

©Copyright 2025. Centro Universitário São Camilo.

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS.

Micronutrientes na nutrição humana.

CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO CAMILO

REITOR

Anísio Baldessin

COORDENADORA GERAL DE GRADUAÇÃO

Celina Camargo Bartalotti

PRODUÇÃO EDITORIAL Coordenadora Editorial

Bruna San Gregório

Analista Editorial

Cintia Machado dos Santos

Assistente Editorial

Bruna Diseró

Autoras

Giovanna Kansha Perracini Fernanda Ferreira Corrêa Mariana Doce Passadore Roseli Espíndola Balchiunas Andréa Lorenzi

Organizadora

Fernanda Ferreira Corrêa

M572

Micronutrientes na nutrição humana / Fernanda Ferreira Corrêa (Org.) -- São Paulo: Setor de Publicações – Centro Universitário São Camilo, 2025 66 p.

Vários Autores ISBN 978-85-87121-85-1

 Micronutrientes 2. Nutrição 3. Saúde humana I. Corrêa, Fernanda Ferreira II. Título

CDD: 612.39

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ana Lucia Pitta CRB 8/9316



APRESENTAÇÃO

icronutrientes são substâncias essenciais, incluindo as vitaminas e os minerais, que o corpo necessita em pequenas quantidades, mas que são vitais para a saúde. Em geral, nutrientes são substâncias químicas dos alimentos, fundamentais para o funcionamento do organismo, sendo absorvidos e assimilados após a digestão para promover o equilíbrio e a prevenção de doenças. A falta ou o excesso de nutrientes pode causar doenças — como as crônicas, associadas ao consumo excessivo — ou condições específicas, como a anemia ferropriva e o bócio, devido à deficiência de ferro e iodo, respectivamente (Cukier, 2020).

Os micronutrientes atuam como cofatores, coenzimas e reguladores metabólicos, participando de reações bioquímicas, sendo essenciais para o metabolismo celular, o equilíbrio hormonal, a resposta imunológica e a saúde óssea, além de auxiliarem no desenvolvi-



mento neurológico. Mesmo em pequenas quantidades, sua deficiência pode causar problemas graves, afetando o bem-estar e a funcionalidade do organismo (WHO, 2024).

Diversas condições de saúde estão associadas à deficiência de micronutrientes. Entre os exemplos mais conhecidos estão a anemia ferropriva, causada pela deficiência de ferro, e o bócio, relacionado à deficiência de iodo, ambos trazem consequências graves para a saúde e a qualidade de vida (Cukier, 2020). Outros exemplos incluem as deficiências de vitaminas do complexo B, das vitaminas A e D e do mineral zinco, que também podem afetar o sistema imunológico, o desenvolvimento físico e cognitivo e a visão.

Por outro lado, o consumo excessivo de certos micronutrientes, especialmente por meio de suplementos sem orientação profissional, pode levar a efeitos tóxicos, como danos hepáticos, neurológicos e ósseos.

Além de seu papel clínico e preventivo, os micronutrientes são importantes no contexto da segurança alimentar e nutricional. Garantir o acesso a alimentos variados e ricos em nutrientes é fundamental para a promoção da saúde e do bem-estar ao longo da vida.

Estratégias como a fortificação de alimentos, a diversificação dos alimentos da dieta e estratégias de educação nutricional são essenciais no combate à desnutrição oculta.

Este e-book visa apoiar a disciplina de Nutrição Humana, abordando as funções dos principais micronutrientes, seu metabolismo, fontes alimentares, formas ativas de vitaminas e sua biodisponibilidade, com foco em promover o conhecimento para uma alimentação equilibrada, a fim de atender às necessidades nutricionais e prevenir doenças.

sumário

VITAMINAS LIPOSSOLÚVEIS	5
VITAMINA A	6
VITAMINA D	8
VITAMINA E	10
VITAMINA K	12
VITAMINAS HIDROSSOLÚVEIS	14
VITAMINA C	15
VITAMINA B1 (Tiamina)	17
VITAMINA B2 (Riboflavina)	19
VITAMINA B3 (Niacina)	21
VITAMINA B5 (Ácido pantotênico)	23
VITAMINA B6 (Piridoxina)	25
VITAMINA B7 (Biotina)	27
VITAMINA B9 (Ácido fólico/Folato)	29
VITAMINA B12 (Cobalamina)	31
MINERAIS	33
FERRO	34
CÁLCIO	36
MAGNÉSIO	38
MANGANÊS	40
COBRE	42
ZINCO	45
SELÊNIO	47
IODO	50
FÓSFORO	52
ELEMENTOS-TRAÇO	54
MOLIBDÊNIO	55
CROMO	56
BORO	57
FLÚOR	
CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS	



VITAMINAS LIPOSSOLÚVEIS



 Participa da formação e manutenção de tecidos epiteliais, que são fundamentais para a proteção das mucosas e da pele.

Desempenha um papel vital no sistema imunológico, contribuindo para a prevenção de infecções.

- Destaca-se sua função na conversão de sinais visuais, pois compõe a rodopsina, pigmento necessário para o ciclo da visão noturna, além de participar da manutenção das estruturas oculares.
- A vitamina A também contribui para o crescimento e a diferenciação celular, sendo importan-

te para o desenvolvimento ósseo e a saúde reprodutiva.

FONTES ALIMENTARES

- As fontes de vitamina A variam entre alimentos de origem animal e vegetal.
- O retinol é encontrado em fígado, óleos de fígado de peixe, leite integral e derivados (iogurte e queijos), além de ovos.
- Já os carotenoides, que o corpo converte em vitamina A, são abundantes em frutas e vegetais de coloração laranja, amarela e verde-escura, como cenoura, abóbora, manga, espinafre e brócolis.



METABOLISMO

- A vitamina A é absorvida no intestino delgado, sendo armazenada principalmente no fígado, onde pode ser mobilizada quando necessário.
- Essa vitamina está disponível no organismo na forma de retinol e carotenoides, como o betacaroteno, que podem ser convertidos em retinol pelo próprio organismo.
- A taxa de conversão depende do estado nutricional, da idade e da ingestão dietética de vitamina A.

- A biodisponibilidade da vitamina A depende da forma consumida.
- A vitamina A pré-formada (retinol) de fontes animais possui alta biodisponibilidade.
- Já os carotenoides, precursores da vitamina A, têm uma taxa de conversão que pode ser limitada pela quantidade ingerida e pela eficiência do organismo em converter esses compostos em retinol.
- A presença de gorduras na refeição favorece a absorção da vitamina A por meio da formação de micelas e quilomícrons, uma vez que esta é uma vitamina lipossolúvel.

- **Gestante:** importante para visão, imunidade, crescimento e diferenciação celular. A ingestão deve ser controlada, pois o excesso é teratogênico. Suplementação apenas em áreas com deficiência grave (Jouanne *et al.*, 2021).
- Lactante: importante para a função imunológica, visão e integridade das mucosas. Suplementação recomendada apenas em populações com deficiência (Jouanne *et al.*, 2021).
- **Criança e adolescente:** sua deficiência aumenta o risco de infecções e prejudica o crescimento. É importante para o desenvolvimento físico e imunológico nesta fase (Norris *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** a perda de vitamina A nas células-tronco musculares leva ao aumento do estresse mitocondrial e à perda da capacidade de repouso celular. A reposição com ácido retinoico melhora o metabolismo oxidativo e restaura a função mitocondrial comprometida nesta fase (Fraczek *et al.*, 2025).

DOENÇAS CRÔNICAS

- · Osteoporose: modula a formação óssea, participando tanto da osteogênese quanto da reabsorção óssea. Atua na diferenciação celular e na regulação do metabolismo ósseo. Seu excesso pode aumentar o risco de fraturas. É necessário manter a ingestão dentro dos níveis recomendados (Skalny *et al.*, 2024).
- · Diabetes: é um dos antioxidantes que combatem o estresse oxidativo exacerbado no diabetes. Participa da modulação do metabolismo lipídico e da sensibilidade à insulina. Pode ter níveis reduzidos em indivíduos com diabetes devido à maior demanda antioxidante. A suplementação pode atenuar complicações associadas ao estresse oxidativo (Valdés-Ramos *et al.*, 2015).





- A vitamina D é essencial para a saúde óssea, pois regula o metabolismo do cálcio e do fósforo, promovendo a mineralização óssea.
- Ela aumenta a taxa de absorção de cálcio no intestino e a reabsorção nos rins, o que contribui para a manutenção de níveis adequados de cálcio no sangue.

· Além disso, a vitamina D desempenha funções importantes nos sistemas endócrino e imunológico, na prevenção de infecções e em processos anti-inflamatórios, além de ser estudada por seu potencial na redução do risco de doenças crônicas.

FONTES ALIMENTARES

- Peixes gordurosos, como salmão, sardinha e atum, óleo de fígado de bacalhau e, em menor quantidade, ovos e cogumelos.
- Alimentos fortificados, como leites e cereais, também contribuem para a ingestão dietética, especialmente em populações com baixa exposição solar.



- A vitamina D pode ser obtida por meio da exposição solar ou pela dieta.
- A radiação UVB da luz solar converte o 7-desidrocolesterol na pele em vitamina D3 (colecalciferol).
- Essa forma, assim como a vitamina D2 (ergocalciferol) proveniente da dieta, é transportada para o fígado, onde é convertida em 25-hidroxivitamina D. A 25(OH)D é a principal forma circulante e é ativada nos rins, transformando-se em calcitriol [1,25 (OH)D], a forma ativa da vitamina D, que exerce funções biológicas no organismo.

- A biodisponibilidade da vitamina D pode ser influenciada pela quantidade de gordura na dieta, pois a vitamina D é lipossolúvel e sua absorção é favorecida pela ingestão de gorduras e, portanto, pela formação de micelas e quilomícrons.
- A exposição solar, porém, é a principal fonte não alimentar de vitamina D, e fatores como exposição solar, uso de filtro solar, pigmentação da pele, latitude e estação do ano impactam diretamente na síntese cutânea da vitamina.

- **Gestante:** regula o metabolismo do cálcio e a mineralização óssea fetal. Sua deficiência pode levar à hipocalcemia neonatal e osteomalácia materna. Recomenda-se o monitoramento dos níveis da vitamina D, especialmente em meses de baixa exposição solar (Jouanne *et al.*, 2021).
- Lactante: necessária para garantir a qualidade do leite e prevenir raquitismo no lactente. A suplementação materna pode ser necessária, com doses seguras de até 6400 UI/dia (Jouanne et al., 2021).
- Criança e adolescente: deficiências são comuns, impactando negativamente o crescimento ósseo e aumentando o risco de fraturas. Importante para alcançar o pico ideal de massa óssea (Norris *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** a produção cutânea de vitamina D diminui com a idade; dessa forma, idosos produzem até 50% menos vitamina D do que adultos jovens. A deficiência é altamente prevalente, especialmente em institucionalizados e acamados. A estratégia mais eficaz para prevenção é a suplementação e fortificação de alimentos, mais do que a exposição solar (Bruins; Van Dael; Eggersdorfer, 2019; Giustina *et al.*, 2023).

DOENÇAS CRÔNICAS

- Doenças cardiovasculares: modula a função cardiovascular e a musculatura esquelética. Contribui para a melhora da fração de ejeção cardíaca e redução de biomarcadores inflamatórios. A deficiência é comum em pacientes com insuficiência cardíaca. A suplementação pode melhorar parâmetros clínicos (Khan *et al.*, 2021).
- Câncer: possui efeitos antineoplásicos e imunomoduladores. A deficiência está associada a um maior risco e progressão de tumores. A suplementação pode melhorar o prognóstico e potencializar terapias oncológicas (Peterson *et al.*, 2020; Seraphin *et al.*, 2023).
- Diabetes: modula a função imunológica e metabólica. Pode reduzir o risco de desenvolvimento e complicações do diabetes, incluindo as cardiovasculares. Sua deficiência está associada ao risco aumentado de diabetes e complicações associadas. Suplementação pode ser necessária em populações de risco (Valdés-Ramos *et al.*, 2015).



- A vitamina E é um antioxidante potente, protegendo as células contra os danos causados por radicais livres.
- Ela atua na prevenção da oxidação de ácidos graxos poli-insaturados nas membranas celulares, o que ajuda a manter a integridade celular.
- A vitamina E também age no sistema imunológico, favorece a saúde da pele e dos vasos sanguíneos e contribui para a prevenção de doenças

crônicas, como as cardiovasculares, em função do seu efeito antioxidante.

 Além disso, participa da reprodução humana, desde a fertilização até o fim da gestação.

FONTES ALIMENTARES

- As principais fontes alimentares de vitamina E são óleos vegetais (como óleo de girassol, soja e milho), nozes, sementes e vegetais de folhas verdes.
- Além disso, alguns alimentos, como cereais e sucos, podem ser fortificados com vitamina E para ajudar a alcançar a ingestão recomendada.



METABOLISMO

- A vitamina E, especificamente na forma de alfa-tocoferol, é absorvida no intestino delgado e transportada por lipoproteínas até o fígado, onde é redistribuída.
- Por ser lipossolúvel, necessita da presença de lipídios para ser absorvida de forma eficaz.

- A biodisponibilidade da vitamina E depende da quantidade de lipídios presentes na dieta, facilitando sua absorção.
- Por ser lipossolúvel, a vitamina E é absorvida quando consumida com fontes de gordura.
- Fatores como processamento e armazenamento de alimentos podem reduzir a quantidade de vitamina E disponível, uma vez que ela é sensível ao calor, à luz e ao oxigênio.

- **Gestante:** a deficiência aumenta a peroxidação lipídica e causa desequilíbrios metabólicos no embrião, afetando a formação do tubo neural e de outros órgãos. É essencial para o desenvolvimento neurológico, proteção contra o estresse oxidativo e redução do risco de aborto espontâneo nas fases iniciais da gestação (Traber, 2021).
- Lactante: o leite materno, especialmente o colostro, é rico em vitamina E e contribui para o aumento das defesas antioxidantes do recém-nascido. A amamentação é essencial para melhorar o estado nutricional de vitamina E do bebê, sobretudo em prematuros ou de baixo peso. Mesmo em casos de deficiência materna, a glândula mamária mobiliza reservas do tecido adiposo para manter os níveis de α-tocoferol no leite, favorecendo a proteção contra o estresse oxidativo nos primeiros dias de vida (Da Silva Ribeiro *et al.*, 2016).
- Criança e adolescente: níveis adequados de vitamina E estão associados à menor incidência de asma e sibilos em crianças. Sua ação antioxidante e imunomoduladora protege as vias aéreas do estresse oxidativo e da inflamação, contribuindo para a prevenção de doenças respiratórias nessa fase (Xiong *et al.*, 2023).
- **Pessoa idosa:** a deficiência pode contribuir para disfunções imunológicas e aumento do risco de doenças crônicas. O seu consumo é muitas vezes insuficiente (Bruins; Van Dael; Eggersdorfer, 2019; Giustina *et al.*, 2023).

DOENÇAS CRÔNICAS

- Osteoporose: é um potente antioxidante e protege as células ósseas contra o estresse oxidativo. Estimula a diferenciação osteoblástica e inibe a osteoclastogênese. Suas deficiências podem comprometer a formação óssea. Os tocotrienóis são mais eficazes que tocoferóis na saúde óssea (Skalny *et al.*, 2024).
- Diabetes: antioxidante que combate o estresse oxidativo exacerbado no diabetes. Participa da modulação do metabolismo lipídico e da sensibilidade à insulina. Níveis reduzidos em indivíduos com diabetes *Mellitus* tipo 2 devido à maior demanda antioxidante. A suplementação pode atenuar complicações associadas ao estresse oxidativo (Valdés-Ramos *et al.*, 2015).



- A vitamina K é essencial para a coagulação sanguínea, ativando proteínas da cascata de coagulação para a formação de fibrina e, assim, de coágulos, sendo, portanto, fundamental para prevenir sangramentos.
- Ela também desempenha um papel importante na saúde óssea ao ativar a osteocalcina, uma proteína que contribui para a fixação de cálcio

nos ossos, ajudando a manter a densidade óssea e reduzindo o risco de fraturas.

• Estudos indicam que a vitamina K também pode auxiliar na prevenção da calcificação arterial, beneficiando a saúde cardiovascular.

FONTES ALIMENTARES

• A vitamina K1 é encontrada principalmente em vegetais de folhas verdes, como espinafre, couve, brócolis e alface. Já a vitamina K2 está presente em alimentos fermentados, como o *natto* (soja fermentada), e em alimentos de origem animal, como carnes e queijos, além de ser sintetizada pelas bactérias intestinais.



METABOLISMO

- A vitamina K é uma vitamina lipossolúvel, absorvida no intestino delgado em presença de gordura dietética.
- No organismo, existem duas formas principais de vitamina K: a vitamina K1 (filoquinona), encontrada em alimentos vegetais, e a vitamina K2 (menaquinona), sintetizada por bactérias intestinais e obtida por meio de alimentos fermentados e de origem animal.
- · Após a absorção, a vitamina K é transportada para o fígado, onde é reduzida, atuando como coenzima das enzimas carboxilases envolvidas na coagulação sanguínea, sendo armazenada em pequenas quantidades e usada conforme a necessidade do organismo.

- A biodisponibilidade da vitamina K depende da forma e da presença de gorduras na dieta, sendo melhor absorvida quando consumida com fontes lipídicas.
- A vitamina K2 é considerada mais biodisponível e tem uma meia-vida mais longa no organismo em comparação com a vitamina K1.
- Fatores que podem reduzir sua biodisponibilidade incluem o uso de antibióticos, que podem afetar a microbiota intestinal e, consequentemente, a produção de vitamina K2.

- **Gestante:** é fundamental para o metabolismo ósseo e tem sido usada com segurança no tratamento da osteoporose relacionada à gestação. Sua deficiência representa risco significativo de hemorragias, tanto para a mãe quanto para o feto, devido à redução dos níveis de protrombina. A suplementação está associada à menor incidência de hemorragia pós-parto (Cemortan; Sagaidac; Cernetchi, 2022).
- Lactante: a vitamina K é essencial para a síntese de fatores de coagulação, mas o leite materno possui baixo teor dessa vitamina. Recém-nascidos são especialmente vulneráveis à deficiência devido à transferência placentária inadequada, flora intestinal imatura e má-absorção de nutrientes. Sua falta pode causar sangramento por deficiência de vitamina K, que pode ser precoce, clássico ou tardio este último pode ser fatal. Por isso, a suplementação com vitamina K é recomendada para todos os bebês, tendo como estratégia a administração oral, por ser mais fácil, segura e econômica do que a via intramuscular (Araki; Shirahata, 2020).
- Criança e adolescente: a deficiência de vitamina K nesta fase está frequentemente associada a distúrbios de má-absorção de gordura, levando a hematomas, sangramentos frequentes e comprometimento da saúde óssea, com risco de osteoporose. Também pode ocorrer por colonização intestinal deficiente por bactérias ou por deficiência da enzima vitamina K epóxido redutase, resultando em coagulopatias graves e/ou defeitos esqueléticos (Kozioł-Kozakowska; Maresz, 2022).
- **Pessoa idosa:** a maior ingestão de vitamina K na dieta está associada a um melhor desempenho cognitivo em idosos, especialmente em funções como memória e raciocínio. A vitamina K participa de processos importantes no cérebro, como proteção contra inflamações, estresse oxidativo e formação da mielina. Idosos com baixa ingestão dessa vitamina apresentaram um maior risco de prejuízos cognitivos, embora os efeitos variem conforme a quantidade consumida e a fonte alimentar, sendo os vegetais mais eficazes do que os grãos (Wang *et al.*, 2022).

DOENÇAS CRÔNICAS

• Osteoporose: essencial para a carboxilação da osteocalcina, facilitando a mineralização óssea. Reduz o risco de fraturas e melhora a densidade mineral óssea. A deficiência é comum em dietas ocidentais. A suplementação precoce pode ser benéfica na prevenção da osteoporose (Skalny et al., 2024).





- A vitamina C atua como um poderoso antioxidante, protegendo as células contra danos causados por radicais livres.
- Ela é essencial para a síntese de colágeno, proteína fundamental para a estrutura da pele, vasos sanguíneos, cartilagens e ossos, e desempenha um papel importante na cicatrização de feridas.
- · Além disso, a vitamina C participa da absorção de ferro não heme, aumentando sua biodisponibilidade, e ainda contribui para o bom funcionamento do sistema imunológico.

FONTES ALIMENTARES

- As principais fontes alimentares de vitamina C são frutas cítricas e vegetais crus.
- Entre os alimentos ricos em vitamina C estão acerola, laranja, limão, morango, kiwi, mamão, goiaba, brócolis, pimentão e couve.
- Esses alimentos devem ser consumidos crus sempre que possível, pois o calor, a luz e o armazenamento prolongado podem reduzir o teor de vitamina C.

FORMA ATIVA

• A forma ativa da vitamina C no organismo é o ácido ascórbico.

Esse composto exerce as funções antioxidantes e enzimáticas, sendo esta a principal forma pela qual o corpo a utiliza para obter seus benefícios.

METABOLISMO

- A vitamina C é absorvida principalmente no intestino delgado por meio de transporte ativo, sendo transportada pelo sangue para diferentes tecidos do corpo.
- O organismo não possui reservas significativas de vitamina C, por isso a ingestão regular é necessária para manter seus níveis adequados.
- Seus metabólitos são excretados pela urina, e, quando em excesso, a vitamina C pode ser excretada de forma inalterada.

- A biodisponibilidade da vitamina C é alta em doses moderadas, mas sua absorção diminui conforme aumento das quantidades ingeridas devido ao limite de absorção intestinal.
- Por ser hidrossolúvel, sua biodisponibilidade é influenciada pelo tempo de armazenamento e cozimento dos alimentos, que podem reduzir sua concentração.
- A vitamina C é melhor absorvida quando consumida em conjunto com uma dieta rica em vegetais e frutas frescas, idealmente cruas ou minimamente processadas.

- **Gestante:** a vitamina C é essencial para o desenvolvimento fetal, imunidade e proteção contra o estresse oxidativo. Sua deficiência está associada a complicações como hipertensão gestacional, parto prematuro, hemorragias placentárias e prejuízos no crescimento fetal e no desenvolvimento neurológico. Por outro lado, o excesso pode causar distúrbios gastrointestinais, formação de cálculos renais e, em casos extremos, escorbuto de rebote no recém-nascido (Podolska *et al.*, 2023).
- Lactante: a vitamina C é importante para a qualidade do leite materno e contribui para a saúde antioxidante da mãe e do bebê. Sua concentração no leite é mais influenciada pela ingestão de alimentos naturais (frutas e vegetais) do que por suplementos. Altas doses de suplementação não aumentam significativamente os níveis de vitamina C no leite, pois sua excreção é regulada pelo organismo para evitar excessos (Martysiak-Żurowska *et al.*, 2016).
- Criança e adolescente: a deficiência pode afetar negativamente o crescimento, a integridade óssea e a imunidade (Norris *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** a baixa ingestão em idosos está associada a maior risco de infecções, atraso na cicatrização e doenças crônicas (Bruins; Van Dael; Eggersdorfer, 2019; Giustina *et al.*, 2023).

DOENÇAS CRÔNICAS

- Osteoporose: essencial para a síntese de colágeno, fundamental na matriz óssea. Protege contra estresse oxidativo e promove diferenciação osteoblástica. Sua deficiência compromete a qualidade óssea. A ingestão adequada promove formação e manutenção óssea saudável (Skalny *et al.*, 2024).
- Diabetes: antioxidante que combate o estresse oxidativo exacerbado na diabetes. Participa da modulação do metabolismo lipídico e da sensibilidade à insulina. Os níveis são reduzidos em indivíduos com diabetes *mellitus* tipo 2 devido à maior demanda antioxidante. A suplementação pode atenuar complicações associadas ao estresse oxidativo (Valdés-Ramos *et al.*, 2015).

VITAMINA B1

FUNÇÕES

- Atua como cofator essencial no metabolismo de carboidratos, auxiliando na conversão de glicose em energia.
- É particularmente importante para o ciclo de Krebs, no qual a coenzima tiamina pirofosfato (TPP) é necessária para a atividade da enzima piruvato desidrogenase.
- É essencial para o metabolismo dos aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina e valina).
- Contribui para a manutenção da saúde cardiovascular e para o funcionamento adequado do sistema nervoso, sendo necessária para a síntese de neurotransmissores como a acetilcolina.

METABOLISMO

- É absorvida no intestino delgado por transporte ativo a baixas concentrações e por difusão passiva em concentrações elevadas.
- Transportada pelo sangue ligada à albumina ou na forma livre, é armazenada em pequenas quantidades nos músculos, fígado, coração e rins.
- · Seus metabólitos são excretados pela urina.

FORMA ATIVA

• Sua forma ativa é a coenzima tiamina pirofosfato (TPP), que participa como cofator em reações enzimáticas, principalmente do metabolismo de carboidratos, na síntese de neurotransmissores e na transmissão do impulso nervoso.

FONTES ALIMENTARES

• Os principais alimentos ricos em vitamina B1 incluem cereais integrais, sementes, carnes magras (especialmente carne de porco), legumes, nozes e cereais fortificados.



BIODISPONIBILIDADE

• A biodisponibilidade é boa em dietas equilibradas; porém, inibida por compostos antitiamínicos em alguns alimentos crus, como peixe e chá, e pelo consumo excessivo de álcool.

- **Gestante:** a tiamina é essencial para o metabolismo energético e desenvolvimento fetal. Sua deficiência na gestação está associada a complicações graves, como neuropatias, encefalopatia de Wernicke, insuficiência cardíaca e prejuízos neurológicos no feto. Gestantes com dietas restritivas ou com hiperêmese estão em maior risco. A suplementação adequada previne essas manifestações e promove uma gestação saudável (Kareem *et al.*, 2023).
- Lactante: a vitamina B1 é importante para garantir a qualidade do leite materno e proteger o bebê contra o beribéri infantil, que pode ser fatal. A deficiência materna pode levar a sintomas graves no lactente, como insuficiência cardíaca e alterações neurológicas. A suplementação eleva os níveis de tiamina no leite e previne esses desfechos (Kareem *et al.*, 2023).
- Criança e adolescente: a tiamina é essencial nessa fase para o metabolismo energético, desenvolvimento neurológico e equilíbrio emocional. Sua deficiência pode causar irritabilidade, perda de apetite, dores musculares, ataxia, paralisia, alterações de humor e até sintomas depressivos. Há relatos de melhora na cognição e nas habilidades sociais em crianças com autismo após suplementação com derivados de tiamina (Ali *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** a deficiência de vitamina B1 nessa fase está associada a doenças neurodegenerativas, como Alzheimer, além de sintomas como confusão mental, ataxia e amnésia, semelhantes à síndrome de Wernicke-Korsakoff. A baixa atividade de enzimas dependentes de tiamina pode comprometer o metabolismo cerebral e favorecer o declínio cognitivo, exigindo atenção especial à ingestão adequada da vitamina (Ali *et al.*, 2022).

VITAMINA (Riboflavina)

Funções

- Atua como cofator de enzimas envolvidas em reações de oxirredução, essenciais para o metabolismo energético de carboidratos, gorduras e proteínas.
- Participa da conversão de outras vitaminas em suas formas ativas, como a vitamina B6 (piridoxina) e a B9 (ácido fólico).
- Contribui para a saúde ocular, integridade da pele e regeneração de glutationa, que participa de reações antioxidantes intracelulares.

METABOLISMO

- É absorvida no intestino delgado, onde é convertida em flavina mononucleotídeo (FMN) e flavina adenina dinucleotídeo (FAD), suas formas ativas.
- É distribuída para tecidos como fígado, coração e rins.

FORMA ATIVA

 Suas formas ativas são FMN e FAD, que participam de reações enzimáticas no metabolismo energético.

FONTES ALIMENTARES

 Alimentos como leite, ovos, fígado, vegetais de folhas verdes, cereais integrais e fortificados são ricos em riboflavina.



BIODISPONIBILIDADE

• Boa biodisponibilidade em alimentos frescos e integrais. Porém, pode ser prejudicada pelo armazenamento inadequado ou exposição à luz, que degrada a vitamina.

- **Gestante:** a deficiência de riboflavina surgiu como um possível fator de risco para pré-eclâmpsia. Níveis insuficientes dos cofatores derivados da riboflavina, flavina mononucleotídeo (FMN) e flavina adenina dinucleotídeo (FAD) podem contribuir para as alterações fisiopatológicas estabelecidas na pré-eclâmpsia, incluindo disfunção mitocondrial, aumento do estresse oxidativo e distúrbios na liberação de óxido nítrico (Ali *et al.*, 2022).
- Lactante: as mães lactantes devem, se necessário, aumentar o consumo de riboflavina para evitar sua depleção. Ao contrário do que ocorre com a tiamina, os níveis de riboflavina no leite materno permanecem consistentes ao longo do tempo (Ali *et al.*, 2022).
- **Criança e adolescente:** a riboflavina é importante para o desenvolvimento cerebral no período pós-natal e atua na produção de energia mitocondrial. Sua deficiência pode estar associada a distúrbios como enxaqueca e TDAH. Suplementos de riboflavina têm sido usados como alternativa complementar no tratamento de enxaquecas em crianças e adolescentes, com melhora na frequência e intensidade dos episódios, apesar de os resultados clínicos ainda não serem conclusivos (Ali *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** a riboflavina pode reduzir o risco de diabetes tipo 2 em idosos devido à sua atividade antioxidante e à capacidade de reduzir a sobrecarga de ferro. Estudos sugerem que a ingestão adequada de riboflavina está associada a menor incidência de doenças crônicas relacionadas ao envelhecimento, embora os mecanismos exatos ainda estejam sendo investigados (Ali *et al.*, 2022).



Funções

• É essencial para a síntese das coenzimas NAD (nicotinamida adenina dinucleotídeo) e NADP (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), que participam de mais de 200 reações metabólicas, como glicólise, ciclo de Krebs, síntese de ácidos graxos, redução da molécula de glutationa e da vitamina C.

 Participa do reparo do DNA, regulação da expressão gênica e do metabolismo celular.

FONTES ALIMENTARES

• Os principais alimentos ricos em vitamina B3 incluem carnes, aves, peixes, amendoim, grãos integrais e alimentos fortificados.



METABOLISMO

• É absorvida no intestino delgado por transporte ativo e difusão passiva.

 Pode ser sintetizada endogenamente a partir do triptofano, com participação da vitamina B6 e ferro. É transportada no plasma na forma livre ou conjugada.

FORMA ATIVA

 Suas formas ativas são o NAD e NADP, que são cofatores em reações enzimáticas essenciais para a geração de energia.

BIODISPONIBILIDADE

 A biodisponibilidade dessa vitamina é elevada em alimentos de origem animal.
Nos vegetais, a niacina pode estar ligada a complexos menos biodisponíveis.

- **Gestante:** durante a gravidez, a necessidade de micronutrientes, como a niacina, aumenta. A niacina é essencial para a produção de NAD, uma molécula importante para o metabolismo celular. Alterações genéticas em vias que envolvem a niacina (nos genes HAAO e KYNU) podem causar deficiência de NAD no feto, resultando em malformações congênitas complexas, conhecidas como síndrome VACTERL (que afeta vértebras, coração, sistema digestivo, rins e membros). Desta forma, a suplementação de niacina durante a gestação pode prevenir essas malformações, destacando a importância de garantir a ingestão adequada dessa vitamina durante a gravidez (Ali *et al.*, 2022).
- Lactante: nos primeiros seis meses de vida e aleitamento do bebê, variações nos níveis de micronutrientes da mãe podem influenciar o crescimento e o desenvolvimento da criança nas fases seguintes. Diferentemente dos minerais, algumas vitaminas presentes no leite materno dependem diretamente da alimentação e das reservas da mãe, como a niacina. Assim, sua deficiência reduz a quantidade de nicotinamida (principal forma de niacina no leite materno), o que pode comprometer a nutrição do bebê (Ali et al., 2022).
- Criança e adolescente: a niacina é essencial para o desenvolvimento e crescimento normais na infância. Semelhante à niacina, a ingestão adequada de pantotenato (B5) é crucial para o crescimento e as funções intelectuais (Ali *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** o aumento da ingestão de niacina com vitamina B6 e folato no início da fase idosa afeta positivamente as funções cognitivas. Além disso, uma maior ingestão de niacina mostrou-se positivamente relacionada à dilatação mediada pelo fluxo arterial, o que pode resultar em níveis reduzidos de LDL e estresse oxidativo associado na faixa etária avançada (Ali *et al.*, 2022).



• Essencial para a formação de coenzima A (CoA), fundamental no metabolismo de carboidratos, proteínas e gorduras. Participa da síntese de colesterol, hormônios esteroides, acetilcolina e melatonina.

FONTES ALIMENTARES

 Encontrada amplamente em carnes, ovos, leite, cereais integrais, leguminosas e vegetais, como brócolis e cogumelos.

METABOLISMO

• É absorvida no intestino delgado na forma livre ou como parte da CoA. É convertida no fígado e nos tecidos à forma ativa (CoA).



BIODISPONIBILIDADE

 Apresenta boa biodisponibilidade de forma geral. Pode ter biodisponibilidade reduzida pelo aquecimento excessivo dos alimentos.

FORMA ATIVA

• Sua forma ativa é a coenzima A, essencial para o metabolismo intermediário e síntese de compostos biológicos.

- **Gestante:** pode manter níveis adequados de ácido pantotênico no sangue ao aumentar a ingestão calórica ou escolher alimentos ricos nesse nutriente. No entanto, consumir ácido pantotênico em quantidades superiores a 5,6 mg por dia, assim como altas doses de biotina (acima de 22,5 µg/dia) e riboflavina (acima de 2,42 mg/dia), tem sido associado à instabilidade genômica. Essa condição, que se torna mais evidente durante a gravidez, pode aumentar o risco de efeitos teratogênicos, ou seja, malformações no desenvolvimento do feto (Ali *et al.*, 2022).
- Lactante: a concentração de ácido pantotênico no leite materno relaciona-se diretamente com a ingestão dietética e excreção urinária, mas pouco com os níveis sanguíneos. Mães suplementadas apresentam níveis significativamente mais altos no leite. Lactantes também mostram reduções nas concentrações séricas da vitamina. Diante da secreção diária estimada de 1,7 mg no leite e da queda nos níveis plasmáticos com ingestões de 5–6 mg/dia, recomenda-se uma ingestão adequada de 7 mg/dia durante a lactação (IOM et al., 1998).
- Criança e adolescente: a deficiência de vitamina B5 é rara, porém a falta dessa vitamina pode afetar negativamente uma ampla gama de funções metabólicas, como a produção de energia e a redução da síntese de lipídios. Os sintomas variam de perda de apetite, comprometimento do crescimento, dermatite, fraqueza e ataxia a paralisia, hipertrofia adrenal, úlceras e esteatose hepática, que geralmente são diagnosticadas de maneira imprecisa como deficiências de outras vitaminas, retardando o tratamento adequado (Ali et al., 2022).
- **Pessoa idosa:** níveis mais elevados de ácido pantotênico nesta faixa etária têm sido associados ao aumento da carga de peptídeos beta-amiloides cerebrais em pacientes com comprometimento cognitivo, agravando significativamente os casos de doença de Alzheimer (Ali *et al.*, 2022).



- Cofator de mais de 100 enzimas envolvidas no metabolismo de aminoácidos, glicogênio e lipídios. Necessária para a síntese de neurotransmissores, como serotonina, dopamina e ácido gama-aminobutírico (GABA).
- Envolvida na formação de hemoglobina e no metabolismo de homocisteína.

FORMA ATIVA

· Sua forma ativa é a piridoxal fosfato (PLP).

METABOLISMO

• É absorvida no intestino delgado, sendo convertida em piridoxal fosfato (PLP) no fígado.

BIODISPONIBILIDADE

• Reduzida pelo cozimento, processamento e armazenamento.

FONTES ALIMENTARES

• Carnes, peixes, batata, banana, cereais integrais e sementes.



- **Gestante:** cofator enzimático envolvido no metabolismo proteico e de neurotransmissores (Jouanne *et al.*, 2021). Na gestação, os níveis de vitamina B6 tendem a diminuir, o que pode causar sintomas como náuseas, vômitos, anemia e até aumentar o risco de aborto espontâneo. Por isso, recomenda-se que gestantes aumentem a ingestão dessa vitamina, tanto por meio da alimentação quanto com suplementos. A vitamina B6 também ajuda a estabilizar o humor após o parto e a melhorar a resposta ao ferro em casos de anemia. A quantidade da vitamina que a mãe consome influencia diretamente o desenvolvimento do bebê; desta forma, é visada a suplementação durante a gestação, se necessário (Ali *et al.*, 2022).
- Lactante: durante a amamentação, se a mãe estiver com níveis baixos de B6, o bebê também pode precisar de suplementação. Neste período, algumas mulheres enfrentam problemas como produção excessiva de prolactina, o hormônio que estimula o leite. Acredita-se que a vitamina B6 possa ajudar a reduzir esse excesso ao atuar na regulação do hormônio, mas ainda são necessárias mais pesquisas para confirmar esse efeito (Ali *et al.*, 2022).
- **Criança e adolescente:** nesta fase, a vitamina B6 é importante para o sistema imunológico, o crescimento e a produção de neurotransmissores, como a serotonina. Ela ajuda a melhorar sintomas de transtornos comportamentais, como autismo e TDAH, além de reduzir efeitos colaterais de remédios para epilepsia. Também contribui para aliviar o estresse na adolescência, ajudando na absorção de magnésio e equilibrando hormônios ligados à ansiedade e depressão (Ali *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** uma dieta desbalanceada para idosos foi associada a baixos níveis de vitamina B6, embora a deficiência de vitamina B6 também tenha ocorrido em indivíduos sem desnutrição. Idade avançada, sedentarismo, baixos níveis séricos de albumina, alanina aminotransferase e altos níveis de homocisteína são associados à deficiência de piridoxina. Ademais, a síndrome do intestino irritável também é correlacionada à deficiência de vitamina B6 (Ali *et al.*, 2022).



- · Atua como cofator para enzimas carboxilases, que participam de reações metabólicas fundamentais I-Piruvato carboxilase: converte piruvato em oxaloacetato no metabolismo da glicose; II-Acetil-CoA carboxilase: regula a síntese de ácidos graxos; III-Propionil-CoA carboxilase: importante no metabolismo de aminoácidos de cadeia ímpar e ácidos graxos; IV-Metilcrotonil-CoA carboxilase: essencial no catabolismo
- -CoA carboxilase: essencial no catabolismo da leucina.
- Auxilia na manutenção da integridade da pele, unhas e cabelos.
- Participa da regulação da expressão gênica ao influenciar a acetilação de histonas, afetando o DNA e a atividade celular.

FORMA ATIVA

· Sua forma ativa é a biotina livre.

METABOLISMO

- É absorvida no intestino delgado por transporte ativo dependente de sódio em baixas concentrações ou por difusão passiva em doses elevadas.
- No sangue, circula na forma livre ou ligada a proteínas plasmáticas. Após ser utilizada como cofator em enzimas carboxilases, a biotina é reciclada pelo ciclo de biotina, garantindo sua reutilização.
- É excretada principalmente na urina.

FONTES ALIMENTARES

- Amplamente distribuída em alimentos como fígado, gema de ovo, nozes, sementes, grãos integrais, vegetais (espinafre, brócolis), cogumelos e carnes.
- Produzida em pequena quantidade por bactérias do trato gastrointestinal, mas essa contribuição para a necessidade diária ainda não é completamente compreendida.



- Geralmente alta em dietas equilibradas, mas pode ser prejudicada pelo consumo de claras de ovo cruas, que contêm avidina, uma proteína que se liga fortemente à biotina e impede sua absorção.
- Processos de cozimento e digestão desnaturam a avidina, eliminando essa interferência.
- Condições como síndrome do intestino curto, uso prolongado de antibióticos e algumas doenças metabólicas podem comprometer sua absorção ou reutilização.

- **Gestante:** participa da síntese de DNA, replicação celular e regulação do metabolismo da homocisteína. Reduz o risco de defeitos do tubo neural, como espinha bífida e anencefalia. Recomenda-se suplementação antes e durante a gestação (Jouanne *et al.*, 2021).
- Lactante: durante a lactação, há aumento na perda de biotina e redução nos níveis plasmáticos e no leite materno, mesmo com ingestão superior à recomendada (57 µg/dia). Isso indica que as necessidades de biotina são maiores do que as atuais recomendações. Portanto, lactantes podem se beneficiar de uma ingestão mais elevada de biotina para manter níveis adequados da vitamina (Perry et al., 2014).
- Criança e adolescente: a biotina (vitamina B7) é importante na infância para manter cabelos, pele, unhas e o cérebro saudáveis. Sua falta pode causar queda de cabelo e problemas de pele, mas os sintomas melhoram com suplementação. A interrupção deve ser feita aos poucos, pois pode haver risco associado à síndrome da morte súbita infantil. A biotina também ajuda em alterações nas unhas, como a traquioníquia (Ali *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** nesta faixa, a deficiência de biotina está associada a doenças específicas, como diabetes *mellitus*, distúrbios hepáticos e cutâneos, anormalidades imunológicas e neurológicas e epilepsia. Além disso, desempenha um papel na homeostase mineral óssea, crucial nessa fase da vida, e em doenças alérgicas e autoimunes (Ali *et al.*, 2022).



- Essencial para a síntese de nucleotídeos de ácido desoxirribonucleico (DNA) e ácido ribonucleico (RNA), sendo crucial para a divisão celular e a replicação genética.
- · Importante na metilação de DNA e no metabo-
- lismo de aminoácidos, particularmente na conversão de homocisteína em metionina.
- Participa na formação de hemácias, prevenindo anemia megaloblástica.
- Durante a gravidez, é fundamental para o desenvolvimento adequado do sistema nervoso fetal, prevenindo defeitos do tubo neural.

FORMA ATIVA

 Tetrahidrofolato (THF), que atua como cofator em reações de transferência de grupos de um carbono, especialmente na síntese de purinas e timidina, que são componentes essenciais do DNA e RNA.

FONTES ALIMENTARES

 Vegetais de folhas verdes (espinafre, couve), brócolis, aspargos, fígado, frutas cítricas, leguminosas (feijão, lentilha), nozes e alimentos fortificados, como as farinhas de trigo e de milho.



METABOLISMO

- O folato é absorvido no intestino delgado na forma de monoglutamato, após hidrólise das formas poliglutamato presentes nos alimentos.
- Após absorção, é transportada ao fígado, onde é convertida em tetrahidrofolato (THF) e seus derivados, que são biologicamente ativos. Entra em circulação na forma livre ou ligada a proteínas plasmáticas. É armazenada no fígado, que regula sua liberação para os tecidos.

- O folato natural tem biodisponibilidade reduzida devido à necessidade de conversão enzimática no intestino.
- O ácido fólico sintético, usado em suplementos e alimentos fortificados, possui biodisponibilidade superior.
- A biodisponibilidade pode ser prejudicada por doenças intestinais, interações medicamentosas (como metotrexato e sulfas) e consumo excessivo de álcool.

- **Gestante:** a deficiência de ácido fólico está relacionada a malformações fetais, como defeitos do tubo neural, cardíacos e urinários, além de baixo peso ao nascer, prejuízos cognitivos e complicações metabólicas e vasculares maternas, como anemia megaloblástica e resistência à insulina (Ali *et al.*, 2022).
- Lactante: durante a lactação, o risco de deficiência de folato aumenta devido à transferência para o leite materno, o que pode comprometer o desenvolvimento do bebê, sendo necessário manter ingestão elevada para garantir níveis adequados (Ali *et al.*, 2022).
- Criança e adolescente: a deficiência ou erros congênitos no metabolismo do folato nesta fase estão associados a atraso no desenvolvimento, déficits cognitivos, distúrbios neurológicos, comportamentais e psiquiátricos, além de maior risco de anemia megaloblástica e asma em filhos de mães deficientes (Ali et al., 2022).
- **Pessoa idosa:** a ingestão frequentemente é inadequada em idosos, associada a risco aumentado de doenças cardiovasculares e declínio cognitivo. A suplementação pode ser necessária (Bruins; Van Dael; Eggersdorfer, 2019; Giustina *et al.*, 2023).

VITAMINA 12 (Cobalamina)

FUNÇÕES

- Essencial para a síntese de DNA, especialmente na formação de eritrócitos, prevenindo anemia megaloblástica.
- Participa do metabolismo da homocisteína, auxiliando em sua conversão em metionina, reduzindo o risco de doenças cardiovasculares.
- Atua como cofator na conversão do ácido metilmalônico em succinil-CoA, um intermediário do ciclo de Krebs, importante para a produção de energia celular.
- Fundamental para a manutenção da mielina, uma camada que protege os nervos, sendo vital para a saúde do sistema nervoso.

FORMA ATIVA

 Metilcobalamina e adenosilcobalamina, ambas cofatores em reações metabólicas.

METABOLISMO

- É absorvida no íleo, com auxílio do fator intrínseco, uma glicoproteína produzida no estômago que se liga à vitamina B12.
- No fígado, é armazenada em grandes quantidades, garantindo reservas por anos. Circula no sangue ligada a proteínas transportadoras, denominadas transcobalaminas.

FONTES ALIMENTARES

• Presente exclusivamente em alimentos de origem animal, como carne, fígado, peixe, frutos do mar, leite, ovos e alimentos fortificados (para dietas vegetarianas restritas).



- Alta em indivíduos com trato digestivo saudável e produção adequada de fator intrínseco.
- Prejudicada por condições como gastrite atrófica, cirurgia bariátrica, uso prolongado de inibidores de bomba de prótons (omeprazol) ou metformina.
- Em pessoas idosas e vegetarianos restritos, a suplementação ou o consumo de alimentos fortificados pode ser necessário para evitar deficiência.

- **Gestante:** a deficiência de vitamina B12 na gestação está associada a um maior risco de baixo peso ao nascer, abortos recorrentes, parto prematuro e restrição do crescimento fetal, especialmente quando ocorre no primeiro trimestre. Gestantes com baixos níveis de cobalamina tendem a apresentar maior índice de massa corporal (Ali *et al.*, 2022).
- Lactante: o teor de vitamina B12 no leite materno depende da dieta da mãe; mulheres veganas ou macrobióticas devem receber suplementação. Bebês amamentados exclusivamente são mais suscetíveis à deficiência após seis meses, sendo necessário iniciar a introdução de alimentos ricos em B12 nesse período (Ali *et al.*, 2022).
- **Criança e adolescente:** a deficiência de vitamina B12 pode causar atrasos no crescimento, distúrbios neurológicos irreversíveis, anemia e déficits cognitivos. Crianças com deficiência não diagnosticada precocemente podem apresentar prejuízos no desenvolvimento motor, da fala e da linguagem (Ali *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** a absorção diminui com a idade devido à atrofia gástrica e hipocloridria. A deficiência é comum, especialmente entre vegetarianos e idosos com doenças gastrointestinais. A suplementação pode ser necessária em forma oral ou injetável (Bruins; Van Dael; Eggersdorfer, 2019; Giustina *et al.*, 2023).

DOENÇAS CRÔNICAS

- Câncer: cofator essencial para centenas de enzimas envolvidas no metabolismo energético, síntese de DNA, RNA e proteínas. Participa da regulação imunológica, com impacto na proliferação e função de células imunes, importantes no controle tumoral. Atua na proteção contra estresse oxidativo e na modulação da inflamação, processos-chave na carcinogênese. A deficiência pode aumentar o risco de câncer ao comprometer a estabilidade genômica, a função imune e aumentar o estresse oxidativo. O excesso ou suplementação indiscriminada pode, em algumas situações, favorecer a progressão tumoral, dependendo do tipo e estágio do câncer. Fontes microbianas de B12 no intestino complementam a ingestão dietética, mas podem ser insuficientes para suprir as necessidades humanas (Peterson *et al.*, 2020) (Seraphin *et al.*, 2023).
- Diabetes: participa do metabolismo glicídico e lipídico. Reduz o risco de complicações microvasculares e neuropatias. Deficiências são comuns, especialmente de B12 e ácido fólico, em pacientes que usam metformina. A suplementação melhora o controle glicêmico e reduz o risco de neuropatia diabética (Valdés-Ramos *et al.*, 2015).



FERRO

FUNÇÕES

- Essencial para a formação da hemoglobina e mioglobina, responsáveis pelo transporte e armazenamento de oxigênio no sangue e nos músculos, respectivamente.
- Componente de enzimas envolvidas no metabolismo energético, como os citocromos na cadeia transportadora de elétrons. Participa de reações redox (oxidação-redução) em sistemas metabólicos e na síntese de DNA.
- Fundamental para o funcionamento adequado do sistema imunológico, influenciando a proliferação e maturação celular.
- Contribui para o desenvolvimento cognitivo e manutenção das funções cerebrais.

METABOLISMO

- A absorção ocorre no duodeno e jejuno proximal, regulada pelas necessidades do organismo.
- O ferro heme (presente em carnes e vísceras) é absorvido intacto por transporte facilitado, enquanto o ferro não heme (de origem vegetal e animal) requer redução da forma férrica (Fe³) para a forma ferrosa (Fe²+) por enzimas como a redutase férrica.
- A proteína DMT1 (transportador de metal divalente) transporta o ferro não heme reduzido para dentro das células intestinais.
- Após a absorção, o ferro é armazenado como ferritina nas células ou transportado no sangue pela transferrina até os tecidos.
- No organismo, o ferro é reciclado a partir de hemácias envelhecidas pelo sistema reticuloendotelial, reduzindo a necessidade de ingestão diária.

FONTES ALIMENTARES

- O ferro heme está presente em carnes vermelhas, aves, peixes, frutos do mar e vísceras aproximadamente 40% do conteúdo de ferro desses alimentos.
- Ferro não heme: vegetais de folhas verdes (espinafre), leguminosas (feijão, lentilha), cereais fortificados, nozes e sementes, leite, iogurtes, queijos, ovos, carnes e vísceras.



- O ferro heme possui alta biodisponibilidade (15% a 35%) e não é significativamente afetado por fatores dietéticos.
- O ferro não heme tem biodisponibilidade variável (2% a 20%), influenciada por: aumentadores de absorção, como a vitamina C e a presença de carne na refeição; e inibidores de absorção, como fitatos (presentes em grãos integrais e leguminosas), polifenóis (do chá e café) e cálcio.
- A deficiência de ferro aumenta a eficiência de absorção intestinal como um mecanismo adaptativo.

- **Gestante:** essencial para a produção de hemoglobina e transporte de oxigênio; fundamental para o crescimento fetal e desenvolvimento da placenta. Durante a gestação, a necessidade aumenta significativamente, prevenindo anemia, parto prematuro e baixo peso ao nascer (Jouanne *et al.*, 2021).
- Lactante: prevenção da anemia materna no pós-parto. Reposição indicada por pelo menos três meses após o parto (Jouanne *et al.*, 2021).
- Criança e adolescente: a demanda aumenta, especialmente em meninas após o início da menstruação. A deficiência pode causar anemia, redução do crescimento, prejuízo na função cognitiva e na imunidade. A anemia ferropriva é altamente prevalente, sendo a terceira principal causa de anos de vida perdidos ajustados por incapacidade em adolescentes (Norris *et al.*, 2022).
- Pessoa idosa: a deficiência de ferro é uma causa comum de anemia em idosos, associada a um maior risco de mortalidade, fadiga, quedas, declínio funcional e piora de comorbidades. A suplementação melhora sintomas e qualidade de vida, mas doses altas podem causar efeitos gastrointestinais. Casos de má-absorção ou intolerância podem exigir ferro intravenoso. Uma avaliação cuidadosa é essencial para identificar causas ocultas, como sangramentos gastrointestinais (Lanier; Park; Callahan, 2018).

DOENÇAS CRÔNICAS

- Doenças cardiovasculares: é essencial para o transporte de oxigênio e função mitocondrial cardíaca. Melhora a capacidade funcional e reduz hospitalizações. A deficiência de ferro é comum em casos de insuficiência cardíaca, mesmo na ausência de anemia. Suplementação intravenosa recomendada em casos de deficiência (Khan *et al.*, 2021).
- Osteoporose: o ferro é fundamental para a síntese de colágeno e o metabolismo da vitamina D, essenciais para a formação e manutenção óssea. A ingestão moderada reduz o risco de osteoporose e fraturas, especialmente em mulheres. Deficiência ou excesso de ferro podem prejudicar a densidade mineral óssea, aumentando o risco de perda óssea e fraturas. Monitorar o *status* de ferro é importante para a saúde óssea (Liu; An, 2023).

CÁLCIO

FUNÇÕES

- Componente estrutural essencial de ossos e dentes, conferindo-lhes rigidez e força. Importante para a contração muscular, incluindo o músculo cardíaco, devido ao seu papel como íon sinalizador intracelular. Participa na coagulação sanguínea como cofator de diversas proteínas do processo.
- Essencial para a transmissão de impulsos nervosos e a liberação de neurotransmissores.
- Ativador de várias enzimas e regulador de processos intracelulares, como a secreção de hormônios.
- Contribui para o desenvolvimento cognitivo e manutenção de funções cerebrais.

FONTES ALIMENTARES

- Laticínios (leite, iogurte, queijo); vegetais de folhas verde-escuras (couve, brócolis), amêndoas, *tofu* enriquecido e bebidas fortificadas (como leites vegetais).
- Outros alimentos: peixes consumidos com ossos (sardinha, salmão enlatado) e produtos fortificados, como cereais.



METABOLISMO

- É absorvido principalmente no duodeno e jejuno proximal, regulado por fatores como a presença de vitamina D ativa (calcitriol).
- A absorção pode ocorrer por transporte ativo (dependente de vitamina D) ou passivo (em maiores concentrações de cálcio dietético).
- Circula no sangue em três formas: livre (ionizado, a mais biologicamente ativa), ligado a proteínas (principalmente albumina) e complexado a ânions.
- Armazenado majoritariamente nos ossos (99%), que atuam como reservatório dinâmico para manter a homeostase do cálcio sérico, é excretado pela urina, com regulação renal influenciada por hormônios, como o paratormônio (PTH), calcitonina e vitamina D.

- Elevada nos laticínios devido à presença de lactose e caseína, que facilitam a absorção. Em fontes vegetais, pode ser reduzida pela presença de oxalatos (em espinafre e acelga) e fitatos (em grãos integrais e leguminosas), que formam complexos insolúveis com o cálcio.
- A vitamina D desempenha papel central na otimização da absorção intestinal. As necessidades são aumentadas em fases como infância, adolescência, gravidez, lactação e envelhecimento, quando a eficiência de absorção diminui.

- **Gestante:** mineralização do esqueleto fetal, especialmente no terceiro trimestre. Auxilia na prevenção de pré-eclâmpsia e osteoporose materna. Aumenta a absorção intestinal para suprir a demanda fetal (Jouanne *et al.*, 2021).
- Lactante: mantém a produção de leite materno em qualidade adequada. A demanda permanece elevada; recomenda-se a ingestão de cerca de 1000 mg/dia (Jouanne et al., 2021).
- Criança e adolescente: até 40% da massa óssea adulta é adquirida nesta fase. A ingestão adequada é crucial para atingir o pico de massa óssea, com benefícios duradouros. A suplementação pode alterar a cronologia da puberdade, como mostrado em estudos na Gâmbia, mas efeitos na altura final são variáveis (Norris *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** a absorção intestinal diminui com a idade. A deficiência leva à osteoporose e um maior risco de quedas e fraturas. A ingestão dietética tende a ser insuficiente em idosos. Suplementação é indicada, especialmente junto com vitamina D (Bruins; Van Dael; Eggersdorfer, 2019; Giustina *et al.*, 2023).

- Osteoporose: a ingestão adequada de cálcio é essencial para a formação e manutenção da saúde óssea ao longo da vida. Dietas ricas em cálcio, especialmente provenientes de alimentos como laticínios, vegetais verdes, peixes e ovos, podem ajudar a reduzir o risco de osteoporose. Quando a ingestão dietética for insuficiente, a suplementação pode ser considerada, especialmente em populações de risco (Al-Daghri *et al.*, 2023).
- Doenças cardiovasculares: contribui para a redução da pressão arterial, especialmente em jovens e gestantes (prevenção da pré-eclâmpsia). A deficiência pode aumentar a reatividade vascular e a pressão arterial. Embora o cálcio dietético seja seguro, a suplementação excessiva (>1000 mg/dia), principalmente em homens, tem sido associada a um maior risco de mortalidade cardiovascular (Tankeu; Ndip Agbor; Noubiap, 2017).
- Diabetes: a ingestão adequada de cálcio na dieta, até cerca de 750 mg por dia, está associada à redução significativa do risco de diabetes tipo 2 em adultos, com benefícios progressivos a cada incremento na ingestão. Esse efeito é mais evidente em mulheres, possivelmente devido ao papel do estrogênio na absorção do cálcio. O cálcio contribui para a melhora da secreção de insulina e redução da resistência à insulina, fatores importantes no controle do açúcar no sangue (Hajhashemy; Rouhani; Sannei, 2022).

magnésio

FUNÇÕES

- Cofator em mais de 300 reações enzimáticas, incluindo aquelas envolvidas no metabolismo energético (ATP), síntese de proteínas e ácidos nucleicos.
- Essencial para a contração muscular e relaxamento, atuando como regulador em processos de excitação-contração. Importante para a integridade estrutural de ossos e dentes, contribuindo para a mineralização óssea.
- Regula a função do sistema nervoso, auxiliando na transmissão de impulsos e na liberação de neurotransmissores. Participa da estabilização de membranas celulares e da manutenção do potencial elétrico das células.
- Auxilia no equilíbrio ácido-base e na manutenção da homeostase cardiovascular.

FONTES ALIMENTARES

- Alimentos ricos em magnésio são vegetais de folhas verde-escuras (espinafre, couve), sementes (abóbora, girassol), nozes (amêndoas, castanha-de-caju), grãos integrais, leguminosas (feijão, lentilha) e abacate.
- Outras fontes incluem chocolate amargo, peixes gordurosos e água com alto teor de minerais.



METABOLISMO

- É absorvido no intestino delgado, principalmente por transporte ativo regulado e, em menor proporção, por difusão passiva.
- A taxa de absorção varia de 30% a 60%, dependendo da quantidade ingerida e de fatores inibidores ou potenciadores na dieta.
- Cerca de 50% a 60% do magnésio corporal está armazenado nos ossos, 39% nos tecidos moles e menos de 1% no plasma.
- É excretado principalmente pelos rins, que regulam sua reabsorção de acordo com as necessidades do organismo.
- Homeostase controlada por hormônios, como o paratormônio (PTH), que aumenta a absorção intestinal e a reabsorção óssea.

- Pode ser reduzida pela presença de fitatos (grãos integrais e leguminosas) e oxalatos (alguns vegetais).
- Excesso de cálcio, fósforo e gorduras na dieta pode interferir na absorção.
- A vitamina D pode melhorar a absorção intestinal do magnésio por meio de mecanismos ainda não compreendidos.
- Condições clínicas, como doenças gastrointestinais (doença celíaca, Crohn), uso prolongado de diuréticos ou inibidores da bomba de prótons e consumo excessivo de álcool podem comprometer sua biodisponibilidade.

- **Gestante:** importante para o metabolismo energético, síntese proteica e função neuromuscular. Deficiências podem estar associadas a pré-eclâmpsia, diabetes gestacional e parto prematuro (Jouanne *et al.*, 2021).
- Lactante: atua como relaxante muscular e previne constipação. Deficiências podem ocorrer, necessitando atenção à dieta (Jouanne *et al.*, 2021).
- **Criança e adolescente:** o magnésio exerce efeitos neuroprotetores. A suplementação, ainda que em doses modestas, demonstra melhorar a atividade elétrica cerebral (eletroencefalograma). Sugere-se que níveis adequados de magnésio possam contribuir para a estabilidade neurológica na infância, sobretudo em situações de risco neurológico (Yadav *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** deficiência associada à osteoporose, sarcopenia, hipertensão e resistência à insulina. A ingestão alimentar costuma ser inadequada (Bruins; Van Dael; Eggersdorfer, 2019; Giustina *et al.*, 2023).

- Diabetes: a ingestão insuficiente de magnésio está ligada à maior prevalência de diabetes tipo 2 e ao pior controle glicêmico em pacientes com diabetes tipo 1 e tipo 2. Níveis adequados contribuem para a melhora da sensibilidade à insulina, redução do estresse oxidativo e melhor controle da glicemia. A suplementação tem demonstrado potencial para reduzir o risco de desenvolvimento do diabetes tipo 2, especialmente em pessoas com pré-diabetes, sendo considerada uma estratégia preventiva eficaz e de baixo custo (Fritzen *et al.*, 2023).
- Doenças cardiovasculares: o magnésio é essencial para a função cardíaca, ajudando a regular a contração do músculo cardíaco, a vasodilatação e a função endotelial. Sua deficiência está associada ao aumento da pressão arterial, risco de arritmias, inflamação vascular, calcificação arterial e maior probabilidade de eventos como infarto e insuficiência cardíaca. A ingestão adequada pode contribuir para a redução da pressão arterial e proteção contra doenças cardiovasculares, embora os efeitos da suplementação dependam da forma, duração e condição clínica do indivíduo (Fritzen et al., 2023).
- Osteoporose: a ingestão adequada de magnésio é importante para a saúde óssea, pois sua deficiência pode aumentar a reabsorção óssea, reduzir a formação óssea e interferir negativamente na vitamina D e no PTH (hormônio produzido pelas glândulas paratireoides que regula os níveis de cálcio e fósforo no sangue e no tecido ósseo). Baixos níveis de magnésio estão associados à menor densidade mineral óssea (DMO) e a um maior risco de fraturas em mulheres na pósmenopausa. A suplementação pode ser considerada em casos de ingestão insuficiente, mas os efeitos de doses elevadas ainda são controversos (Martiniakova *et al.*, 2022).

manganês

FUNÇÕES

- Enzimática: cofator de diversas enzimas essenciais. Por exemplo:
- ° Superóxido dismutase (SOD): atua como antioxidante, protegendo as células contra danos causados por radicais livres.
- ° Arginase: essencial no ciclo da ureia para eliminação de amônia.
- ° Piruvato carboxilase e fosfoenolpiruvato carboxiquinase: envolvidas no metabolismo energético.
- Formação óssea: necessário para a síntese de proteoglicanos na matriz óssea e no desenvolvimento do tecido conjuntivo.
- Cicatrização: auxilia na síntese de colágeno e na regeneração tecidual.
- Função neurológica: participa da regulação do sistema nervoso central, influenciando neurotransmissores.

FONTES ALIMENTARES

- · Cereais integrais, nozes, sementes, chá, abacaxi, vegetais verdes (espinafre, couve) e leguminosas.
- · Alimentos de origem animal têm teores baixos de manganês.



METABOLISMO

- É absorvido no intestino delgado, por transporte ativo e difusão passiva, com taxa de absorção baixa.
- Após ser absorvido, é transportado pela transferrina, albumina e alfa-2-macroglobulina até os tecidos, especialmente fígado, ossos, pâncreas e rins.
- É excretado predominantemente pela bile, com pequenas quantidades eliminadas pela urina.

BIODISPONIBILIDADE - influenciada pela composição da dieta:

- Compostos como fitatos (presentes em cereais e leguminosas) podem reduzir a absorção.
- Excesso de ferro, cálcio e magnésio compete pelos mesmos transportadores, diminuindo a biodisponibilidade.

- **Gestante:** o manganês é essencial para o desenvolvimento fetal e placentário, com destaque para sua ação antioxidante como componente da enzima superóxido dismutase (MnSOD). Níveis adequados de manganês no primeiro trimestre estão associados à redução do risco de hipertensão gestacional. Além disso, o manganês pode atenuar os efeitos tóxicos de metais pesados, como o arsênio, reforçando sua importância na prevenção de complicações hipertensivas durante a gestação (Borghese *et al.*, 2023) (Aung *et al.*, 2020).
- Lactante: o manganês está presente no leite materno e sua concentração aumenta ao longo das fases da lactação, com níveis mais elevados no leite maduro. Esse mineral é essencial para o metabolismo celular e a defesa antioxidante, contribuindo para o desenvolvimento neurológico e ósseo do lactente. A variação natural nos níveis de manganês ao longo da amamentação reforça a importância do aleitamento como fonte adequada desse micronutriente durante os primeiros meses de vida (Yang et al. 2018).
- Criança e adolescente: o manganês é essencial para mecanismos celulares básicos, incluindo resposta ao estresse oxidativo e reparo de DNA. Como o manganês também está envolvido em processos antioxidantes e na defesa celular, sua monitorização e possível suplementação podem ser relevantes para melhorar o estado nutricional durante a vida, caso seja necessário (Zekavat et al., 2021).
- **Pessoa idosa:** ingestões elevadas (ainda que dentro dos níveis recomendados) estão associadas ao aumento de marcadores inflamatórios, além de alterações epigenéticas em genes da via inflamatória NF-kB. Exposições acumuladas ao manganês, especialmente por via ambiental ou ocupacional, podem aumentar o risco de disfunções motoras, comprometimento cognitivo, parkinsonismo e possivelmente demência. Assim, o equilíbrio na ingestão de manganês é fundamental nessa fase da vida, considerando-se também o histórico de exposição ao longo dos anos (Martin *et al.*, 2020) (Kresovich *et al.*, 2018).

- Diabetes: o manganês participa do metabolismo da glicose e dos lipídios, além de atuar na produção e secreção de insulina. Sua ingestão adequada está associada à redução do risco de diabetes tipo 2. Parte desse efeito é mediada pela redução de biomarcadores inflamatórios. A deficiência de manganês pode favorecer a intolerância à glicose, o estresse oxidativo mitocondrial e a disfunção endotelial, contribuindo para o desenvolvimento do diabetes (Gong *et al.*, 2020).
- Doenças cardiovasculares: a ingestão elevada de manganês está associada à menor mortalidade por doenças cardiovasculares, incluindo acidente vascular cerebral (AVC), doença isquêmica do coração e hemorragia intracerebral, especialmente em mulheres. Esse efeito protetor pode estar relacionado à ação antioxidante da MnSOD, à regulação da função endotelial e à redução da inflamação vascular (Meishuo *et al.*, 2022).
- Osteoporose: o manganês é essencial para a formação e mineralização óssea, atuando como cofator de enzimas envolvidas na síntese de cartilagem e proteção dos osteoblastos contra o estresse oxidativo. É demonstrado que indivíduos com osteoporose apresentam menores concentrações de manganês ósseo, e que a deficiência desse mineral está associada à menor densidade mineral óssea e a um maior risco de osteoporose (Lin et *et al.*, 2022).

COBRE

FUNÇÕES

- Cofator de várias enzimas (metaloenzimas) essenciais. Por exemplo:
- Citocromo c oxidase: fundamental na cadeia transportadora de elétrons para produção de energia (ATP).
- Lisil oxidase: importante para a síntese de colágeno e elastina, contribuindo para a saúde de tecidos conjuntivos.
- Superóxido dismutase (SOD): protege contra danos oxidativos ao neutralizar radicais livres.
- Ceruloplasmina e hefaestina (ação ferroxidase): participa do metabolismo do ferro, auxiliando na conversão de ferro ferroso (Fe²⁺) para ferro férrico (Fe³⁺), necessário para sua incorporação na transferrina.
- Essencial para o desenvolvimento e manutenção do sistema nervoso central, influenciando a mielinização e neurotransmissão.
- Contribui para a pigmentação da pele e dos cabelos por meio da enzima tirosinase, que atua na síntese de melanina.

FONTES ALIMENTARES

- Frutos do mar (ostras, camarão), fígado, nozes (castanha-do-pará, amêndoas), sementes (girassol, abóbora), chocolate amargo e cereais integrais.
- Outras fontes: batatas, cogumelos, leguminosas (feijão, lentilha) e frutas secas.



METABOLISMO

- É absorvido no trato gastrointestinal, principalmente no duodeno e jejuno, por mecanismos ativos e passivos.
- · A taxa de absorção varia de 30% a 70%, dependendo das necessidades fisiológicas e da dieta.
- Após a absorção, o cobre é transportado pela albumina e transcupreína até o fígado, onde é incorporado à ceruloplasmina para transporte sistêmico.
- Armazenado em pequenas quantidades no fígado, cérebro, músculos e ossos, é excretado principalmente pela bile, com menor quantidade eliminada pela urina.

- Pode ser reduzida pela presença de fitatos (grãos integrais e leguminosas) e altos níveis de zinco e ferro na dieta, que competem pelos mesmos sistemas de transporte intestinal.
- A absorção é aumentada em estados de deficiência e pode ser inibida em excesso.
- Condições gastrointestinais, como doenças inflamatórias intestinais, podem interferir na absorção do cobre.

- **Gestante:** níveis mais baixos de cobre no início da gestação são associados a um risco maior de hipertensão induzida pela gravidez. O cobre exerce ação antioxidante importante durante o desenvolvimento placentário, ajudando a neutralizar o estresse oxidativo nas primeiras semanas gestacionais. A deficiência pode comprometer a função da enzima Cu/Zn-SOD, essencial para proteger as células trofoblásticas. (Lewandowska *et al.*, 2019).
- Lactante: embora a deficiência de cobre seja rara, pode ocorrer em recém-nascidos prematuros ou em situações de desnutrição, resultando em anemia, comprometimento do crescimento e maior suscetibilidade a infecções. Apesar dos baixos níveis de cobre no leite materno, sua absorção é eficiente, e os níveis séricos do mineral aumentam nos lactentes ao longo do primeiro ano. O estado nutricional de cobre parece ser regulado por múltiplos fatores, além da ingestão dietética, e os níveis capilares têm sido utilizados como marcadores de avaliação nutricional a longo prazo em mães e bebês (Özden et al., 2015).
- Criança e adolescente: é essencial para diversas enzimas envolvidas no metabolismo energético, síntese de neurotransmissores, maturação hormonal, formação de colágeno e defesa antioxidante. Durante a infância, sua deficiência pode causar anemia, distúrbios neurológicos, atraso no crescimento e alterações ósseas. Distúrbios genéticos, como a doença de Wilson e a doença de Menkes, demonstram o impacto do desequilíbrio do cobre nessa fase, com manifestações hepáticas, neuropsiquiátricas e esqueléticas. O diagnóstico e tratamento precoce são fundamentais para evitar complicações graves e irreversíveis no desenvolvimento infantil (Więcek; Paprocka, 2024).
- **Pessoa idosa:** o cobre pode contribuir para a saúde intestinal ao atuar na motilidade do trato gastrointestinal. Esse efeito pode estar relacionado ao estímulo do peristaltismo intestinal. Embora os mecanismos exatos ainda não sejam totalmente compreendidos, evidências sugerem que o cobre pode modular mucinas intestinais, microbiota e inflamação, favorecendo a função intestinal. Assim, uma ingestão adequada de cobre pode ser benéfica na prevenção e manejo da constipação em idosos (Du *et al.*, 2024).

- Diabetes: concentrações séricas elevadas de cobre foram observadas em indivíduos com tolerância à glicose alterada, mesmo sem aumento proporcional da ingestão diária total. Embora o cobre participe da função antioxidante e do metabolismo energético, níveis elevados têm sido associados à resistência à insulina e disfunção das células beta. Assim, em pessoas sem deficiência, a suplementação de cobre deve ser evitada, pois pode contribuir negativamente para a homeostase da glicose (Pattan *et al.*, 2021).
- Doenças cardiovasculares: a ingestão excessiva de cobre dietético foi associada ao aumento do risco de doenças cardiovasculares (DCV), acidente vascular cerebral (AVC), mortalidade por DCV e mortalidade geral. Embora o cobre seja essencial para o metabolismo energético e a integridade vascular, o consumo elevado demonstrou estar relacionado ao aumento do risco cardiovascular em adultos. Estratégias de moderação no consumo são recomendadas, especialmente em populações com alto consumo dietético (Li *et al.*, 2023).

- Osteoporose: a ingestão inadequada de cobre está associada à redução da densidade mineral óssea (DMO) em diversos sítios esqueléticos. O cobre atua como cofator da enzima lisil oxidase, essencial para a formação de ligações cruzadas em fibras de colágeno, fundamentais para a integridade da matriz óssea. Além disso, favorece a diferenciação osteoblástica em detrimento da adipogênica, promovendo a formação óssea (Pasco *et al.* 2024).
- Câncer: o cobre está envolvido em processos que favorecem o desenvolvimento tumoral, como crescimento celular, angiogênese e metástase. Níveis elevados de cobre são comuns em tumores e no sangue de pacientes com câncer. Proteínas que dependem de cobre, como LOX, MEMO1, SPARC e ATOX1, contribuem para a migração e invasão celular. O bloqueio do transporte de cobre tem mostrado efeito antiproliferativo em células cancerosas, sugerindo que o controle da sua disponibilidade pode ser útil no tratamento do câncer (Blockhuys; Wittung-Stafshede, 2017).



ZINCO

FUNÇÕES

- ° Cofator essencial para mais de 300 enzimas que participam de processos metabólicos importantes. Por exemplo:
- ° Superóxido dismutase (SOD): defesa antioxidante.
- ° Anidrase carbônica: regulação do equilíbrio ácido-base.
- ° DNA e RNA polimerases: síntese de DNA e RNA, crucial para crescimento celular e re-paro tecidual. Atua na regulação da expres-são gênica e no funcionamento de fatores de transcrição dependentes de zinco, como os dedos de zinco, que interagem com o DNA.
- ° Importante para o crescimento e desenvolvimento físico, além de desempenhar papel central no funcionamento do sistema imunológico.
- ° Contribui para a cicatrização de feridas e manutenção da integridade da pele.
- ° Essencial para o paladar, olfato e síntese de proteínas, hormônios (como insulina) e vitaminas.

FONTES ALIMENTARES

- Carnes (especialmente bovina e de aves), frutos do mar (ostras, camarões).
- Fontes vegetais: sementes (abóbora, gergelim), nozes (castanha-de-caju, amêndo-as), leguminosas (feijão, lentilha) e cereais integrais.
- Alimentos fortificados também são boas fontes em dietas específicas.



METABOLISMO

- É absorvido no intestino delgado, especialmente no jejuno, por mecanismos ativos e passivos.
- A taxa de absorção varia de 15% a 40%, dependendo das necessidades do organismo e da presença de fatores dietéticos que aumentam ou inibem a absorção.
- No sangue, circula ligado à albumina ou outras proteínas plasmáticas.
- Armazenado em pequenas quantidades no fígado, ossos, músculos e outros tecidos, é excretado principalmente pelas fezes, com pequenas quantidades eliminadas pela urina e pelo suor.

- Melhor absorvido a partir de fontes animais, por estar em forma altamente biodisponível.
- Em alimentos vegetais, a biodisponibilidade pode ser prejudicada pela presença de fitatos, que formam complexos insolúveis com o zinco.
- A ingestão excessiva de ferro ou cálcio pode reduzir a absorção devido à competição por transportadores intestinais.
- A deficiência de zinco aumenta sua absorção como mecanismo compensatório.

- **Gestante:** participa da divisão celular, síntese proteica, crescimento e metabolismo de ácidos nucleicos. Deficiências estão associadas a malformações congênitas, baixo peso ao nascer e parto prematuro (Jouanne *et al.*, 2021).
- Lactante: importante na cicatrização pós-parto e manutenção da função imunológica. Níveis adequados são essenciais para mãe e lactente (Jouanne *et al.*, 2021).
- Criança e adolescente: a deficiência pode comprometer o crescimento linear, a maturação sexual e a resposta imune. Fundamental para a maturação sexual e o desenvolvimento adequado durante a puberdade (Norris et al., 2022).
- **Pessoa idosa:** a deficiência, comum em idosos, está associada à imunossupressão e ao atraso na cicatrização. A ingestão adequada pode reduzir infecções respiratórias e melhorar a função imune (Bruins; Van Dael; Eggersdorfer, 2019; Giustina *et al.*, 2023).

- Diabetes: níveis altos de zinco no sangue podem aumentar o risco de desenvolver diabetes tipo 2, pois influenciam hormônios que regulam o açúcar no sangue, como a leptina, e podem causar resistência à insulina quando há excesso. O zinco também afeta as células do pâncreas que produzem insulina; e níveis muito altos de zinco podem sobrecarregar essas células, prejudicando seu funcionamento e levando à resistência à insulina. Pessoas com diabetes geralmente têm menos zinco no sangue e mais zinco na urina, o que pode ser uma forma de o corpo eliminar o excesso para evitar danos (Qu et al., 2020).
- Doenças cardiovasculares: níveis altos de zinco no sangue podem estar ligados a um maior risco de doenças cardiovasculares, como doenças coronárias. Por exemplo, um aumento nos níveis de zinco foi associado a um aumento significativo no risco dessas doenças, especialmente em pessoas com zinco sérico elevado. Uma maior ingestão de zinco na dieta pode quase dobrar as chances de desenvolver problemas cardíacos em mulheres. Os mecanismos exatos dessa relação ainda não estão claros, e são necessários mais estudos para entender melhor essa associação (Qu et al., 2020).
- Osteoporose: o zinco é essencial para a saúde óssea, associando-se positivamente à densidade mineral óssea da coluna e do fêmur. O conteúdo ósseo pode diminuir com a idade, com perda de carga esquelética e menopausa, refletindo a necessidade do seu papel na manutenção óssea. O zinco estimula a proliferação, diferenciação e mineralização dos osteoblastos, ativando genes e proteínas-chave. Também aumenta a síntese proteíca e ativa vias de sinalização, incluindo MAPK, além de promover a produção dos fatores de crescimento IGF-I e TGF-β1. Paralelamente, o zinco inibe a reabsorção óssea ao bloquear a formação e induzir a apoptose dos osteoclastos, suprimindo RANKL e a osteoclastogênese induzida por TNF-α, e estimulando a expressão de OPG para proteger o tecido ósseo (Qu *et al.*, 2020).
- Câncer: o zinco pode ajudar a reduzir inflamações e desconfortos na boca causados pela radioterapia, como dor, boca seca e perda de paladar. No entanto, não mostrou benefícios para mucosite causada por quimioterapia. Embora melhore alguns sintomas, o zinco não influencia na sobrevida dos pacientes nem interfere nos efeitos da terapia anticâncer (Hoppe *et al.*, 2021).

SELÊNIO

FUNÇÕES

- Essencial para a formação de selenoproteínas, desempenhando papéis antioxidantes e regulatórios.
- Atua na regulação da função da tireoide, sendo necessário para a conversão periférica do hormônio tireoidiano tiroxina (T4) em triiodotironina (T3).
- Contribui para a modulação do sistema imunológico, estimulando a produção de células de defesa.
- Protege contra danos celulares e pode reduzir o risco de doenças crônicas, como câncer e doenças cardiovasculares, quando consumido em quantidades adequadas.

FONTES ALIMENTARES

- Castanha-do-pará (uma das fontes mais concentradas), frutos do mar (peixes e camarões), carnes e vísceras (especialmente fígado), ovos e laticínios.
- Fontes vegetais: cereais integrais, sementes e leguminosas, dependendo do teor de selênio do solo onde são cultivadas.



METABOLISMO

- É absorvido no intestino delgado, principalmente na forma de selenocisteína e selenometionina (selênio orgânico) ou como selenito e selenato (selênio inorgânico).
- Após a absorção, é transportado no sangue por proteínas plasmáticas até os tecidos.
- É incorporado a selenoproteínas no fígado e outros órgãos para desempenhar suas funções biológicas.
- Excretado principalmente pela urina, com menor quantidade eliminada pelas fezes e pela respiração (como compostos voláteis em casos de ingestão excessiva).

- É alta para as formas orgânicas de selênio (selenocisteína e selenometionina), presentes em alimentos naturais.
- A biodisponibilidade das formas inorgânicas (selenito e selenato), utilizadas em suplementos ou alimentos fortificados, também é boa, porém reduzida em comparação com as orgânicas.
- Fatores que podem interferir negativamente incluem dietas deficientes em proteínas ou ricas em metais como mercúrio e cádmio, que podem sequestrar o selênio.
- Estados de deficiência aumentam a eficiência de absorção e uso do selênio no organismo.

- **Gestante:** o selênio desempenha papel antioxidante essencial durante a gestação, influenciando o desenvolvimento placentário e fetal. Níveis maternos mais baixos de selênio no primeiro trimestre foram associados a um maior risco de recém-nascidos grandes (LGA) ou pequenos (SGA) para a idade gestacional, além de maior adiposidade fetal e disfunção placentária. A deficiência também foi ligada a um maior risco de obesidade infantil e distúrbios metabólicos na prole, mesmo em gestantes com peso e glicemia normais. Esses efeitos podem ser mediados por inflamação crônica e estresse oxidativo intrauterino, que alteram o desenvolvimento fetal e favorecem a adipogênese (Lewandowska; Lubiński, 2020).
- Lactante: o selênio é um nutriente essencial, cujo transporte para o bebê durante a amamentação é priorizado pelo organismo materno, mesmo quando os níveis da mãe estão baixos. Muitas lactantes apresentam ingestão insuficiente de selênio, o que pode afetar a saúde do bebê, especialmente a função da tireoide e o risco de alergias. A baixa ingestão desse mineral é preocupante, principalmente quando não se usam suplementos (Stråvik *et al.*, 2021).
- Criança e adolescente: o selênio é importante para o crescimento, a imunidade, a função da tireoide e o desenvolvimento do cérebro. Sua deficiência pode causar atraso no crescimento, hipotireoidismo e baixa imunidade. A alimentação deve incluir fontes como carnes, peixes, ovos e cereais. Suplementos devem ser usados com cuidado, e o excesso, como o consumo elevado de castanha-do-pará, deve ser evitado (Dobrzyńska *et al.*, 2023).
- **Pessoa idosa:** a deficiência de selênio em idosos está associada à pior função da tireoide, com aumento do TSH e redução do hormônio T3. Isso pode impactar negativamente a saúde cardiovascular e a qualidade de vida mental. A suplementação com selênio e coenzima Q10 por 4 anos melhorou o perfil hormonal da tireoide e reduziu a mortalidade cardiovascular, sugerindo que muitos idosos podem ter uma função tireoidiana subótima devido à baixa ingestão de selênio, o que pode trazer prejuízos à saúde se não corrigido (Alehagen *et al.*, 2024).

- Diabetes: ingestões dietéticas moderadas de selênio foram associadas a um menor risco de diabetes *mellitus* tipo 2, com redução de até 27% no risco em comparação com ingestões mais baixas. No entanto, valores acima do moderado mostraram aumento gradual no risco de diabetes. Os dados indicam que tanto a deficiência quanto o excesso de selênio podem ser prejudiciais, reforçando a importância de manter uma ingestão adequada (Li *et al.*, 2024).
- Doenças cardiovasculares: níveis baixos de selênio são comuns em pacientes com insuficiência cardíaca (IC) e estão associados à menor expressão e funcionalidade de selenoproteínas, essenciais para a saúde cardiovascular. Essas proteínas atuam na manutenção das mitocôndrias, na redução do estresse oxidativo, na ação anti-inflamatória, melhora imunológica e regulação do metabolismo da tireoide (mecanismos comprometidos na IC). Há evidências promissoras de que pacientes com selênio <100 µg/L podem se beneficiar (Al-Mubarak; Van Der Meer; Bomer, 2021).

• Osteoporose: maior ingestão alimentar e total de selênio está associada a um menor risco de osteoporose (OP) e à maior densidade mineral óssea (DMO). O selênio atua como componente de enzimas antioxidantes que eliminam espécies reativas de oxigênio (EROs), que promovem a apoptose de osteoblastos e osteócitos, prejudicando a formação óssea. Além disso, as selenoproteínas presentes nas células ósseas exercem ação antioxidante e anti-inflamatória, regulando a renovação óssea e protegendo contra a OP. O selênio também influencia a função da tireoide, que afeta o metabolismo ósseo, já que sua deficiência pode elevar hormônios tireoidianos que aceleram a perda óssea (Peng; Zhang; Wang, 2023).



IODO

FUNÇÕES

- Síntese de hormônios tireoidianos fundamental para a produção de T3 (triiodotironina) e T4 (tiroxina), que regulam o metabolismo energético, a termogênese e atuam no crescimento e desenvolvimento do organismo humano.
- Crescimento e desenvolvimento: atua no crescimento físico, maturação óssea e desenvolvimento do sistema nervoso, especialmente durante a gestação e a infância.
- · Manutenção metabólica: regula a função de órgãos como coração, fígado, músculos e rins.
- Função cerebral: indispensável para o desenvolvimento cognitivo e para a prevenção de distúrbios neuropsicológicos.

METABOLISMO

- É absorvido no trato gastrointestinal, principalmente no duodeno, na forma de iodeto.
- Após a absorção, é transportado pela circulação sanguínea até a glândula tireoide, onde é armazenado e utilizado para sintetizar os hormônios T3 e T4.
- O iodo é eliminado principalmente pela urina, com pequenas quantidades excretadas pela bile e suor.
- A síntese hormonal tireoidiana é regulada pelo hormônio estimulante da tireoide (TSH, sigla do inglês thyroid-stimulating hormone), que estimula a captação de iodeto e sua incorporação aos resíduos de tirosina da proteína tireoglobulina.

FONTES ALIMENTARES

- As principais fontes são sal iodado, frutos do mar (peixes, crustáceos, moluscos), algas marinhas (especialmente as do tipo *kelp*) e laticínios.
- Alimentos vegetais cultivados em solos ricos em iodo podem conter quantidades variáveis do mineral.
- Suplementos e alimentos processados fortificados com iodo contribuem significativamente com populações que não consomem sal iodado.



- É alta, especialmente a partir de fontes animais e sal iodado, devido à forma livre do iodeto.
- Fatores inibidores da biodisponibilidade incluem substâncias bociogênicas encontradas em alimentos como mandioca, couve, brócolis, couve-flor, rabanete e soja.
- Essas substâncias interferem na captação de iodo pela tireoide e na síntese de hormônios tireoidianos.
- Solos pobres em iodo em certas regiões geográficas reduzem o teor do mineral em alimentos cultivados localmente, aumentando o risco de deficiência.
- Condições clínicas, como diarreias crônicas ou disfunções intestinais, podem prejudicar a absorção do iodo.

- **Gestante:** essencial para a síntese de hormônios tireoidianos, fundamentais para o desenvolvimento cerebral fetal. A necessidade aumenta em cerca de 50% na gestação; deficiências podem levar à deficiência intelectual e hipotireoidismo congênito (Jouanne *et al.*, 2021).
- Lactante: durante a lactação, a adequada ingestão de iodo e selênio é essencial para a função da tireoide da mãe e do bebê. O selênio auxilia na regulação hormonal e sua deficiência pode agravar distúrbios causados pela falta de iodo. Bebês amamentados por mães com baixa ingestão de iodo ou em dietas restritivas estão em risco. A iodação do sal é eficaz, mas sua baixa cobertura pode exigir suplementação (Andersson; Braegger, 2022).
- Criança e adolescente: a deficiência pode causar hipotireoidismo, prejudicar o desenvolvimento cerebral e o crescimento físico. Esse risco é crítico durante o estirão de crescimento da puberdade (Norris *et al.*, 2022).
- **Pessoa idosa:** existe risco de deficiência leve de iodo, mesmo após a fortificação. Essa carência pode afetar a função da tireoide e está associada à fragilidade física, comum nesta fase da vida. A avaliação do status de iodo é difícil, pois biomarcadores podem ser influenciados por doenças, medicamentos e alterações renais. Intervenções, como ampliar a fortificação ou suplementar, devem ser cautelosas, pois o excesso de iodo pode causar hipertireoidismo. É essencial monitorar essa população com atenção, considerando suas particularidades clínicas (Miller *et al.*, 2016).

- Diabetes: a suplementação de iodo durante a gestação é recomendada pela OMS, mas apenas 17,2% das gestantes com diabetes gestacional receberam essa suplementação, evidenciando baixa adesão às diretrizes por parte de médicos e parteiras. A suplementação, especialmente quando iniciada precocemente, melhora o estado de iodo materno e neonatal. O iodo é essencial na gestação, mas existe uma preocupação clínica sobre sua possível relação com o aumento do risco de diabetes gestacional, embora ainda não haja consenso definitivo. Por isso, a suplementação deve ser cuidadosamente indicada e monitorada, equilibrando os riscos e os benefícios para a mãe e o bebê (Dardari *et al.*, 2022).
- Câncer: a deficiência de iodo pode causar distúrbios tireoidianos, metabólicos, do desenvolvimento e até aumentar o risco de câncer. Corrigir essa deficiência pode ajudar a prevenir essas condições, incluindo malignidades. Monitorar os níveis urinários de iodo, especialmente em grupos sensíveis, é essencial. Com a tendência de reduzir o consumo de sal para prevenir doenças cardiovasculares, é necessário buscar outros veículos para a fortificação com iodo, a fim de manter sua ingestão adequada (Winder et al., 2022).

FÓSFORO

FUNÇÕES

- Estrutural: componente essencial dos ossos e dentes, formando a hidroxiapatita, que garante resistência e rigidez.
- Energética: fundamental para a produção e armazenamento de energia celular (ATP, ADP e AMP).
- Reguladora: participa na regulação do pH do sangue e intracelular como um importante tampão.
- Metabólica: essencial para o metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídeos, sendo necessário na ativação de enzimas e intermediários metabólicos (fosforilação).
- Genética: integra a estrutura do DNA e RNA como parte dos nucleotídeos.
- Membranas celulares: componente principal dos fosfolipídios, que constituem as membranas celulares.
- Sinalização celular: participa de processos de sinalização, como na ativação de proteínas por meio da fosforilação.

FONTES ALIMENTARES

• Carnes, aves, peixes, ovos, leite e derivados. Fontes vegetais: sementes (gergelim, abóbora), nozes, leguminosas (feijão, lentilha) e cereais integrais.



METABOLISMO

- É absorvido principalmente no intestino delgado, na forma de fosfato inorgânico, por transporte ativo dependente de sódio e por difusão passiva.
- A taxa de absorção varia, sendo influenciada pela presença de vitamina D, que aumenta a eficiência do processo.
- No sangue, circula predominantemente como fosfato inorgânico e é regulado por hormônios como o paratormônio (PTH), calcitriol (forma ativa da vitamina D) e calcitonina, que controlam os níveis séricos e o equilíbrio entre ossos e tecidos.
- É armazenado principalmente nos ossos, mas também encontrado em músculos, tecidos moles e fluidos corporais.
- Excretado principalmente pelos rins, com regulação renal ajustando a reabsorção conforme as necessidades do organismo.

- Alta em alimentos de origem animal devido à presença de fósforo em formas facilmente absorvíveis.
- Em alimentos vegetais, o fósforo está presente na forma de fitato, cuja absorção é limitada, especialmente em humanos, devido à falta da enzima fitase.
- A absorção é influenciada por fatores como excesso de cálcio, magnésio ou alumínio na dieta, que podem formar complexos insolúveis com fosfato, reduzindo sua disponibilidade.
- A deficiência de fósforo é rara em dietas equilibradas, mas pode ocorrer em casos de desnutrição grave, alcoolismo ou uso prolongado de antiácidos à base de alumínio.

- **Gestante:** durante a gestação, o equilíbrio entre cálcio e fósforo (relação Ca:P) na dieta materna influencia o crescimento craniofacial dos fetos. O fósforo, junto com o cálcio, é essencial para a mineralização óssea fetal. Alterações nessa relação afetam o tamanho, a forma e a densidade mineral óssea (TMD) dos crânios dos bebês, com efeitos diferentes no sexo feminino e masculino (Hassan *et al.*, 2022).
- Lactante: na lactação, a continuidade da dieta com essa relação modificada de Ca:P afeta a mineralização óssea dos bebês que estão sendo amamentados, consolidando as mudanças iniciadas na gestação. O fósforo transferido pelo leite materno contribui para a mineralização óssea e o desenvolvimento estrutural, também com diferenças entre os sexos (Hassan *et al.*, 2022).
- Criança e adolescente: as recomendações de ingestão de fósforo para crianças e adolescentes são estabelecidas pelas Ingestões Dietéticas de Referência (IDRs), que indicam níveis adequados para garantir saúde óssea e geral. A ingestão média diária de fósforo nesta faixa etária costuma ser superior à recomendada, principalmente pela presença de fosfatos adicionados em alimentos processados. A deficiência de fósforo é rara e geralmente associada a condições médicas, não à baixa ingestão alimentar. Monitorar o consumo de fósforo, especialmente de fontes alimentares e aditivos, é importante para evitar riscos à saúde.
- **Pessoa idosa:** em idosos, estudos com espectroscopia por ressonância magnética de fósforo (31P-MRS) indicam alterações no metabolismo energético cerebral, como mudanças na relação fosfocreatina/ATP (PCr/ATP), que refletem redução na utilização de ATP com o envelhecimento. Essas alterações podem estar associadas a processos neurodegenerativos, incluindo Alzheimer e outras doenças, evidenciando a importância do fósforo no metabolismo cerebral na terceira idade. A técnica 31P-MRS pode oferecer *insights* precoces sobre disfunções metabólicas cerebrais em idosos, reforçando o papel do fósforo na saúde e na função cerebral durante o envelhecimento (Parasoglou *et al.*, 2022).

- Diabetes: em pessoas com diabetes, níveis elevados de fósforo (mesmo dentro da faixa normal) estão associados ao aumento da rigidez arterial, calcificação vascular e a um maior risco de pé diabético. O fósforo favorece a transformação de células musculares vasculares em células semelhantes às ósseas, promovendo o acúmulo de cálcio nos vasos, especialmente sob efeito da hiperglicemia. Esse desequilíbrio pode comprometer a circulação nos membros inferiores, aumentando a incidência de úlceras e amputações, além de impactar negativamente o metabolismo da glicose e dos lipídios, contribuindo para a síndrome metabólica. Manter os níveis de fósforo controlados pode ajudar a prevenir essas complicações vasculares no diabetes (Li *et al.*, 2024b).
- Doenças cardiovasculares: em pessoas com insuficiência cardíaca, níveis elevados de fósforo estão associados à maior mortalidade, rigidez arterial e calcificação vascular, mesmo com função renal preservada. Esse aumento pode refletir estresse metabólico e hipóxia celular, favorecendo alterações vasculares e metabólicas. Controlar o fósforo pode ajudar a prevenir complicações cardiovasculares (Rozentryt *et al.*, 2015).
- Osteoporose: o fósforo é essencial para a saúde óssea, porém seu excesso pode prejudicar a absorção de cálcio e aumentar a reabsorção óssea, elevando o risco de osteoporose. Portanto, o equilíbrio entre fósforo e cálcio na dieta é fundamental para manter a integridade dos ossos. O excesso de fósforo, comum em dietas modernas, pode contribuir para a perda de massa óssea, destacando a importância de monitorar a ingestão desse mineral para prevenir a osteoporose (Grundmann *et al.*, 2023).

ELEMENTOS-TRAÇO (molibdênio, cromo, boro ε flúor)

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, sigla em inglês para *World Health Organization*), elementos-traço são substâncias presentes no organismo e nos alimentos em quantidades muito pequenas, mas que exercem funções essenciais à saúde ou podem apresentar toxicidade mesmo em baixas concentrações. Consideram-se elementos-traço aqueles cuja concentração não ultrapassa 250 microgramas por grama na matriz biológica ou alimentar. Um elemento é considerado essencial quando sua ausência ou ingestão insuficiente provoca, de maneira consistente, redução de uma função fisiológica importante, ou quando é indispensável para a estrutura de componentes orgânicos vitais. É importante ressaltar que alguns elementos-traço podem ser potencialmente tóxicos, causando efeitos adversos mesmo em pequenas quantidades.

A classificação proposta pela WHO organiza os elementos-traço em três grupos:

- **Essenciais** Comprovadamente indispensáveis para funções fisiológicas importantes, como ferro, zinco, selênio, iodo e cobre.
- **Provavelmente essenciais** Elementos para os quais existem indícios de importância nutricional, mas sem comprovação definitiva em humanos. Exemplos: silício, vanádio, níquel, boro e arsênio.
- Potencialmente tóxicos Elementos que podem causar danos ao organismo mesmo em doses muito pequenas. Exemplos: chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio.

Desta forma, é imprescindível manter um equilíbrio entre a ingestão suficiente para garantir a saúde e a prevenção da toxicidade associada ao excesso. A comprovação da essencialidade de um elemento geralmente requer a demonstração de sua função em diversas espécies animais, reforçando sua importância também para os seres humanos.

1. MOLIBDÊNIO

FUNÇÕES

• Cofator essencial para diversas enzimas oxidantes, com destaque para a sulfito oxidase e a xantina oxidase. A sulfito oxidase é fundamental para a eliminação do sulfito, prevenindo danos neurológicos, enquanto a xantina oxidase participa do catabolismo das purinas.

FONTES ALIMENTARES

• Geralmente incluem leguminosas, cereais integrais, nozes e vegetais folhosos.

METABOLISMO

- Absorvido de forma passiva e altamente eficiente no trato gastrointestinal.
- A concentração plasmática é muito baixa, dificultando sua mensuração direta.
- Os melhores marcadores são metabólicos: sua deficiência está associada a baixos níveis séricos de urato, baixos níveis urinários de sulfato e níveis elevados de xantina e hipoxantina na urina.
- A principal via de excreção é a urinária; assim, a insuficiência renal pode levar à retenção de molibdênio e ao risco de toxicidade.



BIODISPONIBILIDADE

• A absorção é eficiente, mas a deficiência é rara e geralmente associada a doenças genéticas ou à nutrição parenteral (NP) de longo prazo sem suplementação de molibdênio. A deficiência nutricional foi relatada em um caso isolado, manifestando-se com taquicardia, dor de cabeça e cegueira noturna, sintomas corrigidos com suplementação. Não há relatos de toxicidade com doses nutricionais adequadas (Shenkin *et al.* 2024).

2. CROMO

FUNÇÕES

- Em sua forma trivalente biologicamente ativa (Cr³+), o cromo é estável e potencializa a ação da insulina, possivelmente amplificando a atividade da tirosina quinase do receptor de insulina.
- Essa ação pode melhorar a tolerância à glicose em alguns indivíduos.

FONTES ALIMENTARES

• Geralmente incluem carnes, grãos integrais, nozes, brócolis e levedura de cerveja.

METABOLISMO

- A absorção é rigorosamente regulada, com eficiência inferior a 2,5%, ocorrendo principalmente na forma de Cr³⁺.
- A homeostase do cromo ocorre predominantemente por meio da excreção urinária.
- A avaliação do estado nutricional do cromo é difícil, devido às concentrações plasmáticas muito baixas e ao risco de contaminação das amostras; contudo, dosagens plasmáticas podem ser realizadas em laboratórios especializados.
- A melhor forma de avaliação clínica pode ser a resposta da glicose e da insulina à suplementação de cromo.



- A deficiência é rara, mas pode ocorrer em pacientes com estresse metabólico agudo (como queimaduras, trauma ou infecção) ou com diminuição da ingestão e absorção (como na síndrome do intestino curto e em pacientes em nutrição parenteral sem suplementação de cromo).
- A deficiência manifesta-se com perda de peso, intolerância à glicose e neuropatia periférica, sendo reversível com a suplementação.
- A deficiência subclínica pode comprometer a tolerância à glicose, especialmente em indivíduos com diabetes tipo 2 (Shenkin *et al.*, 2024).

3. BORO

FUNÇÕES

- Elemento-traço com papel importante no metabolismo ósseo, hormonal e mineral. Atua como modulador da atividade de osteoblastos, estimulando a produção de proteínas essenciais para a formação e mineralização óssea, como a osteocalcina, o colágeno tipo I e as proteínas morfogenéticas ósseas (BMPs).
- Regula o metabolismo do cálcio, favorecendo sua retenção óssea e reduzindo a excreção urinária, contribuindo para a manutenção da densidade mineral óssea e prevenção da osteoporose. Influencia a atividade hormonal, elevando os níveis séricos de estradiol e testosterona por meio da inibição de enzimas que degradam esteroides, prolongando sua ação.
- Apresenta também efeito anti-inflamatório, reduzindo citocinas pró-inflamatórias como TNF- α e IL-6, além de diminuir a proteína C-reativa (PCR), um marcador clássico de inflamação sistêmica.

FONTES ALIMENTARES

• Geralmente incluem frutas, verduras, legumes, nozes e leguminosas.



METABOLISMO

- É absorvido de forma passiva e altamente eficiente, com aproximadamente 90% da ingestão sendo absorvida no trato gastrointestinal.
- Não se acumula em tecidos moles, mas concentra-se no tecido ósseo.
- Excretado principalmente pela urina, com pequenas quantidades eliminadas pelas fezes e suor.
- A deficiência pode prejudicar a formação óssea, reduzir a proliferação de osteoblastos e comprometer a cicatrização óssea, podendo contribuir para a perda óssea e o desenvolvimento de artrite.
- O marcador mais confiável para avaliar o status de boro é a excreção urinária, devido à baixa concentração plasmática.

- A absorção é elevada.
- A suplementação de boro é considerada segura e benéfica para a saúde óssea, especialmente em populações de risco, como mulheres na pós-menopausa.
- A dose eficaz sugerida é de 3 mg/dia, bem abaixo do limite superior de segurança de 10 mg/dia estabelecido por agências regulatórias.
- A toxicidade ocorre principalmente com ingestão crônica de doses elevadas, podendo causar alterações gastrointestinais, neurológicas e distúrbios renais.
- No entanto, não há relatos de toxicidade com ingestão dietética normal ou suplementação dentro das doses recomendadas (Rondanelli, 2020).

4. FLÚOR

FUNÇÕES

• Elemento-traço fundamental na mineralização dos dentes e dos ossos. Atua na prevenção da cárie dentária ao se incorporar à estrutura cristalina do esmalte, formando a fluorapatita, mais resistente à desmineralização causada por ácidos bacterianos. Também influencia a mineralização óssea, contribuindo para a estabilidade do esqueleto.

METABOLISMO

- É absorvido rapidamente e eficientemente no trato gastrointestinal, principalmente no estômago, com taxa de absorção entre 80%, e 90%.
- A biodisponibilidade depende da forma química e da composição da dieta, sendo reduzida por dietas ricas em cálcio, que formam sais insolúveis com o flúor.
- É excretado predominantemente pela urina, com cerca de 60% do flúor ingerido sendo eliminado pelos rins em adultos saudáveis.
- O restante é incorporado aos tecidos mineralizados, especialmente dentes e ossos, onde pode permanecer por anos.
- A concentração plasmática é muito baixa e não representa um bom indicador do estado nutricional; a excreção urinária é considerada o melhor marcador, refletindo a ingestão recente.

FONTES ALIMENTARES

• A principal fonte é a água fluoretada. Outras fontes incluem chás, peixes consumidos com ossos (como sardinha) e alguns produtos industrializados.



- Elevada, mas modulada pela composição da dieta.
- A deficiência de flúor está associada ao aumento do risco de cárie dentária, especialmente em populações sem acesso à água fluoretada, e pode comprometer a densidade mineral óssea, elevando o risco de fraturas.
- A ingestão excessiva e crônica pode causar fluorose dentária, caracterizada por manchas brancas ou opacas no esmalte, sobretudo quando a exposição ocorre durante a formação dos dentes.
- Em casos graves, pode ocorrer fluorose esquelética, com aumento da densidade óssea, rigidez articular e deformidades ósseas.
- O limite superior tolerável (UL) para o flúor é de 1,3 mg/dia para crianças de 1 a 3 anos e de 10 mg/dia para adultos. A fluoretação da água potável, com concentração ideal de 0,7 a 1,2 mg/L, é considerada a medida de saúde pública mais eficaz e segura para prevenir cáries dentárias (IOM, 1997).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão do papel dos micronutrientes na nutrição humana é essencial para a promoção da saúde, a prevenção de doenças e o desenvolvimento de políticas públicas nutricionais. Embora sejam necessários em quantidades mínimas, vitaminas e minerais exercem funções vitais no organismo, participando de processos bioquímicos, enzimáticos, hormonais e estruturais fundamentais.

A carência ou o excesso de micronutrientes ainda representa um desafio de saúde pública em diversas partes do mundo. Problemas como a desnutrição oculta, deficiências específicas (como as de ferro, vitamina A ou iodo) e o consumo exagerado de suplementos sem orientação adequada evidenciam a necessidade de uma abordagem equilibrada e informada sobre o tema.

Além disso, fatores como hábitos alimentares inadequados, acesso limitado a alimentos ricos em micronutrientes e desinformação contribuem para um cenário nutricional preocupante. A educação nutricional, a diversificação da dieta e a fortificação de alimentos são estratégias fundamentais para garantir o adequado consumo desses nutrientes pela população.

Compreender a importância dos micronutrientes não se limita ao ambiente acadêmico ou clínico. Trata-se de um conhecimento que deve ser incorporado às práticas cotidianas de alimentação, com atenção às necessidades específicas de cada fase da vida e às particularidades individuais, como condições de saúde, estilo de vida e fatores socioeconômicos.

Em um mundo marcado por contrastes entre a fome e a obesidade, entre a carência e o excesso, promover uma nutrição adequada é um desafio coletivo. E esse desafio começa com o conhecimento. Espera-se que este material contribua não apenas para o aprendizado teórico, como também para a aplicação prática dos conceitos apresentados, fortalecendo a importância da nutrição como ferramenta de transformação social.

REFERÊNCIAS

ALEHAGEN, U. et al. Supplementation with selenium and coenzyme Q10 in an elderly Swedish population low in selenium – positive effects on thyroid hormones, cardiovascular mortality, and quality of life. **BMC medicine**, v. 22, n. 1, p. 191, 2024.

AL-DAGHRI, N. M. et al. Dietary calcium intake and osteoporosis risk in Arab adults. **Nutrients**, v. 15, n. 13, 2023.

ALI, M. A. et al. Dietary vitamin B complex: Orchestration in human nutrition throughout life with sex differences. **Nutrients**, v. 14, n. 19, p. 3940, 2022.

AL-MUBARAK, A. A.; VAN DER MEER, P.; BOMER, N. Selenium, selenoproteins, and heart failure: Current knowledge and future perspective. **Current heart failure reports,** v. 18, n. 3, p. 122–131, 2021.

ANDERSSON, M.; BRAEGGER, C. P. The role of iodine for thyroid function in lactating women and infants. **Endocrine reviews,** v. 43, n. 3, p. 469–506, 2022.

ARAKI, S.; SHIRAHATA, A. Vitamin K deficiency bleeding in infancy. **Nutrients,** v. 12, n. 3, p. 780, 2020.

AUNG, M. T. et al. Manganese is associated with increased plasma interleukin-1β during pregnancy, within a mixtures analysis framework of urinary trace metals. **Reproductive toxicology** (**Elmsford, N.Y.**), v. 93, p. 43–53, 2020.

BLOCKHUYS, S.; WITTUNG-STAFSHEDE, P. Roles of copper-binding proteins in breast cancer. **International journal of molecular sciences,** v. 18, n. 4, p. 871, 2017.

BORGHESE, M. M. et al. Individual, independent, and joint associations of toxic metals and manganese on hypertensive disorders of pregnancy: Results from the MIREC Canadian pregnancy cohort. **Environmental health perspectives,** v. 131, n. 4, p. 47014, 2023.

BRUINS, M. J.; VAN DAEL, P.; EGGERSDORFER, M. The role of nutrients in reducing the risk for noncommunicable diseases during aging. **Nutrients,** v. 11, n. 1, p. 85, 2019.

CARDOSO, Marly Augusto (Coord). **Nutrição humana.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 345p.

CEMORTAN, M.; SAGAIDAC, I.; CERNETCHI, O. Assessment of vitamin K levels in women with intrahepatic cholestasis of pregnancy. **BMC pregnancy and childbirth,** v. 22, n. 1, p. 534, 2022.

COZZOLINO, Silvia Maria Franciscato. **Biodisponibilidade de nutrientes.** 5ª ed. São Paulo: Manole, 2016. Recurso on-line ISBN 9788520451113.

COZZOLINO, Silvia Maria Franciscato; COMINETTI, Cristiane. **Bases bioquímicas e fisiológicas da nutrição**: nas diferentes fases da vida, na saúde e na doença. Barueri: Manole, 2013. 1257 p.

CUKIER, C.; CUKIER, V. **Macro e micronutrientes em nutrição clínica.** Barueri, SP: Manole, 2020. ISBN 978-8520456880.

DA SILVA RIBEIRO, K. D. et al. Association between maternal vitamin E status and alpha-tocopherol levels in the newborn and colostrum. **Maternal & child nutrition,** v. 12, n. 4, p. 801–807, 2016.

DARDARI, D. et al. Evaluation of iodine supplementation in pregnant women with gestational diabetes: IODIAB study. **Healthcare (Basel, Switzerland)**, v. 10, n. 12, p. 2388, 2022.

DOBRZYŃSKA, M. et al. Selenium in infants and preschool children nutrition: A literature review. **Nutrients,** v. 15, n. 21, p. 4668, 2023.

DU, W. et al. Association between dietary copper intake and constipation in US adults. **Scientific reports,** v. 14, n. 1, p. 19237, 2024.

FRACZEK, P. M. et al. Vitamin A retinoic acid contributes to muscle stem cell and mitochondrial function loss in old age. **JCl insight**, v. 10, n. 9, 2025.

FRITZEN, R. et al. Magnesium deficiency and cardiometabolic disease. **Nutrients,** v. 15, n. 10, p. 2355, 2023.

GIUSTINA, A. et al. Vitamin D in the older population: a consensus statement. **Endocrine**, v. 79, n. 1, p. 31–44, 2023.

GONG, J. H. et al. Dietary manganese, plasma markers of inflammation, and the development of type 2 diabetes in postmenopausal women: Findings from the women's health initiative. **Diabetes care,** v. 43, n. 6, p. 1344–1351, 2020.

GROPPER, Sareen S.; SMITH, Jack L.; GROFF, James L. **Nutrição avançada e metabolismo humano**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

GRUNDMANN, S. M. et al. A high-phosphorus diet moderately alters the lipidome and transcriptome in the skeletal muscle of adult mice. **Nutrients,** v. 15, n. 17, 2023.

HAJHASHEMY, Z.; ROUHANI, P.; SANEEI, P. Dietary calcium intake in relation to type-2 diabetes and hyperglycemia in adults: A systematic review and dose-response meta-analysis of epidemiologic studies. **Scientific reports,** v. 12, n. 1, p. 1050, 2022.

HASSAN, M. G. et al. Altering calcium and phosphorus supplementation in pregnancy and lactation affects offspring craniofacial morphology in a sex-specific pattern. **American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics,** v. 161, n. 5, p. e446–e455, 2022.

HOPPE, C. et al. Zinc as a complementary treatment for cancer patients: a systematic review. **Clinical and experimental medicine,** v. 21, n. 2, p. 297–313, 2021.

ILSI Brasil. **Funções plenamente reconhecidas de nutrientes.** Disponível em: https://ilsibrasil. org/publication/funcoes-plenamente-reconhecidas/. Acesso em: 18 jul.2025.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc.** Washington, D.C.: National Academy Press, 2001.

INSTITUTE OF MEDICINE (U.S). **Dietary reference intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride:** standing committee on the scientific evaluation of dietary reference intakes. Washington D.C.: National Academy Press, Cop, 1997.

INSTITUTE OF MEDICINE (US) STANDING COMMITTEE ON THE SCIENTIFIC EVALUATION OF DIETARY REFERENCE INTAKES et al. **Pantothenic acid.** Washington, DC, USA: National Academies Press, 1998.

JOUANNE, M. et al. Nutrient Requirements during Pregnancy and Lactation. **Nutrients,** v. 13, n. 2, p. 692, 2021.

KAREEM, O. et al. Thiamine deficiency in pregnancy and lactation: implications and present perspectives. **Frontiers in nutrition**, v. 10, p. 1080611, 2023.

KHAN, M. S. et al. Dietary interventions and nutritional supplements for heart failure: a systematic appraisal and evidence map. **European Journal of Heart Failure,** v. 23, n. 9, p. 1468–1476, 2021.

KOZIOŁ-KOZAKOWSKA, A.; MARESZ, K. The impact of vitamin K2 (menaquionones) in children's health and diseases: A review of the literature. **Children (Basel, Switzerland)**, v. 9, n. 1, p. 78, 2022.

KRAUSE, Marie V.; MAHAN, L. Kathleen; ESCOTT-STUMP, Sylvia; RAYMOND, Janice L. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 15ª ed. Rio de Janeiro: GEN: Guanabara Koogan, 2022. 1182 p.

KRESOVICH, J. K. et al. The inflammatory potential of dietary manganese in a cohort of elderly men. **Biological trace element research**, v. 183, n. 1, p. 49–57, 2018.

LANIER, J. B.; PARK, J. J.; CALLAHAN, R. C. Anemia in older adults. **American family physician**, v. 98, n. 7, p. 437–442, 2018.

LEWANDOWSKA, M. et al. First trimester serum copper or zinc levels, and risk of pregnancy-induced hypertension. **Nutrients,** v. 11, n. 10, p. 2479, 2019.

LEWANDOWSKA, M.; LUBIŃSKI, J. Serum microelements in early pregnancy and their risk of large-for-gestational age birth weight. **Nutrients**, v. 12, n. 3, p. 866, 2020.

LI, F. et al. Association of dietary selenium intake with type 2 diabetes in middle-aged and older adults in China. **Nutrients,** v. 16, n. 14, p. 2367, 2024.

LI, P. et al. Associations of phosphorus concentrations with medial arterial calcification in lower-extremity arteries and diabetic foot in people with diabetes: a retrospective cross-sectional study. **Cardiovascular diabetology,** v. 23, n. 1, p. 275, 2024b.

LI, X. et al. Associations of dietary copper intake with cardiovascular disease and mortality: findings from the Chinese Perspective Urban and Rural Epidemiology (PURE-China) Study. **BMC public health,** v. 23, n. 1, p. 2525, 2023.

LIN, S. et al. Association between bone trace elements and osteoporosis in older adults: a cross-sectional study. **Therapeutic advances in musculoskeletal disease**, v. 14, p. 1759720X221125984, 2022.

LIU, X.; AN, J. Dietary iron intake and its impact on osteopenia/osteoporosis. **BMC endocrine disorders,** v. 23, n. 1, p. 154, 2023.

MAHAN, L. K.; RAYMOND, J. L. **Krause** – Alimentos, nutrição e dietoterapia. 14ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MARTINIAKOVA, M. et al. The role of macronutrients, micronutrients and flavonoid polyphenols in the prevention and treatment of osteoporosis. **Nutrients**, v. 14, n. 3, p. 523, 2022.

MARTYSIAK-ŻUROWSKA, D. et al. Higher absorption of vitamin C from food than from supplements by breastfeeding mothers at early stages of lactation. International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift fur Vitamin- und Ernahrungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition, v. 86, n. 3–4, p. 81–87, 2016.

MEISHUO, O. et al. Association between dietary manganese intake and mortality from cardio-vascular disease in Japanese population: The Japan Collaborative Cohort Study. **Journal of atherosclerosis and thrombosis**, v. 29, n. 10, p. 1432–1447, 2022.

MILLER, J. C. et al. lodine status of New Zealand elderly residents in long-term residential care. **Nutrients**, v. 8, n. 8, p. 445, 2016.

NORRIS, S. A. et al. Nutrition in adolescent growth and development. **Lancet**, v. 399, n. 10320, p. 172–184, 2022.

ÖZDEN, T. A. et al. Copper, zinc and iron levels in infants and their mothers during the first year of life: a prospective study. **BMC pediatrics**, v. 15, n. 1, p. 157, 2015.

PARASOGLOU, P. et al. Phosphorus metabolism in the brain of cognitively normal midlife individuals at risk for Alzheimer's disease. **Neuroimage. Reports,** v. 2, n. 4, p. 100121, 2022.

PASCO, J. A. et al. Dietary intakes of copper and selenium in association with bone mineral density. **Nutrients**, v. 16, n. 16, 2024.

PATTAN, V. et al. Daily intake and serum levels of copper, selenium and zinc according to glucose metabolism: Cross-sectional and comparative study. **Nutrients**, v. 13, n. 11, p. 4044, 2021.

PENG, S.; ZHANG, G.; WANG, D. Association of selenium intake with bone mineral density and osteoporosis: the national health and nutrition examination survey. **Frontiers in endocrinology**, v. 14, p. 1251838, 2023.

PERRY, C. A. et al. Pregnancy and lactation alter biomarkers of biotin metabolism in women consuming a controlled diet. **The journal of nutrition**, v. 144, n. 12, p. 1977–1984, 2014.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. **Phosphorus**. Disponível em: https://ods.od.nih.gov/fact-sheets/Phosphorus-HealthProfessional/. Acesso em: 18 jun. 2025.

PETERSON, C. T. et al. B vitamins and their role in immune regulation and cancer. **Nutrients,** v. 12, n. 11, p. 3380, 2020.

PHILIPPI, Sonia T. (Org.). **Pirâmide dos alimentos:** fundamentos básicos da nutrição. 4ª ed. São Paulo: Manole, 2024. 368 p.

PODOLSKA, K. et al. Ascorbic acid intake during pregnancy. **Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky, Olomouc, Czechoslovakia,** v. 167, n. 3, p. 213–218, 2023.

QU, X. et al. Serum zinc levels and multiple health outcomes: Implications for zinc-based biomaterials. **Bioactive materials**, v. 5, n. 2, p. 410–422, 2020.

ROSS, A. Catharine et al. **Nutrição moderna de Shils na saúde e na doença.** 11ª ed. Barueri: Manole, 2016. 1642 p.

RONDANELLI M. et al. Pivotal role of boron supplementation on bone health: A narrative review. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,** v. 62, p. 126577, 1 dez. 2020.

ROZENTRYT, P. et al. Higher serum phosphorus is associated with catabolic/anabolic imbalance in heart failure: Serum phosphorus and catabolism in heart failure. **Journal of cachexia, sarcopenia and muscle,** v. 6, n. 4, p. 325–334, 2015.

SERAPHIN, G. et al. The impact of vitamin D on cancer: A mini review. **The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology,** v. 231, n. 106308, p. 106308, 2023.

SHENKIN, A. et al. LLL 44-1 Micronutrients in clinical nutrition: Trace Elements. **Clinical Nutrition ESPEN,** v. 61, p. 369–376, 17 abr. 2024.

SILVA, Sandra Maria Chemin Seabra da; MURA, Joana D'arc Pereira. **Tratado de alimentação, nutrição & dietoterapia**. 3ª ed. São Paulo: Payá, 2016. 1308 p.

SKALNY, A. V. et al. Role of vitamins beyond vitamin D3 in bone health and osteoporosis (Review). **International Journal of Molecular Medicine,** v. 53, n. 1, 2024.

STIPANUK, M. H.; CAUDILL, M. A. **Biochemical, Physiological, and Molecular Aspects of Human Nutrition.** 3ª ed. St. Louis: Elsevier, 2018.

STRÅVIK, M. et al. Infant iodine and selenium status in relation to maternal status and diet during pregnancy and lactation. **Frontiers in nutrition**, v. 8, p. 733602, 2021.

TANKEU, A. T.; NDIP AGBOR, V.; NOUBIAP, J. J. Calcium supplementation and cardiovascular risk: A rising concern. **Journal of clinical hypertension (Greenwich, Conn.),** v. 19, n. 6, p. 640–646, 2017.

TRABER, M. G. Vitamin E: necessary nutrient for neural development and cognitive function. The **Proceedings of the Nutrition Society,** v. 80, n. 3, p. 319–326, 2021.

VALDÉS-RAMOS, R. et al. Vitamins and type 2 diabetes mellitus. **Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets,** v. 15, n. 1, p. 54–63, 2015. Acesso em 3 jun. 2025.

WANG, A. et al. Association of dietary vitamin K intake with cognition in the elderly. **Frontiers in nutrition,** v. 9, p. 900887, 2022.

WIĘCEK, S.; PAPROCKA, J. Disorders of copper metabolism in children-A problem too rarely recognized. **Metabolites,** v. 14, n. 1, 2024.

WINDER, M. et al. The impact of iodine concentration disorders on health and cancer. **Nutrients**, v. 14, n. 11, p. 2209, 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Micronutrients.** Disponível em: https://www.who.int/health-topics/micronutrients#tab=tab_1. Acesso em: 3 jun. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Trace elements in human nutrition and health**. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9241561734. Acesso em: 2 jun. 2025.

XIONG, Z. et al. Vitamin E and multiple health outcomes: An umbrella review of meta-analyses. **Nutrients,** v. 15, n. 15, 2023.

YADAV, V. K. et al. Role of magnesium supplementation in children with West syndrome: A randomized controlled clinical trial. **Iranian journal of child neurology,** v. 16, n. 1, p. 65–75, Inverno 2022.

YANG, T. et al. Nutritional composition of breast milk in Chinese women: a systematic review. **Asia Pacific journal of clinical nutrition**, v. 27, n. 3, p. 491–502, 2018.

ZEKAVAT, O. R. et al. Trace elements in children with acute lymphoblastic leukemia. **Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP,** v. 22, n. S1, p. 43–47, 2021

