

ACÇÃO ANTIBACTERIANA DE FRAÇÕES DE VINAGRE EM TECIDOS COM TECNOLOGIA MICRO-DRY: FATOR ESTIMULADOR PARA AS ATIVIDADES FÍSICAS E SOCIAIS

ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF VINEGAR FRACTIONS IN MICRO-DRY TECHNOLOGY FABRICS: A STIMULATING FACTOR FOR PHYSICAL AND SOCIAL ACTIVITIES

ACCIÓN ANTIBACTERIANA DE FRACCIONES DE VINAGRE EN TEJIDOS CON TECNOLOGÍA MICRO-DRY: UN FACTOR ESTIMULADOR PARA LAS ACTIVIDADES FÍSICAS Y SOCIALES

Gabriele Garcia Tolfo¹, Viviane Francelina Luz², Kênia Maria Rezende Silva³, Nara Cristina Souza Araújo⁴, Adenilda Cristina Honorio-França⁵, Eduardo Luzia França⁶, Aron Carlos de Melo Cotrim⁷

DOI: 10.54899/dcs.v23i89.5224

Recibido: 11/03/2026 | Aceptado: 06/04/2026 | Publicación en línea: 10/04/2026.

RESUMO

A Organização Mundial de Saúde reconhece o exercício físico como instrumento para mitigar sintomas de ansiedade, depressão e melhorar o bem-estar cognitivo e social. Estudos recentes apoiam a atividade física como ferramenta de adaptação social relevante, nesta perspectiva reconhecemos a coesão social e confiança entre vizinhos fatores que podem aumentar a prática de exercícios, enquanto a prática de modalidades esportivas também podendo incrementar as redes de apoio e o pertencimento comunitário. Ao desenvolver tecidos esportivos sintéticos, como tecido com tecnologia *micro-dry*, a indústria têxtil visa aliar conforto, desempenho e durabilidade, porém a sua estrutura favorece a retenção de compostos orgânicos do suor, criando substrato para crescimento bacteriano e formação de odores, fator eventual de desagregação social. Este estudo avaliou a eficácia do vinagre de arroz e do vinagre de álcool como agentes para a redução da carga bacteriana em tecidos tipo *micro-dry* utilizados após atividade física. Fragmentos de camisetas (3 × 3 cm), obtidos de voluntários após a realização de exercício físico por uma hora, foram incubados em *Tryptic Soy Broth* ou meio adicionado com vinagre de arroz

¹ Mestre em Ciências de Materiais, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Barra do Garças, Mato Grosso, Brasil. E-mail: gabitolfo@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-5706-4953>

² Mestre em Ciência de Materiais, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). E-mail: vivianefrancelina@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6863-0971>

³ Mestre em Imunologia e Parasitologia Básicas e Aplicadas, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Barra do Garças, Mato Grosso, Brasil. E-mail: keniarezende1@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8708-4803>

⁴ Mestre em Imunologia e Parasitologia Básicas e Aplicadas, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Barra do Garças, Mato Grosso, Brasil. E-mail: nara.bio@outlook.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-9604-4976>

⁵ Doutora em Ciências - Imunologia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: adenilda.franca@ufmt.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0452-9804>

⁶ Doutor em Ciências - Imunologia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: eduardo.franca@ufmt.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1854-5397>

⁷ Doutor em Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: aron.cotrim@fiocruz.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4083-4950>

e vinagre de álcool, durante 3, 6 e 18 horas, a 37 °C. Em seguida, as culturas foram diluídas nas proporções de 10⁵ e 10⁶ em meio, e alíquotas de 100 µL foram semeadas em placas de Petri contendo *Tryptic Soy Agar*, sendo posteriormente incubadas por 18 horas a 37 °C. Após esse período, realizou-se a contagem de Unidades Formadoras de Colônia. As lâminas foram confeccionadas e coradas pelo método de Gram para avaliação da morfologia e da classificação bacteriana. Observou-se que, após 6 horas, ambos os vinagres inibiram completamente o crescimento bacteriano, enquanto o grupo controle apresentou crescimento ($p < 0,05$). Houve predomínio de bacilos Gram-negativos (69,6%), seguidos por cocos (22,4%) e cocobacilos (8%). Os resultados indicam que o vinagre de arroz e o vinagre de álcool reduzem significativamente a carga bacteriana em tecidos *tipo micro-dry*. Os achados desta pesquisa reforçam o potencial de estratégias sustentáveis para a higienização de roupas esportivas, fator estimulador para atividade física e social, além de fornecer subsídios para o desenvolvimento de materiais com propriedades antimicrobianas aprimoradas.

Palavras-chave: Materiais Funcionais. Microbiologia Têxtil. Tecidos Sintéticos. Vinagre.

ABSTRACT

The World Health Organization recognizes physical exercise as a tool to mitigate symptoms of anxiety and depression and improve cognitive and social well-being. Recent studies support physical activity as a relevant tool for social adaptation; from this perspective, we recognize social cohesion and trust among neighbors as factors that can increase the practice of exercise, while the practice of sports can also enhance support networks and community belonging. In developing synthetic sports fabrics, as fabrics with micro-dry technology, the textile industry aims to combine comfort, performance, and durability; however, its structure favors the retention of organic compounds from sweat, creating a substrate for bacterial growth and odor formation, a potential factor in social disintegration. This study evaluated the effectiveness of rice vinegar and alcohol vinegar as agents for reducing bacterial load on micro-dry fabrics after physical activity. Fragments of t-shirts (3 × 3 cm), obtained from volunteers after one hour of physical exercise, were incubated in Tryptic Soy Broth or medium supplemented with rice vinegar and alcohol vinegar for 3, 6, and 18 hours at 37 °C. Subsequently, the cultures were diluted to 10⁵ and 10⁶ in medium, and 100 µL aliquots were seeded onto Petri dishes containing Tryptic Soy Agar and incubated for 18 hours at 37 °C. After this period, colony-forming units were counted. Slides were prepared and stained using the Gram method for evaluation of bacterial morphology and classification. It was observed that, after 6 hours, both vinegars completely inhibited bacterial growth, while the control group showed growth ($p < 0.05$). Gram-negative bacilli predominated (69.6%), followed by cocci (22.4%) and coccobacilli (8%). The results indicate that rice vinegar and alcohol vinegar significantly reduce the bacterial load in micro-dry fabrics. The findings of this research reinforce the potential of sustainable strategies for the sanitization of sportswear, a stimulating factor for physical and social activity, in addition to providing support for the development of materials with enhanced antimicrobial properties.

Keywords: Functional Materials. Textile Microbiology. Synthetic Fabrics. Vinegar.

RESUMEN

La Organización Mundial de la Salud reconoce el ejercicio físico como una herramienta para mitigar los síntomas de ansiedad y depresión y mejorar el bienestar cognitivo y social. Estudios

recientes respaldan la actividad física como una herramienta relevante para la adaptación social; desde esta perspectiva, reconocemos la cohesión social y la confianza entre vecinos como factores que pueden aumentar la práctica de ejercicio, mientras que la práctica de deportes también puede fortalecer las redes de apoyo y el sentido de pertenencia a la comunidad. Al desarrollar tejidos deportivos sintéticos, como tejidos con tecnología *micro-dry*, la industria textil busca combinar comodidad, rendimiento y durabilidad; sin embargo, su estructura favorece la retención de compuestos orgánicos del sudor, creando un sustrato para el crecimiento bacteriano y la formación de olores, un factor potencial de desintegración social. Este estudio evaluó la efectividad del vinagre de arroz y el vinagre de alcohol como agentes para reducir la carga bacteriana en tejidos *micro-dry* utilizados después de la actividad física. Fragmentos de camisetas (3×3 cm), obtenidos de voluntarios después de una hora de ejercicio físico, se incubaron en caldo de tripticasa de soja o en un medio suplementado con vinagre de arroz y vinagre de alcohol durante 3, 6 y 18 horas a 37 °C. Posteriormente, los cultivos se diluyeron en proporciones de 10^5 y 10^6 en el medio, y se sembraron alícuotas de 100 µL en placas de Petri que contenían agar tripticasa de soja, y luego se incubaron durante 18 horas a 37 °C. Después de este período, se contaron las unidades formadoras de colonias. Se prepararon portaobjetos y se tiñeron utilizando el método de Gram para evaluar la morfología y clasificación bacteriana. Se observó que, después de 6 horas, ambos vinagres inhibieron completamente el crecimiento bacteriano, mientras que el grupo control mostró crecimiento ($p < 0,05$). Predominaron los bacilos gramnegativos (69,6%), seguidos de los cocos (22,4%) y los cocobacilos (8%). Los resultados indican que el vinagre de arroz y el vinagre de alcohol reducen significativamente la carga bacteriana en tejidos *micro-dry*. Los hallazgos de esta investigación refuerzan el potencial de las estrategias sostenibles para la desinfección de la ropa deportiva, un factor estimulante para la actividad física y social, además de brindar apoyo para el desarrollo de materiales con propiedades antimicrobianas mejoradas.

Palabras clave: Materiales funcionales. Microbiología textil. Tejidos sintéticos. Vinagre.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

A atividade física, nos últimos anos, vem se consolidando como uma estratégia fundamental para a redução de sintomas de ansiedade e depressão, além da promoção do bem-estar cognitivo e social. Evidências indicam que a prática regular de exercício físico desempenha papel relevante na adaptação social, sendo influenciada por fatores como coesão comunitária e confiança interpessoal, ao mesmo tempo em que contribui para o fortalecimento de redes de apoio e do senso de pertencimento (WHO, 2026; Gao *et al.*, 2025; Bauman *et al.*, 2012; Eime *et al.*, 2013). Nesse contexto, aspectos relacionados ao conforto e à aceitação do vestuário esportivo tornam-se relevantes, uma vez que tecidos podem favorecer a retenção de compostos orgânicos do suor, criando condições para crescimento bacteriano e formação de odores, potencialmente

atuando como fator de constrangimento e limitação das interações sociais (Callewaert *et al.*, 2014).

A produção de têxteis esportivos capazes de combinar conforto térmico, desempenho e durabilidade tem sido amplamente explorada em diferentes segmentos. Entre esses materiais, destacam-se os tecidos sintéticos do tipo *micro-dry*, geralmente compostos por poliéster e/ou poliamida, amplamente utilizados devido à sua capacidade de promover transporte eficiente da umidade (moisture wicking). Essa propriedade decorre da estrutura físico-química das fibras e da geometria da malha, que determinam parâmetros como diâmetro, porosidade e capilaridade, permitindo rápida redistribuição do suor e evaporação acelerada, especialmente durante atividades físicas intensas (Li; Zhu; Yeung, 2002; Dias; Monaragala, 2007; Harnett; Mehta, 1984; Li *et al.*, 2001).

O transporte de umidade nesses tecidos está diretamente relacionado à capilaridade, favorecida pela organização de microfilamentos hidrofóbicos que criam canais para condução do suor por diferença de tensão superficial. Embora esse mecanismo contribua para o conforto térmico, ele também pode favorecer a retenção de resíduos orgânicos provenientes do suor, como lipídeos, ácidos graxos e aminoácidos. Esses compostos atuam como substrato para crescimento microbiano, especialmente de bactérias da microbiota cutânea, incluindo *Staphylococcus* spp., *Corynebacterium* spp., *Streptococcus* spp. e *Micrococcus* spp. (Byrd; Belkaid; Segre, 2018). Estudos demonstram que tecidos sintéticos apresentam maior colonização bacteriana quando comparados a fibras naturais, como o algodão, favorecendo a formação de odores após o uso (Callewaert *et al.*, 2014)

A interface entre fibra têxtil e microbiota tem sido amplamente investigada. Propriedades como rugosidade, topografia da malha, cristalinidade e composição química influenciam diretamente a adesão bacteriana e a formação de biofilmes. Em tecidos tipo *micro-dry*, a combinação entre alta capilaridade e retenção de resíduos microscópicos cria um ambiente propício à proliferação microbiana (Huebner; Amend; Callewaert, 2019; Teufel *et al.*, 2010; Møllebjerger *et al.*, 2021; Dixit *et al.*, 2024)

Métodos convencionais de lavagem nem sempre são suficientes para remover completamente microrganismos aderidos às fibras sintéticas. Ciclos de lavagem domésticos, frequentemente realizados em baixas temperaturas e com curta duração, apresentam eficácia limitada, permitindo a persistência de bactérias e compostos voláteis associados ao odor (Abney *et al.*, 2021). Esse cenário evidencia a necessidade de estratégias alternativas de higienização que

sejam eficazes, sustentáveis e compatíveis com as propriedades físico-químicas dos tecidos.

Entre as alternativas estudadas, destaca-se o uso de vinagres, especialmente de álcool e de arroz, como agentes antimicrobianos naturais. O principal componente ativo desses produtos é o ácido acético, cuja ação envolve redução do pH, desnaturação proteica e desestabilização de membranas celulares, resultando em inibição ou morte bacteriana (Zinn; Bockmühl, 2020). Concentrações entre 4% e 10% demonstram eficácia significativa contra diferentes microrganismos (Entani *et al.*, 1997; Zinn; Bockmühl, 2020)

Estudos experimentais demonstram que vinagres possuem atividade antimicrobiana relevante contra bactérias como *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*, com eficácia dependente da concentração e do tipo de matriz (Chang; Fang, 2007; Utyama *et al.*, 2006; Alves *et al.*, 2021; Harrison *et al.*, 2023). Além disso, o ácido acético mantém sua atividade mesmo na presença de matéria orgânica, característica relevante para aplicação em tecidos utilizados após exercício físico (Fraise *et al.*, 2013)

Do ponto de vista físico-químico, o vinagre apresenta baixa tensão superficial, o que facilita sua penetração entre os filamentos e nos interstícios da malha, alcançando regiões de difícil acesso onde microrganismos e resíduos tendem a se acumular (Monteiro *et al.*, 2015). Também, apresenta estabilidade frente a fibras sintéticas, não promovendo degradação significativa do poliéster nas concentrações usuais, o que reforça sua aplicabilidade em têxteis esportivos (Carmo *et al.*, 2017; Villar *et al.*, 2024)

Apesar de seu uso difundido em práticas domésticas, ainda são escassos os estudos que avaliam a eficácia do vinagre especificamente em tecidos sintéticos utilizados após atividade física, contexto no qual a interação entre fibra, microbiota e resíduos orgânicos apresenta características particulares. Além disso, diferenças na composição entre vinagre de álcool e vinagre de arroz podem influenciar sua atividade antimicrobiana, tornando relevante a análise comparativa entre esses produtos (Fraise *et al.*, 2013; Harrison *et al.*, 2023)

Diante disso, torna-se pertinente investigar métodos alternativos de higienização capazes de reduzir a carga bacteriana em tecidos tipo *micro-dry* sem comprometer suas propriedades físico-químicas. Assim, este trabalho avaliou a eficácia do vinagre de arroz e do vinagre de álcool na redução bacteriana desses tecidos após exercício físico. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de higienização e para a inovação em materiais têxteis com propriedades antimicrobianas aprimoradas, visando melhorar interações social.

METODOLOGIA

Tipo de Estudo, Sujeitos e Amostragem

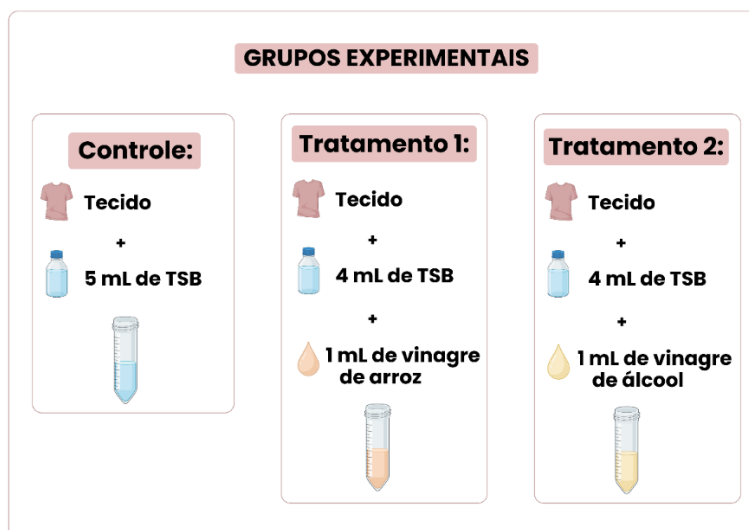
Trata-se de um estudo experimental, laboratorial e de caráter quantitativo, voltado para a análise da eficácia antimicrobiana de diferentes tratamentos aplicados a fragmentos de tecido sintético do tipo *micro-dry* utilizados após o exercício físico.

Foram utilizadas camisetas de tecidos tipo *micro-dry* pertencentes a voluntários, adultos, saudáveis, que realizaram uma sessão padronizada de treino por 1 hora em academia. Após o exercício, fragmentos de tecido de 3×3 cm foram recortados de áreas com maior contato com o suor, conforme modelo adotado por Callewaert e colaboradores (2014), e Caetano e pesquisadores (2023).

Preparação das Amostras e Grupos Experimentais

O delineamento experimental foi composto por três grupos. Grupo controle (GC), fragmentos de tecido incubados com 5 mL de caldo *Tryptic Soy Broth* (TSB). Grupo tratado com vinagre de arroz (VAR), os fragmentos de tecido incubados em 4 mL de meio TSB acrescidos de 1 mL de vinagre de arroz. Grupo tratado com vinagre de álcool (VAA), os fragmentos de tecido incubados em 4 mL de TSB acrescidos de 1 mL de vinagre de álcool. Os experimentos foram realizados em triplicata compostos por três fragmentos de tecido independentes, provenientes de camisetas distintas. As amostras foram incubadas por três, seis e 18 horas, a 37 °C em estufa. O delineamento experimental está ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Delineamento experimentais do estudo. Controle sem tratamento; Tratamento 1: Grupo tratado com vinagre de arroz (VAR) e Tratamento 2: Grupo tratado com vinagre de álcool (VAA).



Fonte: Autores.

Análise Microbiológica

Após o período de cada incubação (3, 6 e 18 horas), 5mL do meio foram transferidos para tubos falcon e centrifugados a 3.200 rpm por 10 minutos. Os pellets foram então ressuspensos em 1 mL de TSB e submetidos diluições seriadas até 10^{-6} .

A seguir foram semeadas em Placa de Petri contendo *Tryptic Soy Agar* (TSA). 100 μ L das diluições de 10^5 e 10^6 para cada grupo experimental, conforme protocolos de Entani e colaboradores (1997) e Zinn e Bockmühl (2020). As placas foram então incubadas em estufa a 37 °C por 18 horas e, após este período foi realizado a contagem de Unidades Formadoras de Colônia (UFC).

Para a diferenciação das bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, após o término do tempo de incubação estabelecido para cada grupo experimental, as colônias bacterianas obtidas nas placas foram retiradas com a alça de platina e foi realizada a inoculação asséptica em lâmina das colônias. Após secagem, as bactérias foram fixadas e submetidas à coloração pelo método de Gram, conforme a metodologia clássica descrita por Hucker e Conn (1923) e apresentada também por Tortora, Funke e Case (2017). As lâminas foram avaliadas em relação as características tintoriais e morfológicas em microscópio óptico sob o aumento de 400 x e 1000 x. A leitura e interpretação dos esfregaços seguiu parâmetros estabelecidos e descritos por Byrd, Belkaid e Segre (2018).

A avaliação do índice de morte bacteriana foi realizada conforme descrita por

Honorio-França (1995), com adaptações. A redução bacteriana foi expressa por meio do índice de morte, calculado conforme a equação:

$$\text{Índice de morte (\%)} = 1 - \left(\frac{N_t}{N_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde:

N_0 = número de UFC no tempo zero, antes da ação dos agentes higienizantes

N_t = corresponde ao número de UFC após a aplicação dos tratamentos com vinagre de arroz e vinagre de álcool, nos tempos estabelecidos experimentalmente

O índice de morte corresponde à porcentagem de microrganismos eliminados em relação à carga bacteriana inicial, permitindo a comparação da eficácia dos diferentes agentes higienizantes aplicados aos fragmentos de tecido *micro-dry*. Valores mais elevados indicam maior eficiência na redução bacteriana, enquanto valores mais baixos refletem menor atividade antimicrobiana do tratamento avaliado. A figura 2 representa o esquema da manipulação das amostras e do desenho experimental de todas as etapas do estudo.

Figura 2. Esquema representativo da manipulação das amostras e do desenho experimental.



Fonte: Autores.

Análise Estatística

As análises descritivas, média, desvio-padrão e percentuais de redução bacteriana, foram

realizadas e analisadas no programa Microsoft Excel[®]. A comparação entre grupos seguiu o modelo aplicado em estudos de Abney e colaboradores (2021), adotando $p < 0,05$ como nível de significância para as diferenças entre os tratamentos.

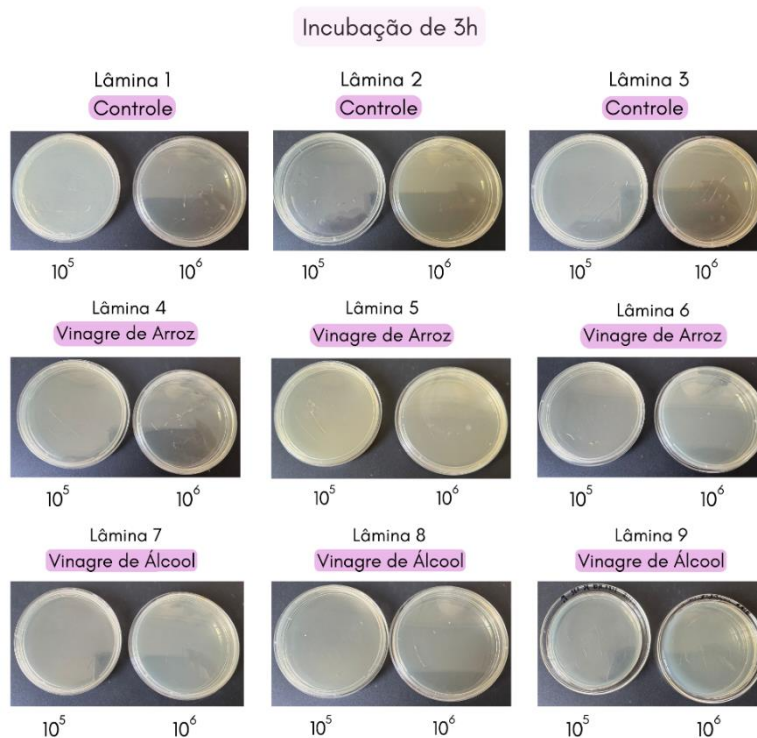
RESULTADOS

Crescimento Bacteriano

Após 3 horas de incubação (Figura 3), não foi observado crescimento bacteriano em nenhum dos grupos, tanto nas placas controle quanto nas tratadas com vinagre de arroz e vinagre de álcool, em ambas as concentrações (10^5 e 10^6).

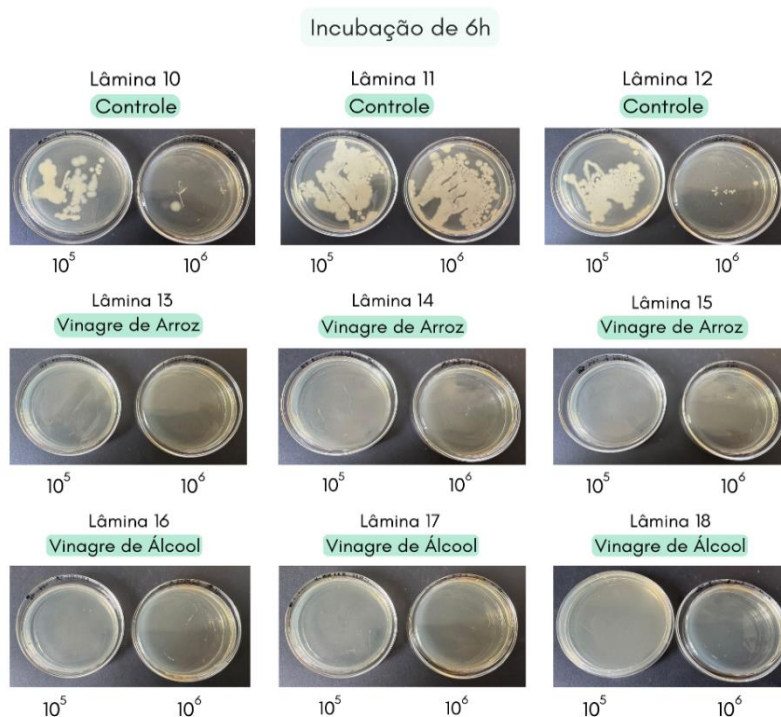
Na figura 4 estão apresentados os resultados de crescimento bacteriano após 6 horas de incubação. Observa-se que no grupo controle, independente de concentrações (10^5 e 10^6), houve aumento de crescimento bacteriano. Em contraste, não houve crescimento bacteriano quando os tecidos foram incubados com vinagre de arroz ou vinagre de álcool em ambas as concentrações.

Figura 3. Crescimento bacteriano após 3 horas de incubação na presença de vinagre de arroz e vinagre de álcool.



Fonte: Autores.

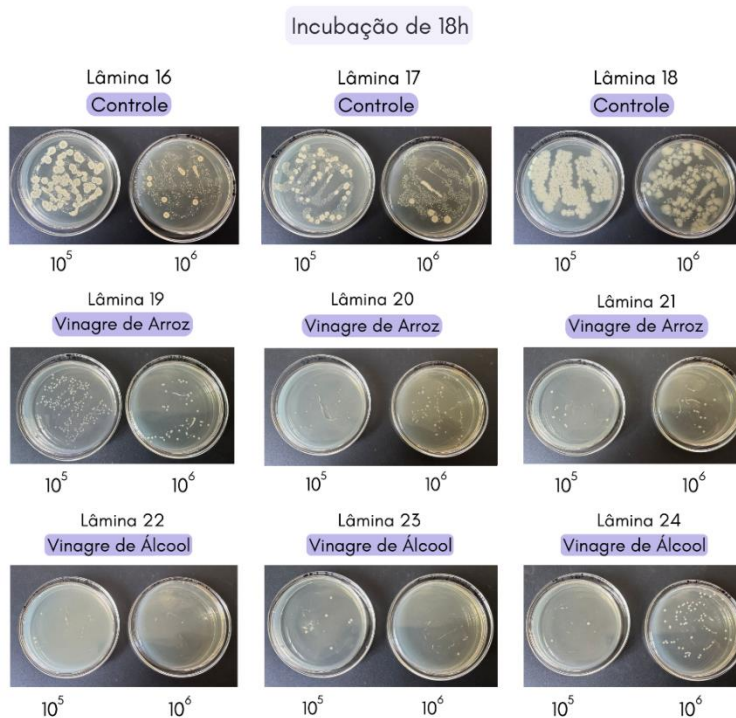
Figura 4. Crescimento bacteriano nas placas de Pedri após 6 horas de incubação na presença de vinagre de arroz e vinagre de álcool.



Fonte: Autores.

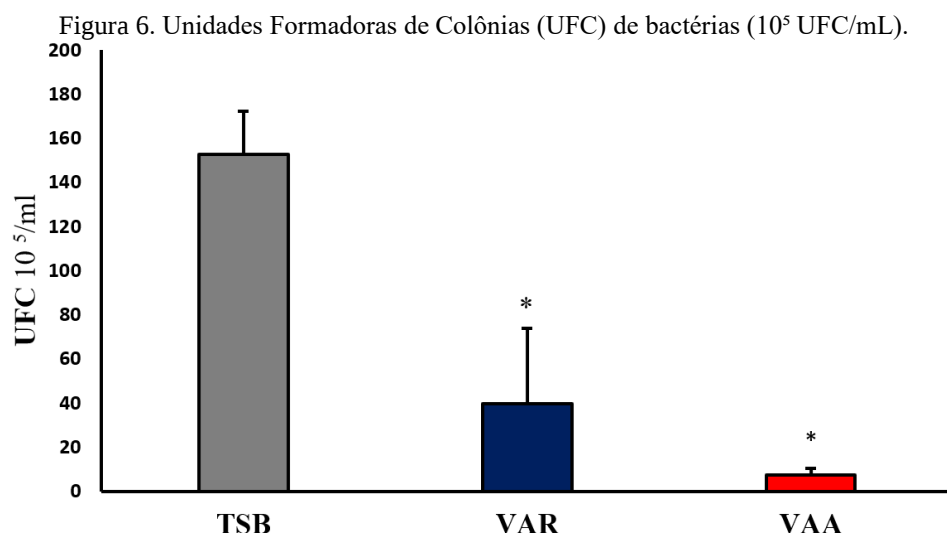
Após 18 horas de incubação (Figura 5), observou-se crescimento bacteriano intenso no grupo controle em ambas as concentrações (10^5 e 10^6), com elevada densidade de bactérias. Nos grupos de fragmentos tecidos tratados com vinagre de arroz, foi identificado crescimento discreto, significativamente inferior ao controle. De forma semelhante, o vinagre de álcool também reduziu o crescimento bacteriano provenientes de tecidos após exposição ao exercício físico.

Figura 5. Crescimento bacteriano nas placas de Petri após 18 horas de incubação na presença de vinagre de arroz e vinagre de álcool.



Fonte: Autores.

Os resultados de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) na concentração de 10^5 UFC/mL, estão apresentados na figura 6. Observa-se aumento de UFC no grupo controle (TSB), enquanto as amostras incubadas com vinagre de arroz (VAR) e vinagre de álcool (VAA) houve redução significativa ($p < 0,05$) na contagem bacteriana.

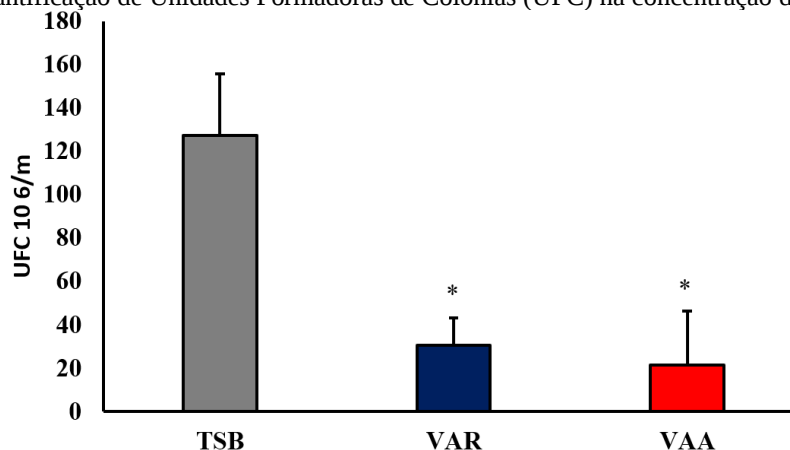


Nota: Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias (10^5 UFC/mL) recuperadas de amostras de tecido de camisetas coletadas imediatamente após uma sessão padronizada de exercício em academia. As amostras foram suspensas em caldo TSB (*Tryptic Soy Broth*) e incubadas em três condições: TSB (controle), TSB com vinagre de arroz (VAR) e TSB com vinagre de álcool (VAA). A contagem de UFC (média ± DP) obtida após diluição seriada e incubação. * $P < 0.05$ diferenças entre o grupo controle e os demais grupos experimentais.

Fonte: Autores.

A figura 7 apresenta a quantificação das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) na concentração de 10^6 UFC/mL. Observa-se redução significativa da carga bacteriana nos grupos de tecidos tratados com vinagre de arroz (VAR) e vinagre de álcool (VAA).

Figura 7. Quantificação de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) na concentração de 10^6 UFC/mL.

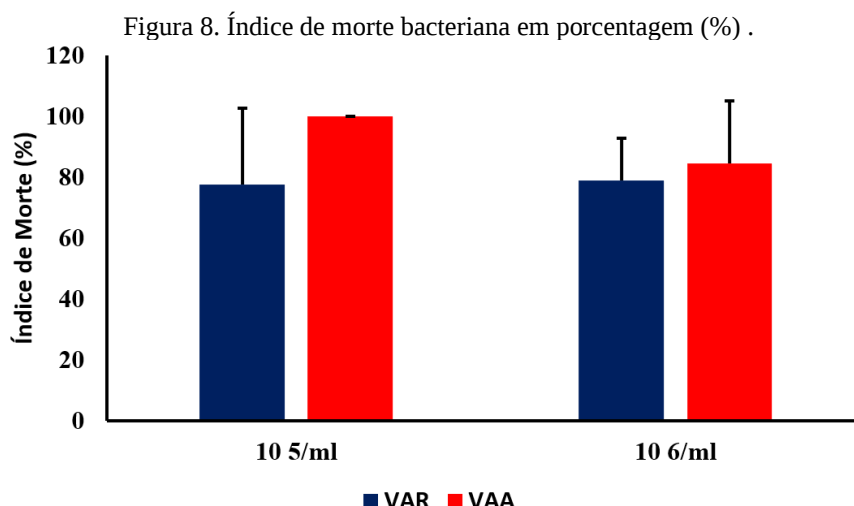


Nota: Quantificação de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) na concentração de 10^6 UFC/mL recuperadas de amostras de tecido de camisetas coletadas imediatamente após uma sessão padronizada de exercício em academia. As amostras foram suspensas em caldo TSB (*Tryptic Soy Broth*) e incubadas em três condições: TSB (controle), TSB com vinagre de arroz (VAR) e TSB com vinagre de álcool (VAA). A contagem de UFC (média ± DP) obtida após diluição seriada e incubação. * $P < 0.05$ diferenças entre o grupo controle e os demais grupos experimentais.

Fonte: Autores.

A figura 8 apresenta o índice de morte bacteriana (%) em amostras de tecido de camisetas coletadas imediatamente após uma sessão padronizada de exercício em academia. As amostras

foram incubadas em TSB nas condições controle, TSB com vinagre de arroz (VAR) e TSB com vinagre de álcool (VAA). Os dados mostram a redução média de UFC ($\pm$ DP) após diluição seriada e incubação, refletindo o efeito dos tratamentos sobre a viabilidade bacteriana, sem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($p > 0,05$).



Nota: Índice de morte bacteriana em porcentagem (%) de amostras de tecido de camisetas coletadas imediatamente após uma sessão padronizada de exercício em academia. As amostras foram incubadas em meio TSB (*Tryptic Soy Broth*) em três condições experimentais: TSB (controle), TSB + vinagre de arroz (VAR) e TSB + vinagre de álcool (VAA). O gráfico apresenta a redução de UFC (média $\pm$ DP) após diluição seriada e incubação, expressando o efeito dos tratamentos sobre a viabilidade bacteriana. Os resultados evidenciam diferenças na taxa de morte microbiana entre os meios avaliados. * $P > 0.05$.

Fonte: Autores.

Contagem e Diferenciação Bacteriana

A distribuição dos microrganismos diferenciados por meio da coloração de Gram em função das diferentes concentrações avaliadas (10^5 e 10^6), está apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Contagem das bactérias por diluição diferenciadas pela coloração de Gram.

Concentração	Morfologia	
	Gram (+) n (%)	Gram (-) n (%)
10^5	3 (25%)	9 (75%)
10^6	5 (35.7%)	9 (64.3%)

Fonte: Autores.

Na concentração de 10^5 , observou-se que 25% das lâminas analisadas apresentaram bactérias Gram-positivas, enquanto bactérias Gram-negativas foram identificadas em 75% das lâminas avaliadas. Na concentração de 10^6 , as bactérias Gram-positivas foram detectadas em

35,7% das lâminas, ao passo que bactérias Gram-negativas estiveram presentes em 64,3% das lâminas analisadas.

A análise da morfologia bacteriana em função das concentrações avaliadas encontra-se sintetizada na Tabela 2, apresentada a seguir.

Tabela 2. Contagem das bactérias por diluição diferenciadas pela morfologia.

Concentração	Morfologia		
	Bacilos n (%)	Cocos n (%)	Cocobacilos n (%)
10 ⁵	9 (75%)	2 (16%)	1 (9%)
10 ⁶	9 (64.5%)	4 (28.5%)	1 (7%)

Fonte: Autores.

Na análise da morfologia bacteriana, observou-se predominância de microrganismos com forma de bacilos em ambas as diluições avaliadas. Na concentração de 10⁵, bacilos foram identificados em 75% das lâminas analisadas, evidenciando a predominância dessa morfologia nas amostras. Bactérias com morfologia de cocos foram observadas em 16% das lâminas, enquanto o tipo cocobacilos foram detectados em 9% das lâminas examinadas. De forma semelhante, na concentração de 10⁶ manteve-se a predominância de bacilos, igualmente presentes em 64.5% das lâminas analisadas. Nessa diluição, entretanto, observou-se maior frequência de cocos, detectados em 28.5% das lâminas, ao passo que os cocobacilos permaneceram com frequência de 7%, valor equivalente ao observado na diluição anterior.

DISCUSSÃO

Este estudo revelou que tecidos esportivos sintéticos com tecnologia do tipo *micro-dry* utilizados após exercício físico constituem ambientes favoráveis à colonização microbiana, com predominância de bactérias Gram-negativas e morfologia bacilar. Esse padrão microbiológico está de acordo com evidências recentes da literatura que apontam que tecidos sintéticos, particularmente aqueles compostos por poliéster, apresentam maior retenção de microrganismos e compostos orgânicos provenientes do suor quando comparados a fibras naturais, como o algodão (Callewaert *et al.*, 2014; Yan *et al.*, 2022).

A presença predominante de bacilos Gram-negativos observada nas amostras analisadas pode ser explicada pela elevada capacidade metabólica desses microrganismos em degradar compostos presentes no suor humano, como ácidos graxos, ureia, aminoácidos e lipídios. Durante esse processo metabólico são formados compostos voláteis de baixo peso molecular, incluindo

ácidos carboxílicos e compostos sulfurados, os quais estão diretamente relacionados à formação do odor característico associado a roupas esportivas utilizadas após atividade física (Huebner; Amend; Callewaert, 2019). Dessa forma, a microbiota presente nos tecidos não apenas reflete a microbiota cutânea do indivíduo, mas também sofre influência das propriedades físico-químicas das fibras têxteis.

A composição da microbiota cutânea humana é altamente diversa e dinâmica, sendo influenciada por fatores como região anatômica, produção de suor, pH da pele e condições ambientais (Byrd; Belkaid; Segre, 2018). Durante a prática de exercício físico, o aumento da temperatura corporal e da produção de suor favorece a transferência de microrganismos da pele para o tecido das roupas. Nesse contexto, o tecido passa a funcionar como um reservatório microbiano temporário, no qual a presença de nutrientes derivados do suor cria condições favoráveis à multiplicação bacteriana. Esse fenômeno também foi observado em estudos que investigaram a microbiota associada a roupas esportivas, demonstrando que tecidos sintéticos podem manter comunidades bacterianas viáveis por períodos prolongados mesmo após processos de lavagem convencionais (Abney *et al.*, 2021).

Além da influência da microbiota cutânea, as propriedades estruturais das fibras sintéticas desempenham papel fundamental na adesão e persistência bacteriana. O poliéster, principal componente de muitos tecidos do tipo *micro-dry*, apresenta caráter hidrofóbico e baixa absorção interna de água, o que favorece a adsorção de moléculas orgânicas na superfície das fibras. Essas moléculas funcionam como substrato metabólico para microrganismos, promovendo sua fixação e crescimento (Li; Zhu; Yeung, 2002). Adicionalmente, a estrutura multifilamentar da malha cria microambientes entre as fibras que podem proteger bactérias contra a remoção mecânica durante processos de lavagem, contribuindo para a persistência microbiana no tecido (Rossi; Scheffler; Carvalho, 2020).

Os resultados obtidos neste estudo reforçam essa relação entre propriedades têxteis e colonização microbiana. A predominância de bactérias Gram-negativas observada nas análises microscópicas e na contagem de unidades formadoras de colônias está em consonância com estudos que identificaram microrganismos pertencentes aos gêneros *Pseudomonas*, *Acinetobacter* e *Enterobacter* em roupas esportivas utilizadas após sessões de atividade física (Urban; Nestlehut; Holland, 2019; Yan *et al.*, 2022). Esses microrganismos apresentam elevada capacidade adaptativa e são frequentemente associados à degradação de compostos orgânicos presentes no suor humano.

Outro aspecto relevante observado neste estudo refere-se à eficácia antimicrobiana dos tratamentos com vinagre de arroz e vinagre de álcool na redução da carga bacteriana presente nos tecidos analisados. Após seis horas de incubação, ambos os tratamentos foram capazes de inibir completamente o crescimento bacteriano nas condições experimentais avaliadas. Esse resultado é consistente com evidências experimentais que demonstram que o ácido acético, principal componente ativo do vinagre, apresenta atividade antimicrobiana significativa contra diferentes espécies bacterianas e fúngicas (Entani *et al.*, 1997; Zinn; Bockmühl, 2020).

O mecanismo antimicrobiano do ácido acético está relacionado à sua capacidade de atravessar a membrana celular bacteriana na forma não dissociada. Uma vez no interior da célula, o ácido sofre dissociação, liberando prótons e íons acetato que provocam acidificação do citoplasma, alteração do gradiente eletroquímico e interferência em processos metabólicos essenciais, incluindo síntese proteica e transporte de nutrientes (Fraise *et al.*, 2013). Esse processo pode resultar em efeito bacteriostático ou bactericida, dependendo da concentração do ácido, do tempo de exposição e da espécie bacteriana envolvida.

No presente estudo, a ausência de crescimento bacteriano após seis horas de incubação sugere que a concentração de ácido acético presente nos vinagres utilizados foi suficiente para promover forte efeito inibitório nas populações bacterianas presentes nos fragmentos têxteis. Resultados similares foram observados, com redução significativa de *Escherichia coli* O157:H7 e *Salmonella Typhimurium* em alimentos tratados com vinagre de arroz, bem como atividade antimicrobiana relevante do ácido acético contra diferentes bactérias hospitalares (Chang; Fang, 2007; Utyama *et al.*, 2006).

Entretanto, após dezoito horas de incubação foi observado crescimento bacteriano discreto nas amostras tratadas com vinagre, ainda que significativamente inferior ao observado no grupo controle. Esse comportamento pode ser explicado por diferentes fatores microbiológicos. Em primeiro lugar, a presença de matéria orgânica proveniente do suor e do próprio tecido pode reduzir a eficácia antimicrobiana do ácido acético ao atuar como agente tamponante ou como substrato metabólico para sobrevivência bacteriana (Fraise *et al.*, 2013). Em segundo lugar, algumas bactérias possuem mecanismos fisiológicos de adaptação a ambientes ácidos, incluindo sistemas de regulação do pH intracelular e bombas de efluxo que permitem a sobrevivência em condições adversas (Zinn; Bockmühl, 2020).

Outro fator relevante refere-se à formação de biofilmes microbianos em superfícies têxteis. Biofilmes são estruturas organizadas formadas por comunidades bacterianas envolvidas

em matriz extracelular que confere maior resistência a agentes antimicrobianos. Estudos recentes indicam que tecidos sintéticos podem favorecer a formação de biofilmes devido à presença de microcavidades na superfície das fibras (Harrison *et al.*, 2023). Esse fenômeno pode contribuir para a persistência de microrganismos mesmo após tratamentos antimicrobianos.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos demonstraram redução significativa da carga bacteriana nos tecidos tratados com vinagre quando comparados ao grupo controle. Esses achados reforçam o potencial do vinagre como agente antimicrobiano natural aplicável à higienização de tecidos esportivos. Além da atividade antimicrobiana, o vinagre apresenta características físico-químicas que favorecem sua aplicação em tecidos sintéticos. A baixa tensão superficial do ácido acético facilita sua penetração entre os filamentos têxteis, permitindo alcançar regiões onde microrganismos e resíduos orgânicos podem permanecer aderidos (Monteiro *et al.*, 2015).

Do ponto de vista ambiental, a utilização de vinagre como agente higienizante também apresenta vantagens significativas. Diferentemente de muitos produtos químicos utilizados em processos de limpeza e desinfecção, o ácido acético é um composto biodegradável e de baixa toxicidade ambiental. O uso de substâncias naturais ou derivadas de fontes renováveis está alinhado aos princípios da química verde, que buscam reduzir o impacto ambiental associado ao uso de produtos químicos sintéticos (Anastas; Warner, 1998).

Adicionalmente, a redução da carga bacteriana nos tecidos pode contribuir para a diminuição da formação de odores desagradáveis, resultantes da degradação de compostos orgânicos do suor, fator que frequentemente atua como barreira ao uso contínuo de vestuário esportivo. Dessa forma, a melhoria das condições higiênicas pode favorecer a adesão à prática regular de atividade física e, conseqüentemente, potencializar seus benefícios psicossociais, incluindo o aumento da interação social, da sensação de pertencimento e da participação em ambientes coletivos

Os resultados deste estudo reforçam a importância de investigar a interface entre propriedades estruturais das fibras e comportamento microbiológico. A compreensão dos mecanismos que governam a adesão bacteriana em tecidos sintéticos pode contribuir para o desenvolvimento de novos materiais funcionais com propriedades antimicrobianas incorporadas. Nos últimos anos, diversas abordagens têm sido exploradas nesse campo, incluindo modificação superficial das fibras, incorporação de nanopartículas antimicrobianas e desenvolvimento de revestimentos bioativos (Rossi; Scheffler; Carvalho, 2020).

No entanto, muitas dessas tecnologias apresentam custo elevado ou desafios relacionados à segurança ambiental. Nesse contexto, a utilização de agentes antimicrobianos naturais, como o vinagre, pode representar uma alternativa complementar de baixo custo para a higienização de roupas esportivas. A ampla disponibilidade do produto, associada à sua eficácia antimicrobiana e baixo impacto ambiental, torna essa abordagem particularmente relevante em aplicações domésticas.

Dessa forma, os resultados deste estudo reforçam a importância de compreender a interação entre propriedades físico-químicas dos materiais têxteis e o comportamento da microbiota associada ao suor humano. A predominância de bactérias Gram-negativas nos fragmentos de tecido *micro-dry* analisados confirma que tecidos sintéticos utilizados em atividades esportivas podem atuar como reservatórios microbianos capazes de favorecer processos metabólicos relacionados à formação de odor. Paralelamente, os resultados evidenciam que o uso de vinagre de arroz e vinagre de álcool representa uma estratégia simples, acessível e eficaz para reduzir significativamente a carga bacteriana presente nesses materiais.

Outro aspecto relevante refere-se ao fato de que a eficácia antimicrobiana observada pode não estar associada exclusivamente ao ácido acético, especialmente no caso do vinagre de arroz, que pode conter compostos residuais do processo fermentativo com potencial efeito sinérgico. Destaca-se a importância da realização de estudos complementares que incluam a identificação microbiológica em nível de gênero ou espécie, bem como a avaliação dos tratamentos em condições mais próximas do uso real, considerando variáveis como processos de lavagem, presença de detergentes e variações de temperatura. Essas abordagens podem ampliar a compreensão da eficácia dos tratamentos e contribuir para a aplicação prática dos resultados obtidos.

A atividade antimicrobiana observada está associada principalmente à ação do ácido acético, cuja eficácia já foi amplamente descrita na literatura microbiológica. Nesse contexto, a aplicação de soluções ácidas naturais pode representar uma alternativa sustentável para a higienização de tecidos esportivos, contribuindo para a redução do uso de agentes químicos mais agressivos.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que tecidos com tecnologia tipo *micro-dry* utilizados após exercício físico apresentam elevada suscetibilidade à colonização microbiana, com predominância de bactérias Gram-negativas associadas à formação de odor. Tanto o vinagre de arroz quanto o vinagre de álcool promoveram redução significativa da carga bacteriana em comparação ao controle, com inibição completa em tempos intermediários e efeito residual em períodos prolongados, sem diferenças relevantes entre os tratamentos.

Esses achados confirmam o potencial do vinagre como agente antimicrobiano natural para higienização de têxteis esportivos, além de evidenciar a influência das propriedades físico-químicas do tecido na persistência microbiana. Adicionalmente, a redução da carga bacteriana e, conseqüentemente, da formação de odores pode favorecer a adesão ao uso contínuo de vestuário esportivo, contribuindo para a prática regular de atividade física e para o fortalecimento das interações sociais associadas a esses contextos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Código 001.

REFERÊNCIAS

- ABNEY, S. E. *et al.* Laundry hygiene and odor control: state of the science. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 87, p. e03002-20, 2021.
- ALVES, F. B. A. *et al.* Efeito antibacteriano do vinagre de arroz. **Brazilian Journal of Food Technology**, 2021.
- ALVES, F. B. A. G. *et al.* Efeito antibacteriano do vinagre de arroz e qualidade microbiológica de sushis comercializados na cidade de Brasília, Distrito Federal, Brasil. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. e2020050, 2021.
- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: Theory and Practice**. New York: Oxford University Press, 1998.
- BAUMAN, A. E. *et al.* Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not? **The Lancet**, London, v. 380, n. 9838, p. 258–271, 2012.

BYRD, A. L.; BELKAID, Y.; SEGRE, J. A. The human skin microbiome. **Nature Reviews Microbiology**, v. 16, p. 143–155, 2018.

CAETANO, L. *et al.* Avaliação de agentes antimicrobianos naturais na higienização de tecidos sintéticos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 59, n. 2, p. 1-10, 2023.

CALLEWAERT, C. *et al.* Microbial odor profile of polyester and cotton clothes after a fitness session. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 80, n. 21, p. 6611–6619, 2014.

CARMO, R. S. A. Dyeability of polyester and polyamide fabrics employing citric acid. **Journal of Textile Science and Technology**, v. 3, p. 31-44, 2017.

CHANG, J. M.; FANG, T. J. Survival of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella Typhimurium in iceberg lettuce and the antimicrobial effect of rice vinegar. **Food Microbiology**, v. 24, n. 7–8, p. 745–751, 2007.

DIAS, T.; MONARAGALA, T. Moisture transport in knitted fabrics. **Journal of Textile Engineering**, v. 53, n. 1, p. 1–12, 2007.

DIXIT, S.; SHARMA, R.; KUMAR, V. Microbial growth and biofilm formation on sweat-contaminated textiles. **Indian Journal of Microbiology**, 2024.

EIME, R. M. *et al.* A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, London, v. 10, p. 135, 2013.

ENTANI, E. *et al.* Antibacterial action of vinegar against food-borne pathogenic bacteria including Escherichia coli O157:H7. **Kansenshogaku Zasshi**, v. 71, p. 488–493, 1997.

FRAISE, A. P. *et al.* The antibacterial activity and stability of acetic acid. **Journal of Hospital Infection**, v. 84, n. 4, p. 329–331, 2013.

GAO, Z.; CHEE, C. S.; OMAR DEV, R. D.; LIU, Y.; GAO, J.; LI, R.; LI, F.; LIU, X.; WANG, T. Social capital and physical activity: a literature review up to March 2024. **Frontiers in Public Health**, [S.l.], v. 13, p. 1467571, 2025.

HARNETT, P. R.; MEHTA, P. N. A survey and comparison of laboratory test methods for measuring wicking. **Textile Research Journal**, v. 54, n. 7, p. 471-478, 1984.

HARRISON, F. *et al.* Sweet and sour synergy: exploring the antibacterial and antibiofilm activity of acetic acid and vinegar combined with medical-grade honeys. **Microbiology (Reading)**, v. 169, n. 7, p. 001351, 2023.

HONORIO-FRANÇA, A. C. **Atividade bactericida dos fagócitos do colostro humano para Escherichia coli enteropatogênica (EPEC)**. 1995. Dissertação (Mestrado em Imunologia) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

HUCKER, G. J.; CONN, H. J. **Methods of Gram staining**. Geneva: New York Agricultural Experiment Station, 1923.

HUEBNER, J.; AMEND, A.; CALLEWAERT, C. Sweat and odor: the role of textiles and the skin microbiome. **Microorganisms**, v. 7, n. 11, p. 1–17, 2019.

LI, Y. The Science of Clothing Comfort. **Textile Progress, Manchester: The Textile Institute**, v. 31, n. 1/2, p. 1–135, 2001.

LI, Y.; ZHU, Q.; YEUNG, K. W. Moisture management of textile materials: from hydrophilic to hydrophobic surfaces. **Textile Research Journal**, v. 72, n. 10, p. 435–441, 2002.

MONTEIRO, M. A. A. *et al.* Determinação da concentração de ácido acético no vinagre por medidas de tensão superficial: uma atividade didática interdisciplinar com vistas à mediação semiótica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 253–262, 2015.

MØLLEBJERG, A. *et al.* Bacterial communities associated with malodour formation on sports textiles. **Microorganisms, Basel**, v. 9, n. 2, p. 1–15, 2021.

TEUFEL, L. *et al.* Growth of skin microorganisms on textiles: influence of different fibers on bacterial colonization and odor formation. **Journal of Applied Microbiology**, v. 108, n. 2, p. 450–460, 2010.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

URBAN, J.; NESTLEHUT, F.; HOLLAND, R. Characterization of odor-causing bacteria on sports textiles. **Nature Biotechnology**, 2019.

UTYAMA, I. K. A. *et al.* Atividade antimicrobiana *in vitro* do ácido acético e dos vinagres branco e tinto sobre bactérias hospitalares. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 5, n. 2, p. 111–116, 2006.

VILLAR, L. *et al.* Hydrolytic-Assisted Fractionation of Textile Waste Containing Cotton and Polyester. **Fibers and Polymers**, v. 25, n. 7, p. 2763–2772, 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines on physical activity and sedentary behaviour**. Geneva: WHO, 2026.

YAN, H. *et al.* Microbial profile of T-shirts after a fitness session. **Heliyon**, v. 8, p. e10461, 2022.

ZINN, M. K.; BOCKMÜHL, D. Did granny know best? Evaluating the antibacterial, antifungal and antiviral efficacy of acetic acid for home care procedures. **BMC Microbiology**, v. 20, n. 265, 2020.