

CAPÍTULO 14

Bioquímica dos Bioinsumos: Como os microrganismos transformam o solo

Rhuan Ribeiro dos Reis

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-43-5.c14>

Resumo

Este capítulo aborda a importância da bioquímica dos bioinsumos na agricultura sustentável, destacando o papel central dos microrganismos na transformação e manutenção da saúde do solo. Explora-se como bactérias e fungos atuam na fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, síntese de fitormônios e no controle biológico por meio de metabólitos antimicrobianos. O texto discute as aplicações práticas de inoculantes e biodefensivos (com destaque para os gêneros *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*), além de analisar os benefícios agrônômicos e os principais entraves industriais, como a estabilidade de formulação (*shelf life*) e os riscos de contaminação em larga escala. Por fim, apresentam-se as perspectivas futuras, enfatizando a integração da engenharia genética e de sistemas de nanoentrega para a otimização dessas tecnologias biológicas.

Palavras-chave: Bioinsumos; Microbiologia do solo; Agricultura sustentável; Fixação biológica de nitrogênio; Inoculantes microbianos.

Abstract

This chapter addresses the importance of the biochemistry of bioinputs in sustainable agriculture, highlighting the central role of microorganisms in transforming and maintaining soil health. It explores how bacteria and fungi act in biological nitrogen fixation, phosphorus solubilization, phytohormone synthesis, and biological control through antimicrobial metabolites. The text discusses the practical applications of inoculants and biopesticides (with emphasis on the *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* genera), as well as analyzing the agronomic benefits and major industrial hurdles, such as formulation stability (*shelf life*) and large-scale contamination risks. Finally, future perspectives are presented, emphasizing the integration of genetic engineering and nano-delivery systems to optimize these biological technologies.

Keywords: Bioinputs; Soil microbiology; Sustainable agriculture; Biological nitrogen fixation; Microbial inoculants.

A agricultura sustentável depende, de forma crescente, da compreensão e do manejo racional dos processos bioquímicos que ocorrem no solo. Longe de ser um substrato inerte, o solo é um sistema vivo, dinâmico e altamente complexo, no qual microrganismos desempenham papel central na transformação da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na regulação da disponibilidade de elementos essenciais às plantas. Esses processos bioquímicos sustentam a produtividade agrícola e, ao mesmo tempo, determinam a resiliência e a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Microrganismos como bactérias, fungos e actinobactérias atuam como verdadeiros catalisadores biológicos, conduzindo reações químicas fundamentais por meio de enzimas altamente especializadas. A decomposição da matéria orgânica, a mineralização e imobilização de nutrientes, a fixação biológica do nitrogênio e a solubilização de fósforo são exemplos de processos bioquímicos mediados por comunidades microbianas do solo. Esses mecanismos controlam fluxos de carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre e micronutrientes, conectando o metabolismo microbiano à nutrição vegetal e à fertilidade do solo.

No contexto da agricultura moderna, a intensificação do uso de fertilizantes e defensivos químicos alterou profundamente esses processos naturais, muitas vezes comprometendo a atividade microbiana e a qualidade do solo. Como consequência, observa-se a necessidade crescente de estratégias que restabeleçam e potencializem as funções bioquímicas do solo, reduzindo a dependência de insumos externos e promovendo sistemas produtivos mais equilibrados.

Nesse cenário, o estudo da bioquímica dos microrganismos do solo ganha destaque como base científica para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. A compreensão de como microrganismos transformam compostos orgânicos e inorgânicos, produzem metabólitos bioativos e interagem quimicamente com as raízes das plantas permite não apenas explicar fenômenos agronômicos observados no campo, mas também orientar o uso racional de tecnologias baseadas em processos biológicos.

Assim, este capítulo aborda a bioquímica na agricultura sustentável a partir da perspectiva dos microrganismos como agentes transformadores do

solo, explorando os mecanismos metabólicos e moleculares que sustentam a fertilidade, a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Ao integrar conhecimentos de bioquímica, microbiologia do solo e agricultura, busca-se evidenciar como os processos microscópicos são determinantes para os desafios macroscópicos da produção de alimentos no século XXI.

1. O que são bioinsumos, conceitos e definições

Os bioinsumos são um conjunto de produtos, processos ou tecnologias de origem biológica (vegetal, animal ou microbiana), incluindo aqueles produzidos por biotecnologia ou estruturalmente similares aos naturais, destinados a interferir positivamente no crescimento, no desenvolvimento e nas respostas fisiológicas de plantas, microrganismos e animais, além de interagirem com processos físico-químicos e biológicos no solo e nos sistemas de produção agropecuários. Essa definição é a base do conceito adotado no Programa Nacional de Bioinsumos no Brasil, e está alinhada à nova legislação que regulamenta esses produtos no contexto da agricultura sustentável.

Bioinsumos representam uma alternativa e um complemento aos insumos químicos convencionais porque, ao utilizar agentes biológicos ou seus derivados, promovem práticas agrícolas que valorizam processos naturais, reduzem impactos ambientais e fortalecem a sustentabilidade dos sistemas de produção.

Segundo a Embrapa, os bioinsumos e as tecnologias associadas englobam produtos desenvolvidos a partir de enzimas, extratos de plantas ou microrganismos, metabólitos secundários, feromônios e organismos vivos que podem ser direcionados tanto à nutrição e promoção do crescimento de plantas quanto ao controle biológico de pragas e doenças e à melhoria das propriedades físico-biológicas do solo.

Os principais exemplos de produtos utilizando os microrganismos como bioinsumos são os inoculantes e os biodefensivos:

2. Inoculantes

Os inoculantes são produtos formulados com microrganismos benéficos vivos, especialmente bactérias e fungos, que promovem crescimento vegetal e nutrição. Eles atuam por meio de mecanismos como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes e estímulo de crescimento radicular em plantas. No Brasil, o uso de inoculantes à base de microrganismos como *Bradyrhizobium* (em soja) e *Azospirillum* (em milho) é um exemplo clássico de bioinsumo que aumenta a eficiência de uso de nutrientes e reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos.

Esses produtos não apenas contribuem para a nutrição das plantas, mas também favorecem o equilíbrio biológico do solo, melhorando propriedades físicas e microbiológicas do ambiente radicular, o que é essencial para sistemas agrícolas sustentáveis.

3. Biodefensivos (controle biológico)

Os biodefensivos constituem outra classe importante de bioinsumos que utilizam organismos vivos ou seus metabólitos para controlar pragas e doenças agrícolas de forma seletiva e de baixo impacto ambiental. Isso inclui agentes como bactérias, fungos, vírus e mecanismos biológicos (como feromônios) capazes de inibir populações de insetos-praga, nematoides, fungos fitopatogênicos e outros organismos nocivos, mantendo o equilíbrio ecológico dos ecossistemas.

Ao contrário dos defensivos químicos convencionais, os biodefensivos tendem a ser mais específicos, preservando organismos benéficos e polinizadores, o que reduz impactos negativos sobre a biodiversidade e a saúde humana.

4. Bioquímica e o mecanismo de ação dos bioinsumos

4.1. Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um dos mecanismos mais bem estudados e economicamente relevantes associados aos bioinsumos

microbianos. Nesse processo, bactérias diazotróficas convertem o nitrogênio atmosférico (N_2) (forma inacessível às plantas) em amônia (NH_3), que pode ser assimilada pelos vegetais.

Do ponto de vista bioquímico, a FBN é catalisada pelo complexo enzimático nitrogenase, altamente conservado e sensível ao oxigênio. Essa enzima utiliza grande quantidade de energia metabólica (ATP) e elétrons reduzidos para quebrar a ligação tripla do N_2 , uma das mais estáveis da natureza. A amônia formada é rapidamente incorporada ao metabolismo celular, sendo convertida em aminoácidos como glutamina e glutamato.

No Brasil, a associação simbiótica entre *Bradyrhizobium* e a soja representa um dos maiores exemplos de aplicação prática desse mecanismo, permitindo a redução significativa do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, conforme amplamente documentado pela Embrapa Soja.

4.2. Solubilização e mobilização de nutrientes

Outro mecanismo bioquímico central é a solubilização de nutrientes, especialmente do fósforo, elemento essencial, porém frequentemente presente no solo em formas insolúveis. Microrganismos solubilizadores produzem ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como ácido glucônico, cítrico e oxálico, que promovem a acidificação localizada do solo e a quelagem de cátions, tornando o fósforo disponível para absorção pelas plantas.

Além disso, enzimas como fosfatases hidrolisam compostos orgânicos fosfatados, liberando íons fosfato. Esses processos ampliam a eficiência do uso de nutrientes e contribuem para a redução da dependência de fertilizantes minerais, aspecto fundamental para a sustentabilidade agrícola.

Segundo a Embrapa, esse mecanismo é particularmente relevante em solos tropicais, como os brasileiros, caracterizados por alta fixação de fósforo.

4.3. Produção de fitormônios e modulação do crescimento vegetal

Diversos microrganismos promotores de crescimento vegetal são capazes de sintetizar fitormônios ou moléculas com atividade hormonal, como

auxinas (principalmente ácido indolacético, AIA), giberelinas e citocininas. Essas substâncias atuam diretamente na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando processos como alongamento celular, formação de raízes laterais e diferenciação de tecidos.

Do ponto de vista bioquímico, a produção de auxinas microbianas geralmente está associada ao metabolismo do triptofano, aminoácido abundante em exsudatos radiculares. A presença desses compostos na rizosfera estabelece uma comunicação química entre planta e microrganismo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e aumentando a capacidade de absorção de água e nutrientes.

Pesquisas conduzidas por instituições como a USP e a UEM demonstram que essa modulação hormonal é um dos principais fatores associados ao aumento de produtividade observado com o uso de inoculantes à base de *Azospirillum*.

4.4. Metabólitos antimicrobianos e controle biológico

Microrganismos utilizados como biodefensivos produzem uma ampla variedade de metabólitos secundários, incluindo antibióticos naturais, lipopeptídeos, enzimas hidrolíticas (quitinases, glucanases) e toxinas específicas. Essas moléculas interferem em estruturas celulares de patógenos, como paredes celulares e membranas, ou em processos metabólicos essenciais, levando à inibição ou morte do organismo-alvo.

Fungos do gênero *Trichoderma* e bactérias do gênero *Bacillus* são exemplos amplamente estudados pela Embrapa, devido à sua capacidade de combinar antibiose, parasitismo e indução de resistência sistêmica em plantas, reforçando o sistema de defesa vegetal de forma bioquimicamente mediada.

4.5. Síntese do papel bioquímico dos microrganismos

Os mecanismos descritos demonstram que a eficácia dos bioinsumos está diretamente ligada à bioquímica microbiana e às interações moleculares na interface solo-planta-microrganismo. Ao explorar processos naturais altamente

regulados, os bioinsumos se inserem como soluções tecnológicas compatíveis com os princípios da agricultura sustentável, promovendo produtividade, eficiência no uso de recursos e equilíbrio ambiental.

5. Aplicações práticas no campo:

O avanço do conhecimento sobre a bioquímica e a ecologia dos microrganismos do solo permitiu a consolidação dos bioinsumos como ferramentas efetivas na agricultura sustentável. Diferentemente de abordagens exclusivamente químicas, os bioinsumos atuam por meio de processos biológicos naturais, promovendo a nutrição vegetal, o crescimento das plantas e a sanidade dos agroecossistemas. Atualmente, inoculantes microbianos, biofertilizantes e bioestimulantes já fazem parte do manejo agrícola em larga escala, com resultados consistentes tanto do ponto de vista agrônômico quanto ambiental.

5.1. Inoculantes microbianos

Os inoculantes microbianos consistem em preparações comerciais contendo bactérias ou fungos benéficos, aplicados diretamente às sementes, ao solo ou às plantas. Esses microrganismos são selecionados com base em sua capacidade de promover o crescimento vegetal, aumentar a eficiência no uso de nutrientes e estabelecer interações simbióticas ou associativas com as raízes.

Entre os principais grupos utilizados destacam-se:

- Bactérias fixadoras de nitrogênio, como *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*
- Fungos micorrízicos arbusculares, que ampliam a absorção de fósforo e outros nutrientes pouco móveis no solo;
- Bactérias solubilizadoras de fosfato, capazes de converter formas insolúveis em nutrientes assimiláveis.

A adoção de inoculantes permite reduzir significativamente o uso de fertilizantes minerais, especialmente nitrogenados, diminuindo custos de produção e impactos ambientais associados à sua fabricação e aplicação.

5.2. Biofertilizantes e bioestimulantes: benefícios agronômicos

Os biofertilizantes são produtos derivados de microrganismos vivos ou de seus metabólitos, capazes de melhorar a disponibilidade e a assimilação de nutrientes pelas plantas. Já os bioestimulantes atuam estimulando processos fisiológicos vegetais, como o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e a tolerância a estresses abióticos.

Do ponto de vista bioquímico, esses produtos exercem seus efeitos por meio de:

- Produção de fitormônios (auxinas, giberelinas e citocininas);
- Liberação de ácidos orgânicos e enzimas;
- Modulação do metabolismo vegetal e da microbiota do solo.

Os benefícios agronômicos incluem aumento da produtividade, maior uniformidade de plantas, melhoria da eficiência nutricional e maior resiliência frente a condições adversas, como déficit hídrico e solos de baixa fertilidade.

5.3. Casos de sucesso: inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*

Um dos exemplos mais bem-sucedidos do uso de bioinsumos na agricultura brasileira é a inoculação da soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. Essa simbiose permite a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂), suprimindo praticamente toda a demanda nitrogenada da cultura, dispensando a aplicação de fertilizantes nitrogenados. Estima-se que essa tecnologia gere economia de bilhões de reais por safra e reduza drasticamente a emissão de gases de efeito estufa associados à produção de fertilizantes.

Outro caso relevante é a inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum*, amplamente utilizada em culturas como milho. Diferentemente da simbiose clássica, *Azospirillum* estabelece uma associação com as raízes, promovendo crescimento vegetal principalmente pela produção de auxinas e pelo estímulo ao desenvolvimento radicular, o que resulta em maior eficiência na absorção de água e nutrientes.

Esses casos ilustram como o conhecimento bioquímico das interações microrganismo–planta foi traduzido em tecnologias consolidadas, demonstrando o potencial dos bioinsumos como pilares da agricultura sustentável moderna.

6. Benefícios e limitações dos bioinsumos

A adoção de bioinsumos representa um avanço significativo rumo a sistemas agrícolas mais sustentáveis, baseados na valorização de processos biológicos naturais. No entanto, apesar dos benefícios agronômicos e ambientais amplamente documentados, a consolidação desses produtos em larga escala enfrenta desafios técnicos, industriais e regulatórios. A compreensão equilibrada de benefícios e limitações é essencial para o desenvolvimento de tecnologias biologicamente eficazes e economicamente viáveis.

6.1. Benefícios esperados do uso de bioinsumos

Entre os principais benefícios associados ao uso de bioinsumos destaca-se a redução da dependência de fertilizantes minerais e defensivos químicos sintéticos. Inoculantes microbianos capazes de fixar nitrogênio, solubilizar fósforo ou estimular o crescimento vegetal permitem maior eficiência no uso de nutrientes, reduzindo custos de produção e impactos ambientais relacionados à extração de recursos naturais e à emissão de gases de efeito estufa.

Outro benefício central é a melhoria da saúde do solo. Bioinsumos promovem o aumento da diversidade e da atividade microbiológica, favorecendo a ciclagem de nutrientes, a estabilidade da estrutura do solo e a resiliência dos sistemas produtivos. Esses efeitos contribuem para a manutenção da fertilidade a longo prazo e para a sustentabilidade dos “agroecossistemas”, especialmente em solos tropicais intensamente manejados.

Além disso, o uso de biodefensivos tende a reduzir a contaminação ambiental e os riscos à saúde humana, uma vez que esses produtos apresentam maior especificidade biológica e menor persistência no ambiente quando comparados aos defensivos químicos convencionais.

6.2. Limitações e desafios no uso de bioinsumos

Apesar dos benefícios, os bioinsumos apresentam limitações inerentes à sua natureza biológica, sendo fortemente influenciados por fatores ambientais como temperatura, umidade, pH do solo e composição da microbiota nativa. Essa variabilidade ambiental pode resultar em respostas agronômicas menos previsíveis quando comparadas às de insumos químicos, exigindo estratégias de manejo mais ajustadas às condições locais.

Outro desafio relevante é a sobrevivência e a estabilidade dos microrganismos no solo, especialmente após a aplicação. Fatores como competição com microrganismos nativos, radiação solar, estresse hídrico e presença de resíduos de agroquímicos podem comprometer a viabilidade celular e reduzir a eficiência dos produtos.

No entanto, um dos maiores entraves à ampla adoção dos bioinsumos está relacionado à escalabilidade industrial e à estabilidade das formulações comerciais, especialmente aquelas à base de água.

6.3. Escalabilidade, shelf life e desafios de formulação

Produtos microbiológicos formulados em meio aquoso apresentam desafios significativos de shelf life, uma vez que a água constitui um ambiente altamente favorável ao crescimento microbiano, tanto do microrganismo de interesse quanto de contaminantes indesejáveis. A manutenção da viabilidade celular ao longo do armazenamento exige controle rigoroso de fatores como oxigênio dissolvido, pH, atividade de água, temperatura e disponibilidade de nutrientes residuais.

A contaminação microbiana representa um dos principais riscos durante a produção, formulação e armazenamento de bioinsumos líquidos. Bactérias oportunistas, fungos e leveduras podem competir por nutrientes, produzir metabólitos tóxicos ou alterar as condições físico-químicas do produto, comprometendo sua eficácia e segurança. Esse risco é ampliado em processos de produção em larga escala, nos quais pequenas falhas de assepsia podem resultar em perdas significativas.

Para mitigar esses problemas, estratégias tecnológicas têm sido adotadas, como:

- Uso de meios de cultura quimicamente definidos ou pobres em nutrientes após o crescimento celular;
- Ajuste de pH e potencial redox para limitar o crescimento de contaminantes;
- Emprego de agentes estabilizantes e protetores celulares;
- Formulações sólidas ou semissólidas (turfa, polímeros, encapsulação), que reduzem a atividade de água;
- Implementação rigorosa de boas práticas de fabricação (BPF) e controle microbiológico ao longo de toda a cadeia produtiva.

Essas estratégias demonstram que o sucesso dos bioinsumos depende não apenas da seleção do microrganismo, mas também do desenvolvimento de processos industriais robustos, capazes de garantir estabilidade, segurança e desempenho agrônômico consistente.

6.4. Regulamentação e perspectivas

A regulamentação dos bioinsumos, embora necessária para garantir qualidade e segurança, pode representar um desafio adicional à inovação, especialmente para pequenas empresas e startups. No Brasil, avanços recentes na legislação têm buscado simplificar processos sem comprometer critérios técnicos, mas ainda há necessidade de harmonização entre exigências regulatórias e a dinâmica de desenvolvimento tecnológico.

Os bioinsumos apresentam enorme potencial para transformar os sistemas agrícolas, aliando produtividade e sustentabilidade. No entanto, seu sucesso em larga escala depende da superação de desafios bioquímicos, microbiológicos e industriais, especialmente aqueles relacionados à estabilidade de formulações aquosas, controle de contaminações e escalabilidade produtiva. O enfrentamento desses desafios requer integração entre pesquisa científica, engenharia de bioprocessos e políticas públicas, consolidando os bioinsumos como pilares da agricultura do futuro.

7. perspectivas futuras

O avanço contínuo da bioquímica, da biologia molecular e da engenharia de bioprocessos tem ampliado significativamente o potencial dos bioinsumos na agricultura moderna. As perspectivas futuras apontam para o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais precisas, eficientes e integradas aos princípios da sustentabilidade, consolidando os bioinsumos como elementos centrais na transição para sistemas agrícolas de baixo impacto ambiental.

7.1. Biotecnologia e engenharia genética: genomas e cepas superiores

O sequenciamento de genomas microbianos e o avanço das ferramentas de biologia molecular têm permitido uma compreensão aprofundada dos mecanismos genéticos e metabólicos responsáveis pelos efeitos benéficos dos microrganismos utilizados como bioinsumos. A análise genômica possibilita a identificação de genes associados à fixação de nitrogênio, solubilização de nutrientes, produção de fitormônios, sideróforos e metabólitos antimicrobianos, orientando a seleção racional de cepas superiores.

Além da seleção natural, técnicas de engenharia genética e edição genômica têm potencial para otimizar características específicas, como maior tolerância a estresses ambientais, melhor desempenho metabólico e maior estabilidade em formulações comerciais. Embora o uso de microrganismos geneticamente modificados ainda enfrente desafios regulatórios e de aceitação pública, essa abordagem representa uma fronteira importante para o aumento da eficiência e da previsibilidade dos bioinsumos.

Nesse contexto, a integração entre genômica, transcriptômica e metabolômica tende a acelerar o desenvolvimento de bioinsumos baseados em evidências moleculares, reduzindo o empirismo e fortalecendo o caráter científico dessas tecnologias.

7.2. Formulações avançadas: encapsulamento e sistemas de nanoentrega

Paralelamente aos avanços genéticos, o desenvolvimento de formulações avançadas surge como uma estratégia essencial para superar limitações

relacionadas à estabilidade, à viabilidade celular e à eficiência de aplicação dos bioinsumos. Técnicas de encapsulamento micro e nanométrico permitem proteger microrganismos e metabólitos contra estresses físicos, químicos e biológicos, como radiação, variações de temperatura e competição microbiana no solo.

Sistemas de nanoentrega e matrizes poliméricas biodegradáveis possibilitam a liberação controlada de microrganismos ou compostos bioativos na rizosfera, aumentando o tempo de ação e a eficácia agrônômica. Do ponto de vista bioquímico, essas tecnologias contribuem para a manutenção da atividade metabólica e da integridade celular, além de reduzir perdas durante o armazenamento e após a aplicação no campo.

Essas abordagens representam uma convergência entre bioquímica, ciência dos materiais e engenharia de processos, ampliando o potencial de escalabilidade e comercialização de bioinsumos de alta performance.

8. Referências

ANDERSON, Kayli. Popular fad diets: An evidence-based perspective. **Progress in Cardiovascular Diseases**, v. 77, p. 78-85, 2023

DHAMIJA, Radhika; ECKERT, Susan; WIRRELL, Elaine. Ketogenic Diet. **Canadian Journal of Neurological Sciences**, v. 40, n. 2, p. 158-167, 2013

IRUSA, Karina F.; VENCE, Brian; DONOVAN, Terry. Potential oral health effects of e-cigarettes and vaping: A review and case reports. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, p. 1-5, 2020

KHAWANDANAH, Jomana; TEWFIK, Ihab. Fad Diets: Lifestyle Promises and Health Challenges. **Journal of Food Research**, v. 5, n. 6, p. 80-94, 2016

KOUZOUKAS, Erika et al. The health effects of vaping and e-cigarettes: consensus recommendations. **International Journal of Drug Policy**, v. 148, 105117, 2026

KUCHKUNTALA, Aravind R. et al. Fad Diets: Hype or Hope?. **Current Nutrition Reports**, v. 7, p. 310-323, 2018

LU, Rong et al. Alcohol injury damages intestinal stem cells. **Alcoholism: Clinical and Experimental Research**, 2017

MARTINS, Larissa Castelo Guedes et al. The factors related to a sedentary lifestyle: A meta-analysis review. **Journal of Advanced Nursing**, v. 77, p. 1188–1205, 2021

MENDONCA, Vineetha. Modern Food Habits and Its Impact on Human Health. **International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJIREM)**, p. 182-185, 2023

NORDLI JR., Douglas R.; DE VIVO, Darryl C. The Ketogenic Diet Revisited: Back to the Future. **Epilepsia**, v. 38, n. 7, p. 743-749, 1997

OBAD, Adam et al. Alcohol-Mediated Organ Damages: Heart and Brain. **Frontiers in Pharmacology**, v. 9, n. 81, 2018

O'NEILL, Blair; RAGGI, Paolo. The ketogenic diet: Pros and cons. **Atherosclerosis**, v. 292, p. 119-126, 2019

PARGA, Andres D.; COVEN, Hannah. When Diet Trends Go Viral: Cutaneous Manifestations of Social Media-Driven Fad Diets and Supplements. **Cureus**, v. 17, n. 6, e86334, 2025

PARK, Jung Ha et al. Sedentary Lifestyle: Overview of Updated Evidence of Potential Health Risks. **Korean Journal of Family Medicine**, v. 41, n. 6, p. 365-373, 2020

RINNINELLA, Emanuele et al. Food Components and Dietary Habits: Keys for a Healthy Gut Microbiota Composition. **Nutrients**, v. 11, n. 10, 2393, 2019.

SCHUTZ, Yves; MONTANI, Jean-Pierre; DULLOO, Abdul G. Low-carbohydrate ketogenic diets in body weight control: A recurrent plaguing issue of fad diets?. **Obesity Reviews**, v. 22, n. S2, e13195, 2021

SHRIDHAR, G. et al. Modern Diet and its Impact on Human Health. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 5, n. 6, p. 1000430, 2015

TREMBLAY, Mark Stephen et al. Physiological and health implications of a sedentary lifestyle. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 35, p. 725-740, 2010

WU, Defeng; CEDERBAUM, Arthur I. Alcohol, Oxidative Stress, and Free Radical Damage. **Alcohol Research & Health**, v. 27, n. 4, p. 277-284.

Autores

Rhuan Ribeiro dos Reis

Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Maringá