

Desafios nutricionais em ambientes de microgravidade: Uma visão da alimentação no espaço

Nutritional challenges in microgravity environments: A view of alimentation in space

Desafíos nutricionales en entornos de microgravedad: Una visión de los alimentos en el espacio

Recebido: 27/05/2025 | Revisado: 06/06/2025 | Aceitado: 06/06/2025 | Publicado: 08/06/2025

Bianca Oliveira Cezar dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9694-6767>

Centro Universitário de Brasília, Brasil

E-mail: biancaoliveiracs1301@gmail.com

Mariana Ribeiro Nonis

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4242-3814>

Centro Universitário de Brasília, Brasil

E-mail: mariananonis@gmail.com

Daniela de Araújo Medeiros Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0272-2608>

Centro Universitário de Brasília, Brasil

E-mail: daniela.dias@ceub.edu.br

Resumo

A primeira viagem humana ao espaço aconteceu em abril de 1961, na qual o soviético Yuri Gagarin orbitou ao redor da terra, desde então cientistas buscaram aprimorar tecnologias para explorar o espaço e têm conquistado meios de realizá-las cada vez mais longas. Para que sejam expedições seguras, é necessário a realização de estudos detalhados sobre a alimentação, fisiologia e nutrição dos astronautas. Este trabalho teve como objetivo verificar a alimentação dos astronautas no espaço e suas implicações, analisar os impactos da microgravidade no estado nutricional dos astronautas durante missões espaciais, analisar possíveis alterações no sistema digestivo dos astronautas e identificar fatores espaciais que influenciam no paladar dos astronautas. Além disso, foram priorizados artigos publicados nos últimos 10 anos para garantir a atualidade dos dados, exceto em casos de estudos considerados fundamentais para o tema. Os resultados analisados indicam que para a redução dos efeitos adversos da microgravidade, como a depleção de massa muscular e de massa óssea, alterações no sistema imunológico, disfunções cardiovasculares e alterações oculares é necessária uma nutrição adequada e específica para esse público. Assim, dietas hiperproteicas enriquecidas com cálcio, vitamina D, antioxidantes e ômega-3 mostraram-se eficazes na manutenção da saúde dos astronautas. Além disso, quando a alimentação não satisfaz a Ingestão Diária Recomendada (IDR), a suplementação nutricional foi essencial para preservar a densidade óssea, o desempenho físico, a imunidade, a microbiota intestinal e a saúde ocular.

Palavras-chave: Astronautas; Ciência de alimentos; Nutrição; Nutrição espacial.

Abstract

The first human spaceflight took place in April 1961, when Soviet astronaut Yuri Gagarin orbited the Earth. Since then, scientists have sought to improve technologies to explore space and have been developing means of making these trips longer and longer. In order for these expeditions to be safe, detailed studies on the diet, physiology, and nutrition of astronauts are necessary. This study aimed to verify the diet of astronauts in space and its implications, analyze the impacts of microgravity on the nutritional status of astronauts during space missions, analyze possible changes in the digestive system of astronauts, and identify space factors that influence the taste of astronauts. In addition, priority was given to articles published in the last 10 years to ensure that the data were up-to-date, except in cases of studies considered fundamental to the subject. The results analyzed indicate that in order to reduce the adverse effects of microgravity, such as depletion of muscle mass and bone mass, changes in the immune system, cardiovascular dysfunctions, and eye changes, adequate and specific nutrition is necessary for this population. Thus, high-protein diets enriched with calcium, vitamin D, antioxidants and omega-3 proved effective in maintaining the health of astronauts. Furthermore, when the diet did not meet the Recommended Daily Intake (RDI), nutritional supplementation was essential to preserve bone density, physical performance, immunity, intestinal microbiota and eye health.

Keywords: Astronauts; Food science; Nutrition; Space nutrition.

Resumen

El primer vuelo espacial tripulado tuvo lugar en abril de 1961, cuando el astronauta soviético Yuri Gagarin orbitó la Tierra. Desde entonces, los científicos han buscado mejorar las tecnologías para explorar el espacio y han desarrollado medios para prolongar cada vez más estos viajes. Para que estas expediciones sean seguras, es necesario realizar estudios detallados sobre la dieta, la fisiología y la nutrición de los astronautas. Este estudio tuvo como objetivo verificar la dieta de los astronautas en el espacio y sus implicaciones, analizar el impacto de la microgravedad en su estado nutricional durante las misiones espaciales, analizar los posibles cambios en su sistema digestivo e identificar los factores espaciales que influyen en su gusto. Además, se priorizó la publicación de artículos en los últimos 10 años para garantizar la actualización de los datos, excepto en los casos de estudios considerados fundamentales para el tema. Los resultados analizados indican que, para reducir los efectos adversos de la microgravedad, como la pérdida de masa muscular y ósea, las alteraciones del sistema inmunitario, las disfunciones cardiovasculares y las alteraciones oculares, es necesaria una nutrición adecuada y específica para esta población. Así, las dietas ricas en proteínas, enriquecidas con calcio, vitamina D, antioxidantes y omega-3, resultaron eficaces para mantener la salud de los astronautas. Además, cuando la dieta no cumplía con la Ingesta Diaria Recomendada (IDR), la suplementación nutricional fue esencial para preservar la densidad ósea, el rendimiento físico, la inmunidad, la microbiota intestinal y la salud ocular.

Palabras clave: Astronautas; Ciencia de los alimentos; Nutrición; Nutrición espacial.

1. Introdução

As missões espaciais de longa duração representam um desafio significativo para a saúde humana, exigindo uma compreensão aprofundada dos efeitos fisiológicos do ambiente espacial e o desenvolvimento de estratégias eficazes para mitigar seus impactos. A exposição à microgravidade, radiação, isolamento e confinamento pode levar a uma série de alterações fisiológicas, incluindo neuroinflamação, efeitos cognitivos e comportamentais a longo prazo. Nesse contexto, a nutrição desempenha um papel fundamental na manutenção da saúde e no desempenho dos astronautas (Zwart et al., 2021).

As refeições no espaço, no entanto, devem ser preparadas e armazenadas sob rígidos padrões nutricionais e de cuidados. (Ahmed, 1988) conta que no primeiro voo espacial os astronautas se alimentaram com purê de carne e molho de chocolate confinados a tubos de compressão. Mostrando que antigamente o foco era alimentos não perecíveis e fácil manejo, não havia foco em nutrir e preservar a saúde dos tripulantes.

As primeiras refeições espaciais foram desenvolvidas com a finalidade de facilitar o armazenamento, de serem leves e compactas, resistentes às contaminações e deteriorações. (Oluwafemi, 2018). Outro fator analisado no desenvolvimento foi que os alimentos não deveriam produzir migalhas, a fim de evitar que migalhas flutuassem ao redor da espaçonave, podendo danificar os equipamentos (Gary et al., 1996).

Quando se há exposição prolongada do organismo humano ao ambiente de microgravidade, como nas missões de longa duração realizadas pelos astronautas, as agências espaciais possuem também o desafio de mitigar as alterações fisiológicas dos tripulantes (Smith et al., 2014). Visto que, as alterações podem se dar na perda de massa muscular e óssea, modificações no sistema imunológico e na absorção de nutrientes (Smith et al., 2014).

No espaço profundo, duas formas de radiação apresentam risco à saúde dos astronautas. Uma delas é a radiação de raios cósmicos galácticos, partículas provenientes de explosões de supernovas e outros eventos de alta energia do lado de fora do sistema solar. A outra é a radiação de partículas energéticas solares, que são espalhadas pelo sol por explosões e ejeções de massa coronal. A unidade de medida da exposição à radiação é o Sievert ou mSv. Um raio de uma dose de 1 Sv, administrado ao longo do tempo, é conectado a um risco de 5% de câncer fatal (Measurements of Energetic Particle Radiation in Transit to Mars on the Mars Science Laboratory [...], 2013).

Segundo (Brett, 2013) os astronautas tentavam imitar a comida da terra o máximo possível, pois isso mantém os astronautas conectados à terra de certa forma, é uma ligação psicológica que faz com que se sintam mais próximos da terra. Assim, podemos notar como a alimentação possui uma carga emocional e carrega com ela memórias de momentos envolvendo a comensalidade. Ou seja, a alimentação dos astronautas também é um fator importante para o bem-estar e o impacto

psicológico. Devido ao estresse de estar em um ambiente isolado e confinado, é necessário refeições palatáveis e balanceadas nutricionalmente para melhorar o sistema imunológico e ajudar no bem-estar psíquico (Cranford & Turner, 2021).

Além da alimentação, a ingestão adequada de água é de extrema importância para os astronautas durante os voos espaciais para evitar a desidratação, promover a circulação sanguínea, regular a temperatura corporal, ajudar a absorver melhor nutrientes, a função imunológica e o equilíbrio hormonal (Lane et al., 1994).

Mesmo que sejam utilizadas embalagens de alta qualidade para conservar os alimentos, ainda há reações químicas que podem alterar a qualidade dos alimentos (Tang et al., 2022). Essa limitação na preservação dos alimentos mostra que é necessário o desenvolvimento de novas tecnologias para aumentar a validade dos alimentos espaciais.

Diante do exposto, este estudo terá por objetivo analisar a alimentação dos astronautas no espaço e suas implicações fisiológicas, explorando as estratégias adotadas para mitigar os efeitos adversos da microgravidade na saúde humana.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa de natureza quantitativa em relação à quantidade de artigos selecionados e qualitativa em relação às discussões realizadas sobre os artigos selecionados (Pereira et al., 2018). O presente estudo realizou uma revisão integrativa da literatura (Crossetti, 2012) sobre a alimentação dos astronautas no espaço e suas implicações fisiológicas, principalmente em relação às deficiências nutricionais, alterações do TGI e estresse oxidativo predominantes na base de dados PubMed, SciELO, EBSCOhost, Google Acadêmico. Foram selecionados estudos internacionais publicados no período de 2015 a 2025, em inglês. Foi utilizado também o operador booleano “AND” para fazer a soma dos termos relativos à "astronaut", "nutrition", "water", "physiology", "nutrition and health" e "alimentation".

Foi consultado somente referências sobre o tema, contextualizando as alterações na fisiologia dos astronautas e a nutrição na prevenção e reparação da saúde em voos espaciais. A análise dos resultados encontrados ocorreu mediante a leitura do título e do resumo inicialmente e, conseqüentemente, a leitura do artigo por inteiro a fim de verificar a potencial relevância do estudo.

Os critérios de exclusão foram os artigos e periódicos científicos que não se adequam ao período e as línguas pré-definidas, que fogem ao tema central da pesquisa, trabalhos com metodologia pouco clara, estudos duplicados e que não atendem ao tema proposto para o presente estudo.

Foram incluídos artigos que fizeram relação entre Alimentação E Voo Espacial levando em consideração os possíveis efeitos dos nutrientes para dar suporte e reparação ao organismo humano no espaço. Para tanto, em resumo, foi realizada a busca nas bases de dados artigos que contemplassem o descritor astronauta com o filtro nutrição e, conseqüentemente, realizou-se a busca com as combinações “Physiology AND Alimentation”.

Com os resultados obtidos, foi feita a exclusão a partir da leitura de títulos e resumos, removendo-se os estudos que não relacionam ao tema proposto. Os estudos selecionados, por outro lado, seguiram para a etapa de leitura crítica e minuciosa e posterior interpretação dos dados. E por fim, foi feita a síntese dos resultados obtidos por todos os trabalhos avaliados. Para tanto, foi adotada a seguinte estratégia de busca na literatura:

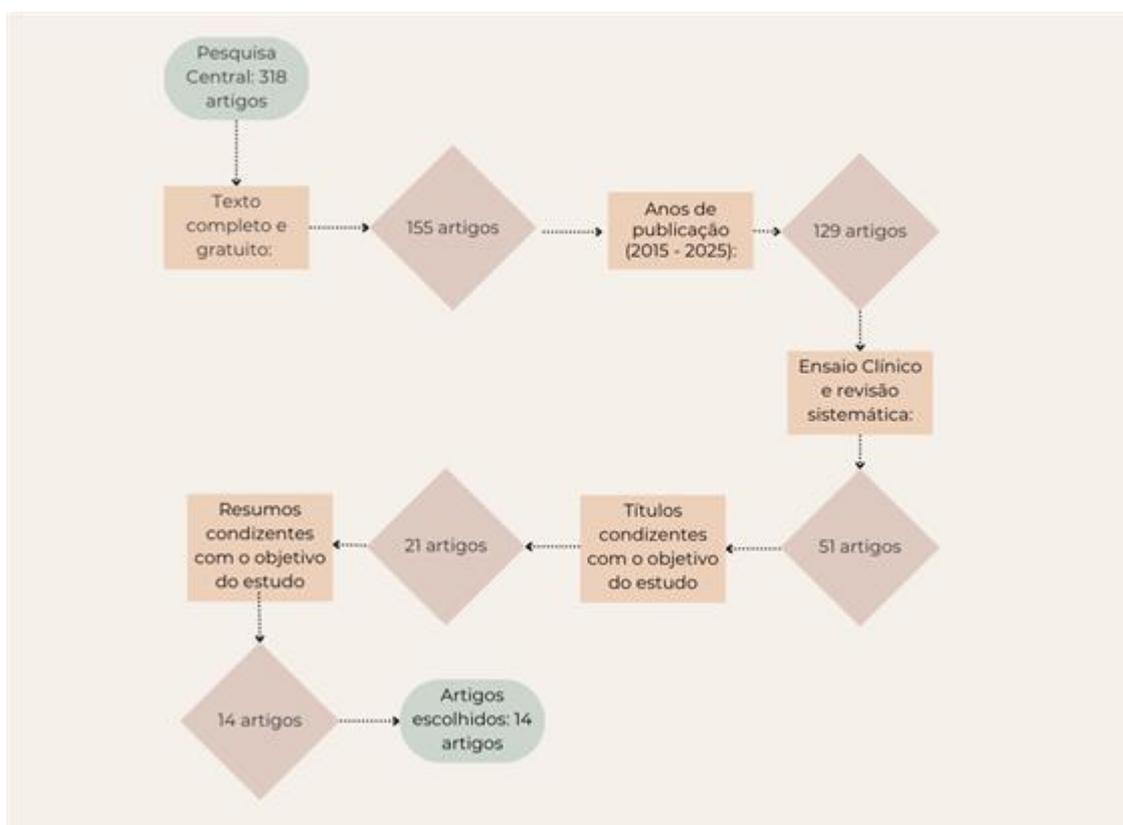
1. Foram buscados na base de dados “Astronaut”
2. Foi acrescido o descritor intermediário “Nutrition”
3. Foi acrescido o operador booleano “AND”.
4. Realizou-se a busca com a combinação: Physiology
5. Foi adicionado o filtro: humanos.
6. Foi incluído o filtro de período de publicação entre 2015 e 2025.

7. Foram acrescentados os filtros: texto completo gratuito e ensaio clínico, e revisão de literatura.
8. Foi feita a exclusão a partir da leitura de títulos e resumos, removendo-se os estudos que não relacionam ao tema
9. Por outro lado, os estudos escolhidos avançaram para uma fase de análise detalhada e cuidadosa, seguida pela interpretação dos dados.

3. Resultados

Mediante os critérios de inclusão e exclusão, foram identificados 318 artigos publicados na base de dados. Após a triagem dos títulos e resumos, houve a exclusão de 283 artigos que não se alinhavam ao tema de pesquisa. Por fim, de acordo com os critérios de inclusão, 35 artigos foram revisados e analisados para a verificação da questão levantada, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Organograma de seleção dos artigos.



Fonte: Elaborado pelas Autoras (2025).

Os principais resultados dos artigos analisados foram apresentados no Quadro 1. A partir da leitura do resumo e dos textos na íntegra, foram selecionados quatorze artigos (n=14) que se aproximavam do objetivo proposto pela presente pesquisa, a fim de reportar a relação de como voos de longa e curta duração afetam a fisiologia humana, tendo a nutrição como aliada para prevenir e remediar danos.

Quadro 1 - Síntese das principais características e resultados das revisões analisadas (n = 14).

Autor, Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Baba, Shahid Smith, Ted Hellmann, Jason Bhatnagar, Aruni Carter, Kathy Van Hoover, Alexandria Caruso, John. 2020	Quantificar a ingestão de ácidos graxos ômega-3, β-alanina e carnosina de tal dieta e examinar o impacto de cada nutriente no desempenho do exercício em voos espaciais.	Pesquisa explicativa Mulheres (n = 11) Homens (n = 10) Total (n=21) Um valor de α de 0,05 denotou significância para todas as nossas análises.	Os resultados incluíram ingestão diária de ácidos graxos ômega-3 abaixo da ingestão dietética sugerida. A ingestão diária de ácidos graxos ômega-3, β-alanina e carnosina se correlacionou com quantidades não significativas de variação do volume de trabalho do treino.
Cahill, T.;Hardiman, G. 2020	Discutir os desafios técnicos associados ao fornecimento de alimentos suficientes com conteúdo nutricional suficiente em missões espaciais de longo prazo, os estresses fisiológicos, como microgravidade e exposição à radiação, que podem ser prejudiciais à saúde dos astronautas e as medidas nutricionais que podem combatê-los	Revisão da literatura.	O estado nutricional é alterado durante e após vôos espaciais de longa duração. Cinco décadas de voos espaciais tripulados demonstraram que a fisiologia humana é afetada pelas viagens espaciais, e isso tem muitas implicações para a nutrição adequada no espaço.
Dickerson, Broderick L;Sowinski, Ryan;Kreider, Richard B;Wu, Guoyao, 2023	Os efeitos da microgravidade no metabolismo de aminoácidos em vários tecidos de astronautas.	Revisão da literatura	Os efeitos da microgravidade influenciam uma série de respostas celulares nas quais os aminoácidos estão envolvidos, fazendo com que os astronautas experimentem composição microbiana intestinal alterada, desregulação imunológica, atrofia do músculo esquelético, estresse oxidativo, hipovolemia e perda óssea. Manter o consumo adequado de proteínas (1,3–1,6 g/kg/peso corporal/dia) com aminoácidos proteínogênicos, AASAs e alguns aminoácidos não proteínogênicos é enfatizado à medida que os astronautas se aventuram na microgravidade.
Eckberg, Dwain L;Diedrich, André;Cooke, William H;Biaggioni, Italo;Buckey, Jay C, Jr;Pawelczyk, James A;mais 11, 2016	Identificar alterações autonômicas que possam contribuir para a intolerância ortostática pós-voo.	Estudo experimental Estudamos astronautas saudáveis antes, durante e depois da missão do ônibus espacial Neurolab com respiração controlada e apneia, para identificar alterações autonômicas que possam contribuir para a intolerância ortostática pós-voo.	A pressão arterial mudou sistematicamente em relação aos níveis anteriores ao voo: a pressão caiu durante a exposição inicial à microgravidade, aumentou à medida que a exposição à microgravidade continuou e voltou aos níveis anteriores ao voo após o retorno à Terra.
Gabel, Leigh;Liphardt, Anna-Maria;Hulme, Paul A.;Heer, Martina;Zwart, Sara R.;Sibonga, Jean D.;mais 2, 2022	O objetivo principal deste estudo foi usar HR-pQCT de segunda geração para examinar a recuperação da microarquitetura, densidade e força óssea após voos espaciais de longa duração.	Estudo prospectivo (n=17 astronautas) Os astronautas receberam 800 UI de vitamina D 3	Os resultados do estudo sugerem recuperação incompleta da força, densidade e microarquitetura trabecular óssea na tíbia de sustentação de peso, proporcional a uma década ou mais de perda óssea terrestre relacionada à idade.

<p>Garcia-Medina, J Sebastian; Sienkiewicz, Karolina; Narayanan, S Anand; Ovebey, Eliah G; Grigorev, Kirill; Ryon, Krista A;mais, 2024</p>	<p>Aprender sobre a adaptação humana aos desafios únicos do voo espacial, incluindo microgravidade, perturbações do sistema imunológico e exposição à radiação</p>	<p>Estudo experimental Coletamos manchas de sangue seco antes, durante e pós-voo para extração de DNA. O comprimento dos telômeros foi medido por PCR quantitativo, enquanto o genoma completo e o sequenciamento do cfDNA forneceram informações sobre a estabilidade genômica e as adaptações imunológicas.</p>	<p>Não foi observada hematopoiese clonal significativa de potencial indeterminado (CHIP) ou instabilidade do genoma inteiro. As mudanças de expressão gênica de longo prazo nas células imunológicas sugeriram adaptações celulares ao ambiente espacial que persistem meses após o voo.</p>
<p>Houerbi, Nadia;Kim, JangKeun;Overbey, Eliah G;Batra, Richa; Schweickart, Annalise; Patras, Laura;mais 33. 2024</p>	<p>Como mesmos voos espaciais de curta duração podem perturbar a fisiologia humana e murina e identificar biomarcadores de voos espaciais que podem orientar o desenvolvimento de contramedidas.</p>	<p>Estudo in vivo Camundongos Os tecidos foram isolados de camundongos C57BL / 6 fêmeas virgens de 6 a 8 semanas de idade e processados sendo examinados dados de carga de proteína EVP em 13 tecidos de camundongos de um atlas EVP público. Os EVPs foram isolados e o perfil proteômico imparcial da carga EVP foi realizado conforme descrito acima.</p>	<p>O perfil do secretoma da tripulação do i4 após um voo espacial de 3 dias revelou mudanças significativas no estresse oxidativo, homeostase cerebral e marcadores de coagulação. Essas mudanças se recuperaram amplamente após o voo espacial, embora algumas proteínas (particularmente no plasma) ainda permanecessem diferencialmente abundantes seis meses depois.</p>
<p>Kim, Jang Keun;Tierney, Braden T;Overbey, Eliah G;Dantas, Ezequiel;Fuentealba, Matias;Park, Jiwoon;mais 44, 2024</p>	<p>Caracterizar as alterações imunológicas e metabólicas induzidas pelo voo espacial.</p>	<p>Pesquisa experimental Tripulação da missão SpaceX Inspiration 4 (I4) Dados de RNA livre de células (cfRNA), bioquímicos e hematológicos de célula única, multi-ome para a tripulação da missão SpaceX Inspiration 4 (I4).</p>	<p>Os valores basais da tripulação (pré-voo) foram comparados com os obtidos 24h após o retorno à Terra e pós-voo, que revelou um conjunto de citocinas com aumento significativo ($n = 13$) e um conjunto menor ($n = 5$) de moléculas com uma diminuição significativa. Os aumentos de IL-6, IL-10, CRP e MCP-1 foram consistentes com as mudanças observadas em outros astronautas após missões de longa duração (3-6 meses ou 12 meses de duração). Além disso, várias outras citocinas pró-inflamatórias (TNFα, IL-27, PCR) e quimiocinas (IP-10, ENA-78, Fractalkine) também foram significativamente reguladas positivamente em $R + 1$</p>
<p>Overbey, Eliah G.;da Silveira, Willian Abraham; Stanbouly, Seta; Nishiyama, Nina C.; Roque-Torres, Gina D.; Pecaut, Michael J.;mais 6 2024</p>	<p>Determinar se o voo espacial altera os perfis de expressão gênica e induz danos oxidativos na retina.</p>	<p>Estudo in vivo Camundongos Camundongos machos C57BL / 6 adultos de dez semanas foram levados a bordo da ISS por 35 dias e retornaram vivos à Terra. Os ratos de controle terrestre foram mantidos na Terra sob condições ambientais idênticas. Dentro de 38 (+/-4) horas após o splashdown, os tecidos oculares dos camundongos foram coletados para análise.</p>	<p>A espessura total da retina, do epitélio pigmentar da retina e da camada coróide foi significativamente menor após o voo espacial. Esses resultados indicam que o desempenho da retina pode diminuir durante longos períodos de voo espacial e causar deficiência visual.</p>

Rutter, Lindsay A;Cope, Henry;MacKay, Matthew J;Herranz, Raúl;Das, Saswati;Ponomarev, Sergey A;mais 9. 2024	Como o alvorecer da exploração humana diversificada do espaço mais profundo pode se beneficiar de avanços sofisticados na nutrição e saúde dos voos espaciais que podem ser atendidos em parte com a adição de ômicas padronizadas de rotina.	Revisão de literatura	Desenvolvimento de um atlas de células humanas sob condições ambientais de voo espacial que poderia ajudar como um recurso global disponível abertamente para a pesquisa fundamental em ciências da vida espacial.
Tang, Hong;Rising, Hope Hui;Majji, Manoranjan;Brown, Robert D. 2022.	Identificar evidências atuais e lacunas no campo da nutrição espacial de longo prazo. Especificamente, a revisão teve como alvo as necessidades nutricionais críticas durante missões tripuladas de longo prazo no espaço sideral, além dos componentes essenciais de um sistema de nutrição espacial sustentável para atender a essas necessidades	Esta revisão de escopo foi conduzida usando a lista de verificação Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR). Alguns dos itens da lista de verificação não foram usados porque foram projetados para meta-análises, que estão fora do escopo desta revisão.	É possível abordar fatores ambientais adversos de curto prazo e deficiências nutricionais adotando medidas dietéticas eficazes, selecionando os tipos certos de alimentos e suplementos e engajando-se em práticas alimentares e de produção sustentável de alimentos específicos.
Taylor, Andrew J;Beauchamp, Jonath anD;Briand, Loïc;Heer, Martina;Hummel, Thomas;Margot, Christian;mais 4, 2020	Identificar causas potenciais, bem como áreas onde existem lacunas no conhecimento fundamental, de modo a identificar tópicos para pesquisas futuras, para apoiar estudos sobre as origens do déficit calórico durante o voo espacial.	Revisão da literatura	Embora haja fortes evidências de que o sabor dos alimentos pode afetar a ingestão de alimentos, e evidências de astronautas de que eles sentem uma mudança no sabor durante o voo espacial, nenhum dos fatores que avaliamos pode explicar a diminuição da ingestão de alimentos observada nos astronautas.
Turróni, Silvia;Magnani, Marciane;Kc, Pukar;Lesnik, Philippe;Vidal, Hubert;Heer, Martina, 2020	Apoiar um microbioma saudável por meio de medidas respectivas em viajantes espaciais pode manter sua saúde durante a missão, mas também apoiar a reabilitação quando estiver de volta à Terra.	Revisão da literatura	Os estudos disponíveis até o momento mostram que o exossoma espacial pode influenciar fortemente a microbiota intestinal dos viajantes espaciais, com o potencial comprometimento da relação homeostática com o hospedeiro.

Fonte: Elaborado pelas Autoras (2025).

Legenda: GeneLab: Genes ligados à fragilidade putativa do Repositório de Dados de Ciência Aberta da NASA; NASA: Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço; JAXA: Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial; Inspiration 4: Voo espacial lançado no dia 16 de setembro de 2021; AASAs: Aminoácidos sintetizáveis de novo em células animais ; Neurolab: Ônibus Espacial; HR-pQCT: Tomografia computadorizada quantitativa periférica de alta resolução; UI: Unidade Internacional; DNA: ácido desoxirribonucleico; PCR: Proteína C-Reativa; cfDNA: DNA livre circulante; C57BL: Camundongos machos; EVP: Vesículas e Partículas Extracelulares; cfRNA: RNA livre circulante; IL-6: Interleucina 6; IL-10: Interleucina 10; MCP-1: Proteína quimiotática de macrófagos/monócitos-1; TNF α : Fator de Necrose Tumoral Alfa; IL-27: Interleucina 27; IP-10: Proteína 10 induzível pelo interferon gama; ENA-78: Quimiocina que desempenha um papel crucial no recrutamento de neutrófilos ; R + 1: Valores basais; ISS: Estação Espacial Internacional.

4. Discussão

A avaliação do estado nutricional de astronautas ao longo de cinco décadas de voos espaciais revelou que a fisiologia humana sofre adaptações significativas que impactam diretamente as necessidades nutricionais dos tripulantes. A microgravidade, em particular, induz alterações na expressão gênica das células imunológicas, na composição da microbiota intestinal, na massa muscular, na densidade óssea e no nível de estresse celular (Dickerson *et al.*, 2023). Nesse contexto, a nutrição emerge como um fator essencial para controlar e mitigar os danos celulares induzidos pelo ambiente espacial. A

adoção de medidas dietéticas eficazes, complementadas pela suplementação de vitaminas e minerais quando necessário, pode minimizar as alterações fisiológicas e promover a saúde dos astronautas (Tang *et al.*, 2022).

A ingestão alimentar reduzida e as alterações no paladar frequentemente relatadas por astronautas durante viagens espaciais (Kim *et al.*, 2024) reforçam a necessidade de estratégias nutricionais que priorizem a palatabilidade e a aceitação dos alimentos, além de garantir a ingestão calórica e de nutrientes adequada.

Os efeitos da microgravidade exercem uma influência direta nas respostas celulares do organismo humano, afetando o metabolismo dos aminoácidos e contribuindo para a atrofia muscular e o estresse oxidativo (Dickerson *et al.*, 2023). A ingestão adequada de proteínas, com ênfase nos aminoácidos essenciais, desempenha um papel crucial na preservação da massa muscular e na prevenção da sarcopenia. Uma dieta hiperproteica, com uma ingestão recomendada de 1,3 a 1,6 g/kg de peso corporal por dia, pode ajudar a mitigar os efeitos nocivos da ausência de gravidade (Dickerson *et al.*, 2023).

Além de sua importância para a manutenção da massa muscular, as proteínas desempenham um papel fundamental no desempenho dos astronautas, influenciando a memória, a cicatrização e a função imunológica. Estudos demonstram que as viagens espaciais induzem alterações na densidade, na força e na microarquitetura óssea, equivalentes a uma década ou mais de perda óssea relacionada ao envelhecimento na Terra.

A recuperação da densidade óssea após o retorno à Terra pode ser incompleta (Gabel *et al.*, 2022), o que reforça a necessidade de estratégias nutricionais que atenuem a depleção óssea durante as missões espaciais. A ingestão ideal de cálcio, combinada com a ingestão hídrica recomendada, pode reduzir a perda de minerais nos ossos, manter a densidade e a força óssea e prevenir complicações renais (Dickerson *et al.*, 2023). Nesse contexto, pesquisas e estudos que abordam a conservação de alimentos com alta biodisponibilidade de cálcio são de extrema importância para viagens de longa duração no espaço (Gabel *et al.*, 2022).

O voo espacial pode desencadear alterações significativas na pressão arterial em diferentes momentos da missão. Estudos têm demonstrado que a pressão arterial tende a diminuir durante a exposição inicial à microgravidade, aumentar com a continuidade da exposição e retornar aos níveis pré-voo após o retorno à Terra (Eckberg *et al.*, 2016). A frequência de explosão do motoneurônio simpático durante a respiração silenciosa também pode aumentar, e a responsividade simpática à apneia pode ser alterada. Embora os mecanismos subjacentes a essas alterações ainda não sejam totalmente compreendidos, é possível que estejam relacionados a situações de estresse extremo, ansiedade ou pânico, que ativam o sistema nervoso simpático e desencadeiam uma série de respostas fisiológicas rápidas e intensas (Eckberg *et al.*, 2016). A realização de novos estudos é fundamental para elucidar esses mecanismos e desenvolver estratégias para mitigar as variações na pressão arterial durante o voo espacial.

Estudos analisados indicam que as bactérias intestinais benéficas tendem a diminuir durante as viagens espaciais. Fatores internos e externos, como a radiação, a microgravidade e as influências sociais e psicológicas, podem comprometer a relação homeostática entre o hospedeiro e a microbiota intestinal (Turroni *et al.*, 2020). Considerando a importância da microbiota intestinal para otimizar a absorção de nutrientes (Turroni *et al.*, 2020), torna-se essencial desenvolver estratégias para atenuar os fatores estressantes psicossociais e promover o consumo de alimentos ricos em fibras (>25g por dia) e probióticos com longa duração, adequados para viagens espaciais prolongadas (Tang *et al.*, 2022).

Os vôos espaciais podem induzir danos oxidativos e alterar os perfis de expressão gênica, resultando em danos à retina. Estudos têm demonstrado que o epitélio pigmentar da retina e a camada coróide podem sofrer uma diminuição da espessura após a viagem espacial, o que pode levar à deficiência visual nos astronautas. Embora tenham sido identificados mecanismos compensatórios em modelos animais para reduzir o dano celular em viagens espaciais (Overbey *et al.*, 2024), são necessários novos estudos para avaliar a duração desses mecanismos e desenvolver estratégias para estender e amplificar seus

efeitos benéficos. A retinite pigmentosa, uma doença análoga terrena, pode fornecer pistas para o desenvolvimento de contramedidas, uma vez que a suplementação com determinados minerais e vitaminas, como a vitamina A, tem demonstrado retardar a progressão da doença (Overbey *et al.*, 2024).

5. Considerações Finais

A alimentação dos astronautas em missões espaciais prolongadas representa um desafio complexo que exige uma abordagem multidisciplinar e altamente personalizada. A nutrição adequada e específica é fundamental para mitigar os efeitos adversos da microgravidade e garantir a saúde e o bem-estar dos astronautas. No entanto, o conhecimento sobre os efeitos do ambiente espacial no organismo humano e as estratégias nutricionais mais eficazes para mitigar esses efeitos ainda é limitado, o que reforça a necessidade de pesquisas contínuas.

Com base na análise dos estudos revisados, conclui-se que a nutrição desempenha um papel essencial na preservação, manutenção e cuidado da saúde dos astronautas no espaço, especialmente em viagens de longa duração, que demandam maior atenção devido às alterações induzidas pela microgravidade e pela radiação cósmica. Os efeitos decorrentes desse ambiente afetam significativamente diversos sistemas fisiológicos, incluindo o musculoesquelético, cardiovascular, imunológico, digestivo e ocular.

O metabolismo proteico é comprometido pelo estresse oxidativo, resultando na perda de massa muscular e na aceleração de processos catabólicos. A depleção óssea representa um risco adicional, com alterações na densidade, composição e força dos ossos que equivalem a décadas de envelhecimento terrestre. O sistema cardiovascular é impactado, resultando em alterações significativas na regulação da pressão arterial e na atividade autonômica, além de modificar a distribuição dos fluidos corporais, o que influencia diretamente o funcionamento hemodinâmico e a resposta do sistema nervoso simpático.

As bactérias benéficas intestinais diminuem durante as viagens espaciais, como resultado de múltiplos fatores estressores que comprometem a homeostase entre o hospedeiro e a microbiota intestinal, afetando não apenas a saúde gastrointestinal, mas também o sistema imunológico, que depende do funcionamento regular do intestino. A absorção de nutrientes no sistema digestivo também é comprometida, o que impacta nas outras alterações fisiológicas. Adicionalmente, observou-se que danos oxidativos modificam os perfis de expressão gênica, resultando em degeneração da espessura total da retina e aumentando o risco de deficiências oculares em astronautas.

Portanto, conclui-se que estratégias nutricionais aliadas à suplementação, quando necessária, auxiliam na mitigação dessas alterações fisiológicas, contribuindo para a preservação da saúde e do bem-estar físico e emocional dos astronautas durante as missões espaciais. Para o futuro, recomenda-se a realização de novos estudos direcionados a voos de longa duração, com foco na monitorização integral da saúde fisiológica e no aprimoramento de pesquisas relacionadas à palatabilidade, à composição e à conservação dos alimentos, visando diminuir os efeitos nocivos decorrentes da exposição ao ambiente espacial.

Agradecimentos

Aos professores do curso de Nutrição, em especial à nossa orientadora, que compartilharam conosco conhecimentos que nos auxiliaram no processo de formação profissional ao longo do curso.

Referências

Ahmed, S. (1988). Comparação dos programas de alimentação e nutrição espacial soviético e americano. Johnson Space Center. 58, 1-16. Doi: 19890010688. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19890010688/downloads/19890010688.pdf> Almeida, I. (2024). Cientistas tentam amenizar efeitos da gravidade zero na imunidade humana. <https://www.correiobraziliense.com.br/ciencia-e-saude/2024/06/6875630-cientistas-tentam-amenizar-efeitos-da-gravidade-zero-na-imunidade-humana.html>.

- Baba, S., Smith, T., Hellman, J., Bhatnagar, A., Carter, K., Vanhoover, A. & Caruso, J. (2020). Space Flight Diet-Induced Deficiency and Response to Gravity-Free Resistive Exercise. *Nutrients*. 12 (8), 2400. Doi: 10.3390/nu12082400. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=caa4a14c-1ab3-3706-b1e9-9b4aa9ebc9c8>. Brett, M. (2013). Combustível de foguete. *Smithsonian*. 44 (3), 58-9. <https://www.smithsonianmag.com/history/unpack-a-meal-of-astronaut-space-food-73348642/>.
- Cahill, T. & Hardman, G. (2020). Desafios nutricionais e contramedidas para viagens espaciais. *Nutrition Bulletin*. 45 (1), 98-105. Doi: 10.1111/nbu.12422. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/nbu.12422>. Camera, A., Tabetah, M., Castañeda, V., Kim, J. et al. (2024). Aging and putative frailty biomarkers are altered by spaceflight. *Scientific Reports*, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 1–21. DOI 10.1038/s41598-024-57948-5. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=7f50f941-01aa-3fbb-8ac5-f227ec584d04>.
- Chaloulakou, S., Polia, K. & Karayiannis, D. (2022). Physiological Alterations in Relation to Space Flight: The Role of Nutrition. *Nutrients*. Athens. 14. Doi: <https://doi.org/10.3390/nu14224896>. <https://www.mdpi.com/2072-6643/14/22/4896>. Cranford, N. & Turner, J. (2021). The human body in space. NASA. <https://www.nasa.gov/humans-in-space/the-human-body-in-space/>.
- Dickerson, B. L., Sowinski, R., Kreider, R. B. & Wu, G. (2023). Impacts of microgravity on amino acid metabolism during spaceflight. *Experimental biology and medicine* (Maywood, N.J.). 248 (5), 380–93. Doi: 10.1177/15353702221139189. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=7f126be3-f530-3c0b-bb4b-13474f06636d>. Crossetti, M. G. M. (2012). Revisión integradora de la investigación en enfermería el rigor científico que se le exige. *Maria Da Graça Oliveira Crossetti. Rev. Gaúcha Enferm*.33(2), 8-9.
- Eckeberg, D. L., Diedrich, A., Cooke, W. H., et al. (2016). Respiratory modulation of human autonomic function: long-term neuroplasticity in space. *The Journal of physiology*. 594 (19), 5629–46. Doi: 10.1113/JP271656. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=90afeb16-fa0f-3260-8fad-87b7aad9aad>.
- Fhadil, S. & Wright, P. (2015). Eletrólitos em Cardiologia. *The Pharmaceutical Journal*, PJ. 294 (7849). Doi: 10.1211/PJ.2015.20067712. <https://pharmaceutical-journal.com/article/ld/electrolytes-in-cardiology>. Oluwafemi, F., Abdelbaki, R., C.-Y. La, J., Mora-Almanza, J., M. & Afolayan, E. (2021). A review of astronaut mental health in manned missions: Potential interventions for cognitive and mental health challenges. *Science Direct*. Doi: 10.1016/j.issr.2020.12.002. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214552420300870>.
- Gabel, L., Liphardt, A.-M., Hulme, P.A., Heer, M., Zwart, S.R., Sibonga, J. D., Smith, S. M. & Boyd, S. K. (2022). Incomplete recovery of bone strength and trabecular microarchitecture at the distal tibia 1 year after return from long duration spaceflight. *Scientific Reports*. 12(1), 1–13. Doi: 10.1038/s41598-022-13461-1. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=6ab38e30-baa9-3342-93bc-ffb2f67a77d7>.
- Garcia-Medina, J. S., Sienkiewicz, K., Narayanan, S. A. et al. (2024). Genome and clonal hematopoiesis stability contrasts with immune, cfDNA, mitochondrial, and telomere length changes during short duration spaceflight. *Precision clinical medicine*. 7(1), pbae007. Doi: 10.1093/pcmedi/pbae007. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=3057b868-a4b3-3aff-b4e9-16beaa4b52e9>.
- Houerbi, N., Kim, J. K. Overbey, E. G., Batra, R., Schweickart, A. et al. (2024). Secretome profiling reveals acute changes in oxidative stress, brain homeostasis, and coagulation following short-duration spaceflight. *Nature communications*. 15(1), 4862. Doi: 10.1038/s41467-024-48841-w. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=89b37cf7-8a70-350b-99fb-533f68be6ab4>.
- Kim, J., Tierney, B. T., Overbey, E. G., Dantas, E. et al. (2024). Single-cell multi-ome and immune profiles of the Inspiration4 crew reveal conserved, cell-type, and sex-specific responses to spaceflight. *Nature communications*. 15 (1), 4954. Doi: 10.1038/s41467-024-49211-2. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=1042632f-5e00-3391-9c1d-074efe25cccd>.
- Lane, H., Smith, S., Rice, B. & Bourland, C. (1994). Nutrition in space: lessons from the past applied to the future. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Elsevier. Doi: 10.1093/ajcn/60.5.801S. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0002916523185273>. NASA. (2023) Counteracting Bone and Muscle Loss in Microgravity. *Escritório de Integração de Pesquisa da Estação Espacial*. <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/counteracting-bone-and-muscle-loss-in-microgravity/>
- Oluwafemi, F. A., De La Torre, A., Afolayan, E. M., Olalekan-Ajayi, B. M., Dhital, B., Mora-Almanza, J. G., Potrivitu, G., Creech, J. & Rivolta, A. (2018). Space Food and Nutrition in a Long Term Manned Mission. *Adv. Astronaut. Sci. Technol*. 1, 1–21. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42423-018-0016-2>. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42423-018-0016-2#citeas>.
- Overbey, E. G., da Silveira, W. A., Stanbouly, S., Nishiyama, N. C., Roque-Torres, G. D., Pecaut, M. J., Zawieja, D. C., Wang, C., Willey, J. S., Delp, M. D., Hardiman, G. & Mao, X. W. (2019). Spaceflight influences gene expression, photoreceptor integrity, and oxidative stress-related damage in the murine retina. *Scientific Reports*. 9 (1). Doi: 10.1038/s41598-019-49453-x. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=a2da1e2a-94a9-3038-82e0-3e1ea2bf896d>.
- Pereira A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free e-book]. Editora da UAB/NTE/UFSM.
- Rutter, L. A., Cope, H., MacKay, M. J., Herranz, R., Das, S., Ponomarev, S. A., Costes, S. V., Paul, A. M., Barker, R., Taylor, D. M., Bezdán, D., Szweczyk, N. J., Muratani, M., Mason, C. E. & Giacomello, S. (2024). Astronaut omics and the impact of space on the human body at scale. *Nature communications*. 15(1), 4952. Doi: 10.1038/s41467-024-47237-0. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=cc70a0e1-aa4f-3341-85b5-d599727313e7>.
- Smith, S. M., Abrams, A. S., Davis-Street, J. E., Heer, M., O'Brien, K. O., Wastney, M. E. & Zwart, S. R. (2014). Space nutrition: impacts on human health. *Annual Review of Nutrition*. 34, 377–400. Doi: 10.1146/annurev-nutr-071813-105440. <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-nutr-071813-105440>.
- Smith, S., Zwart, S., Douglas, G. & Heer, M. (2015). *Human Adaptation to Spaceflight: The Role of Food and Nutrition*. Second Edition. Local: NASA Johnson Space Center Houston, Texas USA. National Aeronautics and Space Administration.
- Tang, H., Rising, H. H., Majji, M. & Brown, R. D. (2022). Long-Term Space Nutrition: A Scoping Review. *Nutrients*. 14(1), 194. Doi: 10.3390/nu14010194. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=4c44b51e-fc04-3562-8d5e-a35062e5e1c1>

Taylor, A. J., Beauchamp, J. D., Briand, L., Heer, M., Hummel, T., Margot, C., McGrane, S., Pieters, S., Pittia, P. & Spence, C. (2020). Factors affecting flavor perception in space: Does the spacecraft environment influence food intake by astronauts? *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 19(6), 3439–75. Doi: 10.1111/1541-4337.12633. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=8b981096-f883-352d-a162-e225786c4923>.

Turroni, S., Magnani, M., Kc, P., Lesnik, P., Vidal, H. & Heer, M. (2020). Gut Microbiome and Space Travelers' Health: State of the Art and Possible Pro/Prebiotic Strategies for Long-Term Space Missions. *Frontiers in physiology*. 11, 553929. Doi: 10.3389/fphys.2020.553929. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=b24d8c0b-f50d-38db-914d-7f715450c1fc>

Vernice, N. A., Meydan, C., Afshinnekoo, E. & Mason, C. E. (2020). Long-term spaceflight and the cardiovascular system. *Precision Clinical Medicine*. 3(4), 284–29, dec. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1093/pcmedi/pbaa022>. <https://academic.oup.com/pcm/article/3/4/284/5858004?login=false>.

Zeitlin, C., Hassler, D. M., Cucinotta, F. A., Ehresmann, B., Wimmer-Schweingruber, R. F., Brinza, D. E., Kang, S., Weigle, G. et al. (2013) Measurements of Energetic Particle Radiation in Transit to Mars on the Mars Science Laboratory Small. 340(6136), 1080-4. Doi: 10.1126/science.1235989. <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=radiacao-viagem-marte-ameaca-saude-astronautas&id=010130130531>. Acesso em: 27 out. 2024

Zwart, S. R., Mulavara, A. P., Williams T. J., George, K. & Smith, S. M. (2021). The role of nutrition in space exploration: Implications for sensorimotor, cognition, behavior and the cerebral changes due to the exposure to radiation, altered gravity, and isolation/confinement hazards of spaceflight. *Neurosci Biobehav*. 127, 307-31. Doi: 10.1016/j.neubiorev.2021.04.026. 2021 Apr 26. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33915203/>