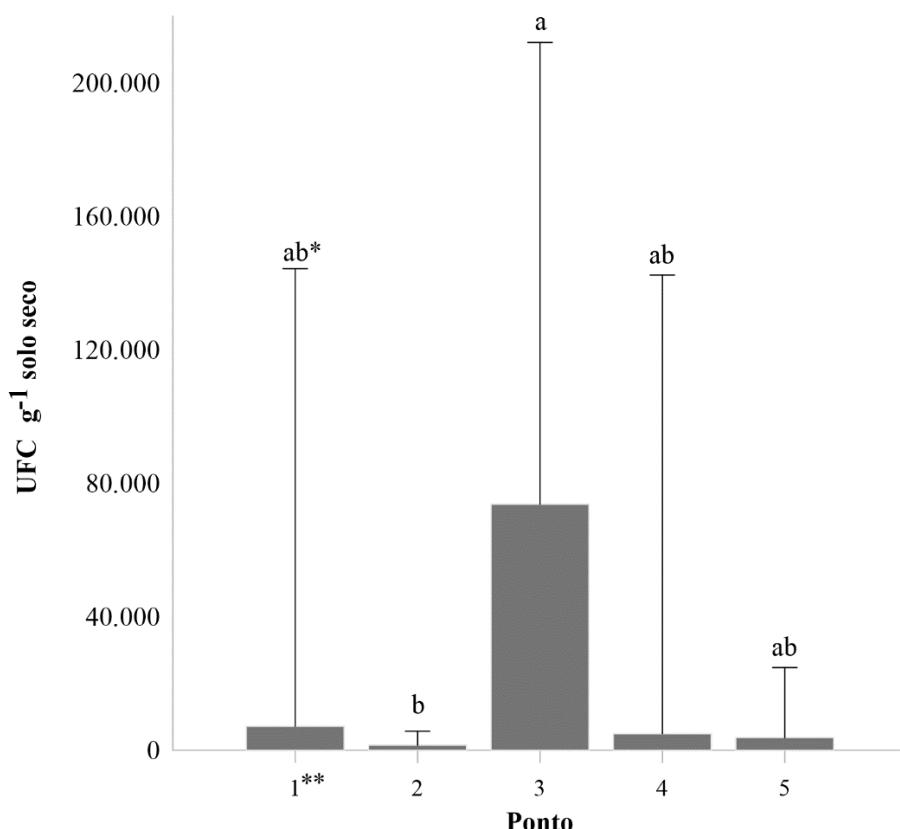
Os valores médios de coliformes termotolerantes observados nas amostras de solo variaram entre 11.735, no ponto 3, e 347.779, no ponto 4 (o que representa uma variação de 1.774% (Tabela 1). A maior amplitude foi registrada no ponto 4, onde os números variaram entre 160 e 2.369.668 UFC g⁻¹ de solo seco. O teste estatístico conduzido com os valores de medianas aponta que os solos na proximidade do rio Correntes são os locais com maior quantidade de coliformes termotolerantes no solo - H (4, n = 90) = 14,49, p = 0,006 (Figura 2). Os resultados permitem afirmar que a primeira hipótese testada é rejeitada, pois ocorrem diferenças em relação ao número de coliformes entre os pontos estudados.

Tabela 1 - Média aritmética, valores mínimos e máximos, e média geométrica de coliformes termotolerantes (UFC g⁻¹ de solo seco) em solos de diferentes regiões da Sub-Bacia do rio Marombas (n = 18, baseado em seis coletas com três repetições em cada ponto).

Locais de coleta	Média aritmética	Amplitude (Mínimo-Máximo)	Média geométrica
Ponto 1 (n = 18)*	219.653,9	196-1.620.370	15.885,7
Ponto 2 (n = 18)	49.019,9	0-343.643	7.609,8
Ponto 3 (n = 18)	11.735,7	0-147.300	2.794,7
Ponto 4 (n = 18)	347.779,1	160-2.369.668	52.380,1
Ponto 5 (n = 18)	104.447,4	0-677.966	19.093,6

*P1: Rio Marombas, próximo à área de captação de água pela Companhia de Abastecimento Público (CASAN); P2: Rio Pessegueirinho; P3: Rio das Pedras; P4: Rio Correntes; P5: Rio Marombas, próximo à confluência com o rio Canoas. **Fonte:** Autores, 2025

Figura 2. Valores medianos de isolados de coliformes termotolerantes resistentes em cinco pontos de coleta localizados em rios da Sub-Bacia do rio Marombas.



* = Medianas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelos testes de Kruskal-Wallis e Dunn. **P1: Rio Marombas, próximo à área de captação de água pela Companhia de Abastecimento Público (CASAN); P2: Rio Pessegueirinho; P3: Rio das Pedras; P4: Rio Correntes; P5: Rio Marombas, próximo à confluência com o rio Canoas.

Fonte: Autores, 2025.

Em relação à época de coleta, as médias aritméticas variaram entre 20.661 (em agosto de 2023) e 264.265 (em junho de 2023). As médias geométricas apontam a mesma tendência de dados (Tabela 2).

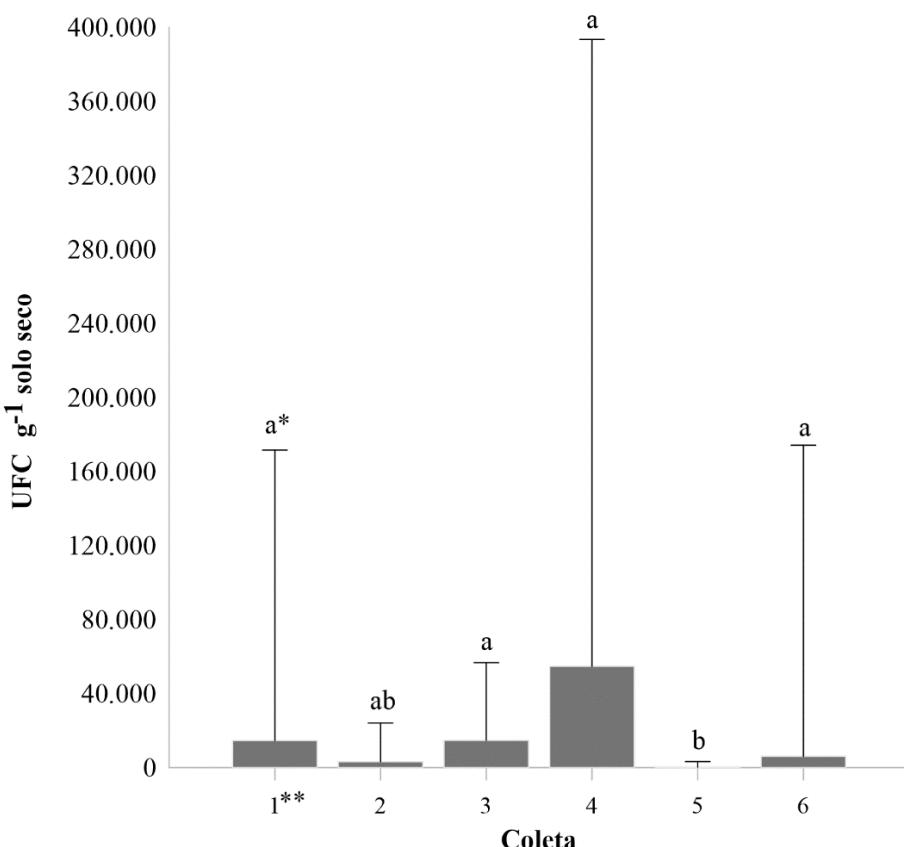
Tabela 2 - Média aritmética, valores mínimos e máximos, e média geométrica de coliformes termotolerantes ($UFC g^{-1}$ de solo seco) em solos de diferentes regiões da Sub-Bacia do rio Marombas.

Datas de coleta	Média aritmética	Amplitude (Mínimo-Máximo)	Média geométrica
Coleta 1 (n = 15)*	248.655,4	252-2.229.299	20.794,7
Coleta 2 (n = 15)	42.311,0	0-319.489	6.109,6
Coleta 3 (n = 15)	59.650,1	1.006-335.946	16.055,3
Coleta 4 (n = 15)	264.265,6	0-1.620.370	29.525,1
Coleta 5 (n = 15)	20.661,8	0-190.448	3.089,0
Coleta 6 (n = 15)	228.975,7	0-2.369.668	17.574,0

*Coleta 1: dezembro/2022; Coleta 2: fevereiro/2023; Coleta 3: abril/2023; Coleta 4: junho/2023; Coleta 5: Agosto/2023; Coleta 6: Outubro/2023. **Fonte:** Autores, 2025.

O teste de separação de medianas revelou que em agosto de 2023 foram detectados os menores valores de coliformes no solo em relação às outras quatro coletas (Figura 3). As diferenças entre os valores rankeados foram estatisticamente diferentes pelos testes de Kruskal-Wallis e Dunn, com valores de H ($5, n = 90$) = 15,79, $p = 0,007$.

Figura 3. Valores medianos de isolados de coliformes termotolerantes em solos de diferentes regiões da Sub-Bacia do rio Marombas.



* = Medianas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelos testes de Kruskal-Wallis e Dunn. **Coleta 1: dezembro/2022; Coleta 2: fevereiro/2023; Coleta 3: abril/2023; Coleta 4: junho/2023; Coleta 5: Agosto/2023; Coleta 6: Outubro/2023. **Fonte:** Autores, 2025.

A Tabela 3 apresenta os dados de resistência a antibióticos nos cinco pontos de coleta, causando a rejeição da segunda hipótese do estudo, uma vez que houve diferenças entre os locais estudados. A maior porcentagem de isolados resistentes foi observada em relação à ampicilina. Dentre os 90 isolados de coliformes termotolerantes das amostras de solo da Bacia do rio Marombas, 75% foram resistentes a pelo menos um dos três antibióticos testados. A resistência foi observada principalmente em relação à ampicilina (em média, 75% dos isolados). Os maiores percentuais foram registrados no Ponto 1, que corresponde ao rio Marombas no ponto de captação para abastecimento público, e os menores percentuais foram encontrados no Ponto 5, às margens do rio Marombas em Brunópolis - $H = 9,92$; $p = 0,042$ (Figura 4).

Já a resistência à ciprofloxacina foi observada em apenas um isolado, coletado em dezembro de 2022 no rio Correntes. Apenas um isolado bacteriano foi classificado como resistente à tetraciclina, e esse isolado foi encontrado no Ponto 1 (rio Marombas), também em dezembro de

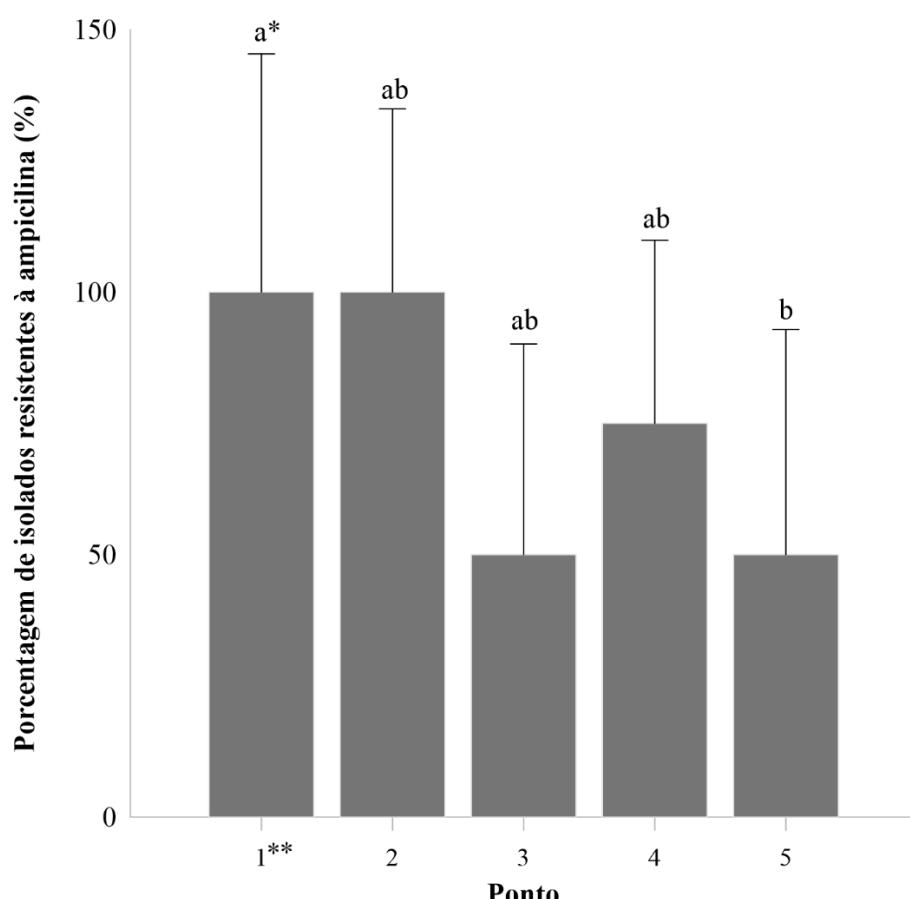
2022. Não houve a ocorrência de isolados resistentes a esses antibióticos em qualquer outra época do ano.

Tabela 3 - Percentual médio (valores mínimos-máximos) de isolados de coliformes termotolerantes resistentes a três antibióticos em cinco pontos de coleta localizados em rios da Sub-Bacia do rio Marombas.

Ponto/ Antibiótico	Percentual médio (mín-máx) de isolados resistentes a:		
	Ampicilina	Ciprofloxacina	Tetracicilina
P1 (n = 18)*	80,6 (0-100)	0,0 (0-0)**	2,8 (0-50)**
P2 (n = 18)	66,7 (0-100)	0,0 (0-0)	0,0 (0-0)
P3 (n = 18)	52,8 (0-100)	0,0 (0-0)	0,0 (0-0)
P4 (n = 18)	69,4 (0-100)	2,8 (0-50)	0,0 (0-0)
P5 (n = 18)	41,7 (0-100)	0,0 (0-0)	0,0 (0-0)

*P1: Rio Marombas, próximo à área de captação de água pela Companhia de Abastecimento Público (CASAN); P2: Rio Pessegueirinho; P3: Rio das Pedras; P4: Rio Correntes; P5: Rio Marombas, próximo à confluência com o rio Canoas. **Fonte:** Autores, 2025.

Figura 4. Valores medianos de isolados de coliformes termotolerantes resistentes à ampicilina em cinco pontos de coleta localizados em rios da Sub-Bacia do rio Marombas.



* = Medianas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelos testes de Kruskal-Wallis e Dunn a 5% de probabilidade de erro. **P1: Rio Marombas, próximo à área de captação de água pela Companhia de Abastecimento Público (CASAN); P2: Rio Pessegueirinho; P3: Rio das Pedras; P4: Rio Correntes; P5: Rio Marombas, próximo à confluência com o rio Canoas. **Fonte:** Autores, 2025.

A Tabela 4 apresenta os dados de isolados resistentes de acordo com as coletas realizadas. Dezembro de 2022 foi a única coleta na qual foram encontrados isolados resistentes aos três antibióticos. Isolados resistentes à ampicilina foram observados em todas as coletas, e as porcentagens foram relativamente altas, variando entre 46,7 e 80,0%. O teste de comparação de médias não apontou diferenças significativas entre coletas ($H=10,53$; $p=0,061$).

Tabela 4 - Percentual médio de isolados de coliformes termotolerantes resistentes a três antibióticos em seis datas de coletas realizadas em solo próximo a rios da Sub-Bacia do Marombas.

Coleta/ Antibiótico	Percentual médio (mín-máx) de isolados resistentes a:		
	Ampicilina	Ciprofloxacina	Tetracicilina
Coleta 1 (n = 15) *	56,7 (0-100)	3,3 (0-50)	3,3 (0-50)*
Coleta 2 (n = 15)	80,0 (0-100)	0,0 (0-0)	0,0 (0-0)
Coleta 3 (n = 15)	80,0 (0-100)	0,0 (0-0)	0,0 (0-0)
Coleta 4 (n = 15)	63,3 (0-100)	0,0 (0-0)	0,0 (0-0)
Coleta 5 (n = 15)	46,7 (0-100)	0,0 (0-0)	0,0 (0-0)
Coleta 6 (n = 15)	46,7 (0-100)	0,0 (0-0)	0,0 (0-0)

*Coleta 1: dezembro/2022; Coleta 2: fevereiro/2023; Coleta 3: abril/2023; Coleta 4: junho/2023; Coleta 5: agosto/2023; Coleta 6: outubro/2023. **Fonte:** Autores, 2025.

Na Tabela 5, são apresentados os percentuais médios de isolados resistentes a três antibióticos em diferentes tipos de fezes. Não foram encontrados isolados resistentes em fezes de equinos. O maior percentual foi observado em fezes de caninos (100%), enquanto os valores de isolados resistentes variaram entre 60 e 65% nas fezes de bovinos, capivara e animais silvestres. Isolados resistentes à ciprofloxacina foram registrados apenas em fezes de bovinos. Já isolados resistentes à tetraciclina foram encontrados apenas em fezes de capivara. É importante destacar que, mesmo na ausência de fezes no solo, todos os isolados de coliformes encontrados apresentaram resistência à ampicilina.

Tabela 5 - Percentual médio de isolados de coliformes termotolerantes resistentes a três antibióticos em fezes de diferentes tipos de animais coletadas em solo próximo a rios da Sub-Bacia do rio Marombas.

Fezes/ Antibiótico	Percentual médio de isolados resistentes a:		
	Ampicilina	Ciprofloxacina	Tetracicilina
Bovinos (n = 42)	60,7	1,2	0,0
Capivara (n = 26)	65,4	0,0	1,9
Silvestre (n = 13)	65,4	0,0	0,0
Aves domésticas (n = 5)	40,0	0,0	0,0
Caninos (n = 1)	100,0	0,0	0,0
Equinos (n = 1)	0,0	0,0	0,0
Ausente (n = 2)	100,0	0,0	0,0

Fonte: Autores, 2025.

O presente trabalho apresenta, em contexto pioneiro no país, os primeiros dados relacionados à ocorrência de coliformes termotolerantes em solos próximos a cursos de rios. Essas informações são essenciais para melhor entendimento da contaminação microbiológica dos sistemas edáficos, um fator determinante da qualidade ambiental visto que microrganismos do solo podem ser transportados para os rios e impactar negativamente a qualidade dos recursos hídricos, consumidos tanto por animais como por populações do interior.

A quantidade média de coliformes foi constante ao longo do ano, independente do mês de coleta e do local, o que indica contaminação uniforme e constante próximo a todos os rios estudados. A contaminação por coliformes termotolerantes está relacionada ao depósito de fezes no solo, sejam elas oriundas de animais silvestres ou domésticos que circulam nessas áreas (Jiang

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.8193>

V. 22, N. 1 (2025)

 Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

et al., 2007). Alternativas para diminuir a ocorrência de coliformes no solo compreendem a restrição do acesso de animais às margens dos rios, porém essa seria uma possibilidade apenas no caso de se tratar de animais domésticos, ou de criação, onde há proprietários que podem cercar as áreas de entorno dos rios. Esse seria o cenário nos pontos 4 e 5. Já no caso dos pontos 1, 2 e 3, cujos locais de coleta caracterizam-se por áreas onde as margens dos rios possuem certo remanescente de matas ciliares, e animais silvestres estão presentes, seria praticamente impossível impedir a circulação e defecação dos mesmos próximos a esses rios.

Já em relação à resistência antimicrobiana, o aspecto mais preocupante observado no presente estudo foi a resistência à ampicilina. Isolados resistentes a esse antibiótico foram observados em todas as coletas, e no solo de todos os cinco locais. Dados em relação à ocorrência desses isolados em solos não submetidos ao aporte de dejetos suínos ou de aves, bem como de efluentes, são escassos no Brasil. A maioria dos trabalhos é realizada em solos onde há aporte de materiais dessa natureza e naturalmente espera-se uma ocorrência mais alta de bactérias resistentes. Três trabalhos feitos com solo utilizado para fins agrícolas avaliaram a resistência apenas à estreptomicina e cloranfenicol (Pereira; Neves; Drozdowicz, 1996; Pereira; Neves; Drozdowicz, 1999; Pereira; Neves; Gava, 2000). Já Silva *et al.* (2005) registraram que 87% dos isolados de bactérias Gram-negativas do solo exibiram resistência à ampicilina, valor semelhante ao ocorrido no presente estudo nas coletas 2 e 3. O percentual de isolados resistentes à ciprofloxacina foi semelhante (1,77%). Porém, em relação à tetraciclina, os autores observaram que 50% dos isolados exibiram resistência, enquanto no presente trabalho a média de isolados resistentes foi de menos de 3%, e apenas na coleta 1. De maneira geral, os valores de trabalhos realizados em solos agrícolas assemelham-se aos observados na presente pesquisa, sugerindo que a contaminação do solo por bactérias resistentes é um aspecto frequente no Brasil.

O trabalho de Oliveira *et al.* (2021) foi desenvolvido em solos de sistema agroflorestal, preparo convencional, e sem cultivo, e nele os autores isolaram bactérias Gram-negativas e avaliaram sua resistência a antibióticos. Os valores de isolados resistentes à ampicilina foram muito semelhantes entre os locais estudados, variando entre 41 e 56%, aspecto similar ao observado no presente estudo. Isso sugere que, em relação a esse antibiótico, a presença de isolados resistentes é bastante disseminada e ocorre independentemente do uso do solo. Esse fato provavelmente está relacionado ao fato de a ampicilina pertencer à classe das penicilinas, antibióticos que foram os primeiros a serem descobertos e utilizados na medicina, e para os quais naturalmente existe uma frequência maior de resistência (Urban-Chmiel *et al.*, 2022). Oliveira *et al.* (2021) não observaram isolados resistentes à ciprofloxacina, o que também ocorreu na maioria das coletas realizadas no presente trabalho. Já a porcentagem de isolados resistentes à tetraciclina foi mais alta, variando entre 0 e 17,24%.

Outro aspecto a ser destacado no presente trabalho é a ocorrência de isolados resistentes em solos com diferentes tipos de fezes na superfície. Isolados resistentes a mais de um antibiótico foram encontrados apenas em fezes de gado e de capivara. É importante ressaltar que, mesmo na ausência de fezes na superfície do solo, foram encontrados coliformes resistentes à ampicilina, o que indica a ampla distribuição desses microrganismos no solo. A comparação desses dados com demais publicações no Brasil não é possível, pois não há registros de outros estudos dessa natureza. Entretanto, esse é um ponto que merece atenção, visto que fezes animais são a principal via de aporte de microrganismos em solos florestais e entornos de rios. Identificar quais fezes representam maiores fontes de contaminação por bactérias resistentes é um aspecto importante para ter conhecimento de quais animais representam um risco maior para a contaminação microbiológica do solo e, como consequência, de outras esferas do ambiente.

A ocorrência de microrganismos resistentes no solo é um risco para bovinos, equinos e ovinos. Ao alimentarem-se por pastejo das plantas rentes ao solo, os animais também acabam ingerindo partículas de solo que contêm microrganismos resistentes. A ingestão dessas bactérias é um risco para a saúde animal, pois elas podem multiplicar-se no trato gastrointestinal e gerar infecções graves (Osiemo; Ogendi; M'erimba, 2019) ou podem instalar-se no intestino e realizar trocas de genes de resistência com bactérias da comunidade intestinal nativa, gerando desequilíbrio da microbiota (Schjørring; Krogfelt, 2011; Huddleston, 2014).

Os coliformes do solo podem ser percolados para os rios através da ação da chuva, e contaminarem os recursos hídricos. Na área de estudo do presente trabalho, os rios são usados por maior parte da população para consumo animal e irrigação de hortaliças, pastagens e também culturas de grãos. A qualidade da água que pode ser consumida por animais é determinada, por outros fatores, pela concentração de coliformes termotolerantes (Brasil, 2005). Assim, solos contaminados contribuem negativamente para rios contaminados e água de pior qualidade. A ingestão de água contaminada por animais está intimamente ligada a gastroenterite, amebíase, hepatite e giardíase, dentre outros problemas (De Marguerite Nombot-Yazenguet *et al.*, 2024; Egan *et al.*, 2024).

O uso de água contaminada para fins agrícolas de irrigação também depende da concentração de coliformes termotolerantes (Brasil, 2005), e caso os produtores usem água contaminada para essa finalidade, podem contaminar as plantas com bactérias. Isso é preocupante principalmente no caso de produtos hortícolas que são consumidos *in natura*, se não forem submetidos a procedimentos de higienização corretamente. Além disso, a maior parte da água de irrigação é aportada no solo agrícola. Se ela apresentar coliformes resistentes, inevitavelmente esses microrganismos serão aportados no solo, onde permanecerão e se multiplicarão. Assim, a qualidade e funções ecossistêmicas dos solos agrícolas podem ser comprometidas, gerando impactos negativos em seus componentes bióticos. Do ponto de vista de saúde única, portanto, a contribuição do solo como reservatório de coliformes tolerantes (a maioria deles sendo resistentes a antibióticos) deve ser mais bem investigada, uma vez que o solo é alicerce de produção dos sistemas agrícolas, florestais, e sustenta a maior diversidade microbiana do planeta (Van Der Heijden; Bardgett; Van Straalen, 2008).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos no entorno da Sub-Bacia do rio Marombas apresentam significativa contaminação por coliformes termotolerantes. A maior parte dos isolados exibe resistência à ampicilina e pode impactar severamente a qualidade dos recursos hídricos e solos destinados à produção agrícola na região do Planalto Catarinense.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC (Edital de chamada pública FAPESC Nº 03/2022).

6. REFERÊNCIAS

AL SALAH, Dhafer Mohammed M.; LAFFITE, Amandine; POTÉ, John. Occurrence of bacterial markers and antibiotic resistance genes in sub-Saharan rivers receiving animal farm wastewaters. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 14847, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51421-4>

BANERJEE, Samiran; VAN DER HEIJDEN, Marcel G. A. Soil microbiomes and one health. **Nature Reviews Microbiology**, v. 21, n. 1, p. 6-20, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00779-w>

BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf

BREVIK, Eric C.; SLAUGHTER, Lindsey; SINGH, Bal Ram; STEFFAN, Joshua J.; COLLIER, David; BARNHART, Paul; PEREIRA, Paulo. Soil and human health: current status and future needs. **Air, Soil and Water Research**, v. 13, 2020. <https://doi.org/10.1177/1178622120934441>

CAMMANN, Davis; LU, Yimei; CUMMINGS, Melika J.; ZHANG, Mark L.; CUE, Joan Manuel; DO, Jenifer; EBERSOLE, Jeffrey; CHEN, Xiangning; OH, Edwin C.; CUMMINGS, Jeffrey L.; CHEN, Jingchun. Genetic correlations between Alzheimer's disease and gut microbiome genera. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 5258, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31730-5>

CLSI, Clinical and Laboratory Standards Institute. **Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing**. 29th ed. CLSI Supplement M100. Wayne, PA, 2019.

DE MARGUERITE NOMBOT-YAZENGUET, Marina Prisca; DOTÉ, Joël Wilfried; KOYAWEDA, Giscard Wilfried; ZEMINGUI-BEMBETE, Philippe Armand; SELEKON, Benjamin; VICKOS, Ulrich; MANIRAKIZA, Alexandre; NAKOUNE, Emmanuel; GOUANDJIKA-VASILACHE, Ionela; KOMAS, Narcisse Patrice Joseph. Hepatitis E outbreak in the health district of Bocaranga-Koui, Central African Republic, 2018–2019. **BMC Infectious Diseases**, v. 24, n. 1, p. 215, 2024. <https://doi.org/10.1186/s12879-024-09116-3>

EGAN, Siobhon; BARBOSA, Amanda D.; FENG, Yaoyu; XIAO, Lihua; RYAN, Una. Rabbits as reservoirs: An updated perspective of the zoonotic risk from Cryptosporidium and Giardia. **Veterinary Parasitology**, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2024.110151>

HUDDLESTON, Jennifer R. Horizontal gene transfer in the human gastrointestinal tract: potential spread of antibiotic resistance genes. **Infection and Drug Resistance**, p. 167-176, 2014. <https://doi.org/10.2147/IDR.S48820>

JIANG, Sunny C.; CHU, Weiping; OLSON, Betty H.; HE, Jian-Wen; CHOI, Samuel; ZHANG, Jenny; LE, Joanne Y.; GEDALANGA, Phillip B. Microbial source tracking in a small southern California urban watershed indicates wild animals and growth as the source of fecal bacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 76, p. 927-934, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1047-0>

LEITE, Nei K.; STOLBERG, Joni; CRUZ, Sonia P. da; TAVELA, Alexandre de O.; SAFANELLI, José L.; MARCHINI, Helder R.; EXTERKOETTER, Ronan; LEITE, Giovana M. C.; KRUSCHE, Alex V.; JOHNSON, Mark S. Hydrochemistry of shallow groundwater and springs used for potable supply in Southern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, p. 1-17, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7254-4>

OGLE, Derek H. **FSA**: fisheries stock analysis. R package version 0.8.14, 2017.

OLIVEIRA, Raul Vítor Ferreira de; GALLO, Margareth Borges Coutinho; SOUSA, Oscarina Viana de; RIBEIRO, Álef Vasconcelos; LIMA, Tatiana Salata; LIMA, Cleidiane Gomes; SILVA, Vítor Paulo Andrade; CARNEIRO, Fernando Ferreira; RODRIGUES FILHO, Édson; NOBRE, Crisiana de Andrade. Tolerance to glyphosate and antibiotic resistance in gram-negative bacteria isolated from soils of different agricultural management systems in Ceará, Brazil. **Gaia Scientia**, v. 15, n. 2, p. 45-60, 2021. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2021v15n2.53654>

OSIEMO, Mercy Mandere; OGENDI, George Morara; M'ERIMBA, Charles. Microbial quality of drinking water and prevalence of water-related diseases in Marigat Urban Centre, Kenya. **Environmental Health Insights**, v. 13, p. 1178630219836988, 2019. <https://doi.org/10.1177/1178630219836988>

PEREIRA, João Carlos; NEVES, Maria Cristina Prata; DROZDOWICZ, Adam. **Quantificações das populações de bactérias em geral, de bactérias resistentes a antibióticos e de actinomicetos em solos**. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1996. 21p. (EMBRAPA- CNPAB. Documentos, 26).

PEREIRA, João Carlos; NEVES, Maria Cristina Prata; DROZDOWICZ, Adam. Dinâmica das populações bacterianas em solos de cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 801-811, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000500011>

PEREIRA, João Carlos; NEVES, Maria Cristina Prata; GAVA, Carlos Alberto Tuão. Efeito do cultivo da soja na dinâmica da população bacteriana, em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1183-1190, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600015>

SAMADDAR, Sandipan; KARP, Daniel S.; SCHMIDT, Radomir; DEVARAJAN, Naresh; MCGARVEY, Jeffery A.; PIRES, Alda F. A.; SCOW, Kate. Role of soil in the regulation of human and plant pathogens: soils' contributions to people. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 376, n. 1834, p. 20200179, 2021. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0179>

SANTAMARÍA, Johanna; TORANZOS, Gary A. Enteric pathogens and soil: a short review. **International Microbiology**, v. 6, p. 5-9, 2003. doi.org/10.1007/s10123-003-0096-1

SCHJØRRING, Susanne; KROGFELT, Karen A. Assessment of bacterial antibiotic resistance transfer in the gut. **International Journal of Microbiology**, v. 2011, n. 1, p. 312956, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/312956>

SCHNEIDER, Roger Neto; NADVORNY, André; SCHMIDT, Verônica. Perfil de resistência antimicrobiana de isolados de *Escherichia coli* obtidos de águas superficiais e subterrâneas, em área de produção de suínos. **Biotemas**, v. 22, n. 3, p. 11-17, 2009. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2009v22n3p11>

SILVA, Paulo da; CARNEIRO, Ana Maria Machado; CARLONI, Maria Claudia; MEDEIROS, Marta Inês Cazentini; SILVA, Jaqueline Otero; RECHE, Silvia Helena Chinarelli; ERRERA, Maria Clarice; NEME, Suzel Nogueira. Isolamento, caracterização e resistência a antimicrobianos de bactérias Gram-negativas aeróbias e anaeróbias facultativas de amostras de solo. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 64, n. 2, p. 245-251, 2005.

TANG, Ka Wah Kelly; MILLAR, Beverley C.; MOORE, John E. Antimicrobial resistance (AMR). **British Journal of Biomedical Science**, v. 80, p. 11387, 2023. <https://doi.org/10.3389/bjbs.2023.11387>

TEN CATEN, Alexandre; SAFANELLI, José L.; RUIZ, Luis F. C. Mapeamento multitemporal da cobertura de terra, por meio de árvore de decisão, na bacia hidrográfica do rio Marombas-SC. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 1198-1209, 2015. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p1198-1209/2015>

URBAN-CHMIEL, Renata; MAREK, Agnieszka; STEPIEŃ-PYŚNIAK, Dagmara, WIECZOREK, Kinga; DEC, Marta; NOWACZEK, Anna; OSEK, Jacek. Antibiotic resistance in bacteria - A review. **Antibiotics**, v. 11, n. 8, p. 1079, 2022. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11081079>

URSELER, Noelia Luján; BACHETTI, Romina Andrea; DAMILANO, Gabriela; MORGANTE, Verónica; INGARAMO, Rosa Natalia; SAINO, Verónica; MORGANTE, Carolina Andrea. Calidad microbiológica y usos del agua subterránea en establecimientos agropecuarios del centro-sur de Córdoba, Argentina. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v. 35, n. 4, p. 839-848, 2019. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.06>

VAN DER HEIJDEN, Marcel G. A.; BARDGETT, Richard D.; VAN STRAALEN, Nico M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, v. 11, n. 3, p. 296-310, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>

WALL, Diana H.; NIELSEN, Uffe N.; SIX, Johan. Soil biodiversity and human health. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 69-76, 2015. <https://doi.org/10.1038/nature15744>

WHO, World Health Organization. **Safer Water, Better Health: Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health**. Geneva: World Health Organization, 2019.

WOOLHOUSE, Mark; WAUGH, Catriona; PERRY, Meghan Rose; NAIR, Harish. Global disease burden due to antibiotic resistance—state of the evidence. **Journal of Global Health**, v. 6, n. 1, 2016. <https://doi.org/10.7189/jogh.06.010306>