



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

BIOQUÍMICA BÁSICA DOS ALIMENTOS

Anabel Kovacs
Monique Silva Coelho

Anabel Kovacs
Monique Silva Coelho

Bioquímica Básica dos Alimentos

1ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

K19B Kovacs, Anabel
Bioquímica Básica dos Alimentos

/ Anabel Kovacs. Monique Silva Coelho. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2024

66 f.: il

DOI: 10.37423/2024.edcl1000

ISBN: 978-65-5367-535-3

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. bioquímica 2. química-dos-alimentos 3. alimentos 4. indústria-alimentícia I. Kovacs, Anabel II. Coelho, Monique Silva III. Título

CDU: 370

<https://doi.org/10.37423/2024.edcl1000>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

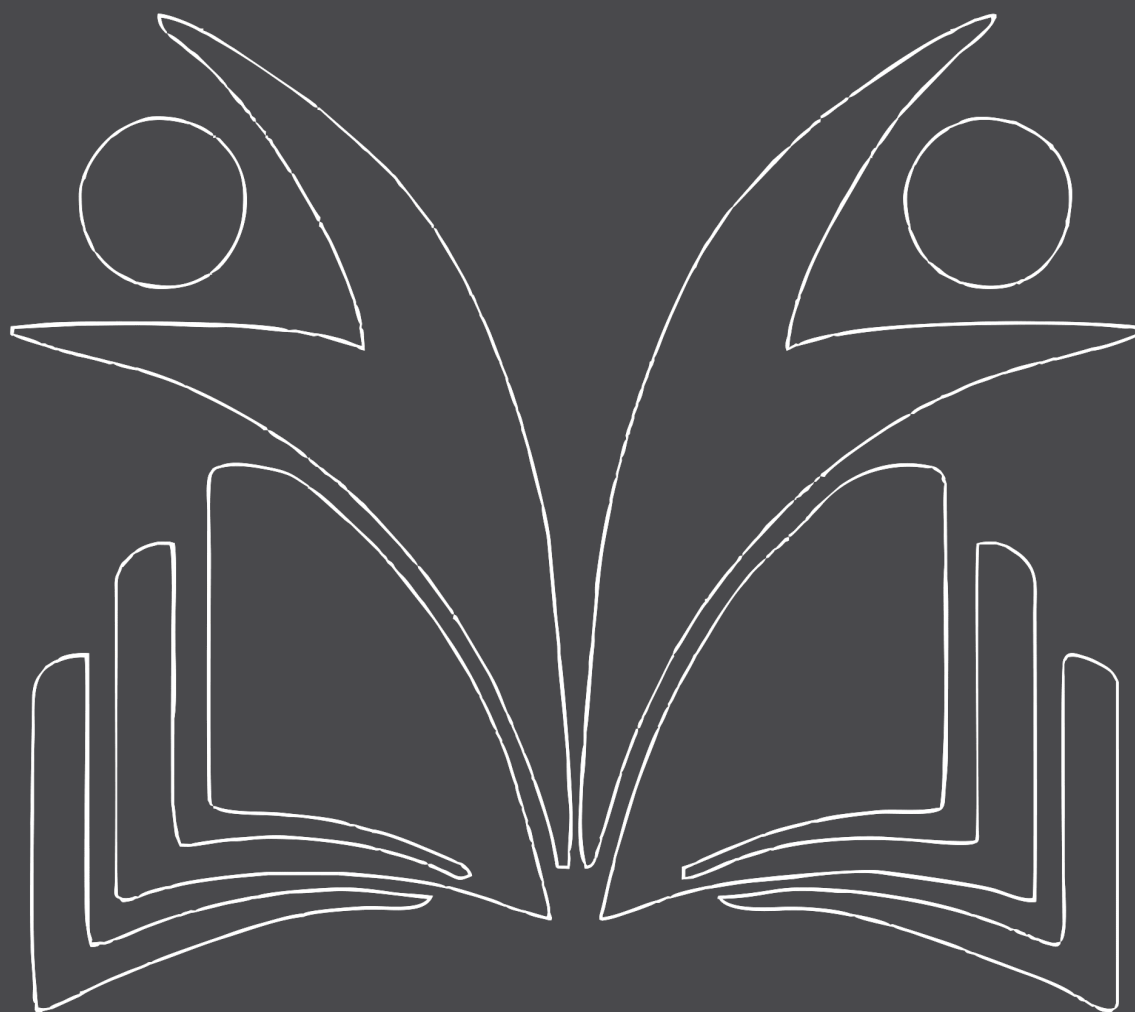
Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos



10.37423/2024.edcl1000



SUMÁRIO

O estudo bioquímico dos alimentos	2
CARBOIDRATOS	3
Polissacarídeos	9
Amido	11
Pectina.....	12
Celulose.....	14
Metabolismo de carboidratos	15
LIPÍDEOS	17
Propriedades físicas dos lipídeos.....	18
Glicerídeos	21
Hidrólise dos glicerídeos.....	22
Fosfolipídeos	24
Esfingolipídios	25
Lipídeos esteroides.....	27
Degradação e conservação de lipídeos.....	29
Processos de rancificação	29
Antioxidantes.....	31
PROTEÍNAS	34
Peptídeos e a ligação glicosídica	36
Organização espacial das proteínas	37
Proteínas e alimentação.....	39
Valor biológico (alimentar) das proteínas	41
Digestão e absorção de proteínas	42
MINERAIS	43
Macrominerais.....	43
Enxofre	43
Cálcio.....	44
Potássio.....	44
Fósforo	45
Magnésio	45
Cloro	46
Microminerais.....	46
Ferro	47

Bioquímica básica dos Alimentos

Iodo.....	47
Cobre.....	48
Zinco.....	49
Manganês.....	49
VITAMINAS	50
Vitaminas lipossolúveis:	50
Vitamina A (retinol):	50
Vitamina D (calciferol):.....	51
Vitamina E (tocoferol):	51
Vitamina K:	52
Vitaminas hidrossolúveis:.....	53
Vitamina C (ácido ascórbico):.....	53
Vitaminas do Complexo B:	53
REFERÊNCIAS	58

O estudo bioquímico dos alimentos

A bioquímica dos alimentos é uma área interdisciplinar extremamente complexa que envolve conhecimentos de diversas áreas tais como: a química, a biologia, a física, a estatística, estudos demográficos e a medicina. Somente dessa forma é possível estudar a ciência dos alimentos em sua totalidade. Além de compreender a estrutura molecular dos alimentos *in natura* é fundamental entender as transformações químicas e bioquímicas que ocorrem nos alimentos durante sua produção, processamento, armazenamento e consumo. Essas transformações são cruciais para entender e garantir a qualidade, segurança e valor nutricional dos alimentos.

Neste livro você irá estudar a composição química dos alimentos, a caracterização de macro e micronutrientes e como esses alimentos são afetados, quais são as transformações bioquímicas responsáveis por cada uma de suas características. Discutiremos como os alimentos são metabolizados pelo organismo, as principais enzimas envolvidas, em que parte do corpo ocorrem as reações e qual impacto a dieta pode causar no metabolismo a curto e longo prazo.

O conhecimento dessas características é chave no desenvolvimento de novo produtos de melhor qualidade, que melhor atendam as necessidades nutricionais e que possuam a menor quantidade de aditivos possível. Além de melhorar processos industriais já existentes melhorando a produtividade e a sustentabilidade da cadeia de produção de alimentos.

A segurança alimentar também será abordada, pois é uma preocupação central na bioquímica dos alimentos. As condições de armazenamento, processamento e acondicionamento pelo consumidor final e como é possível preservar esses alimentos. Dessa forma, a bioquímica dos alimentos pode contribuir para a formulação de políticas públicas e programas de nutrição que promovem a saúde e bem-estar da população.

CARBOIDRATOS

Geralmente ao ouvir a palavra carboidrato nos vem a mente alimentos como pães e massas, mas pouco relacionamos aos açúcares, embora façam parte do mesmo grupo alimentar. A palavra carboidrato tem sua etimologia vinculada ao latim e pode ser traduzida como carbono + água. As moléculas de carboidratos são formadas por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, estes dois constituintes da água, os carboidratos são o tipo de biomolécula mais abundante. Através da fotossíntese as plantas convertem $\text{CO}_{2(g)}$ e $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ em celulose, fibra vegetal e outras moléculas. Os carboidratos são a principal e mais importante fonte de energia da nossa alimentação, fazem parte da reserva energética de animais e plantas. Além disso, também fazem parte de glicoproteínas, e ácidos nucleicos, sendo fundamentais para a homeostase.

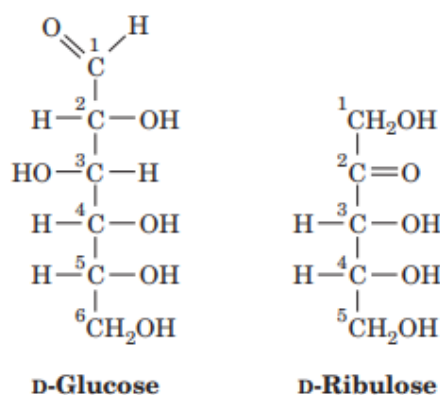
A sua importância muitas vezes é negligenciada e carboidratos são vistos meramente como vilões da alimentação saudável. De fato, o consumo excessivo de carboidratos é prejudicial à saúde e esse aspecto não pode ser deixado de lado, mas sem os carboidratos não existe a possibilidade de vida como a conhecemos. Nesse capítulo iremos explorar as propriedades e funções de diversos carboidratos comuns em alimentos.

Figura 1: Carboidratos diversos dispostos em uma mesa. Adobe Firefly.



Os carboidratos mais simples são chamados de **monossacarídeos**. Todos os monossacarídeos são derivados de uma de duas estruturas base de poli-hidroxi-álcoois contendo pelo menos três átomos de carbono, essa classificação depende do grupo funcional do carbono carbonílico, podendo esse ser um *aldeído* ou *cetona*. Abaixo na figura 2 é possível comparar os grupos, os açúcares contendo o grupo aldeído são chamados de aldoses e os contendo o grupo cetona cetoses.

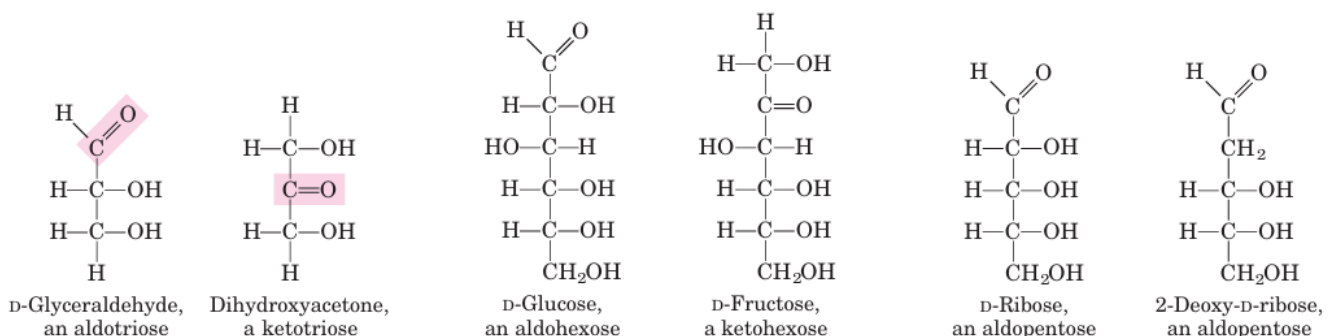
Figura 2: Comparação dos grupos funcionais das aldoses e das cetoses observe a diferença nos grupos funcionais. A D-Glucose é uma aldose enquanto a Ribulose é uma cetose.



Fonte: Adaptado de Voet pg 359.

Diversos monossacarídeos são fundamentais para o metabolismo e são sintetizados no corpo a partir daqueles obtidos na alimentação através do consumo de carboidratos, geralmente na forma de polissacarídeos, como monossacarídeos essenciais temos como exemplo a glicose, a frutose e a galactose. A estrutura de alguns desses monossacarídeos pode ser vista na figura 03 a seguir.

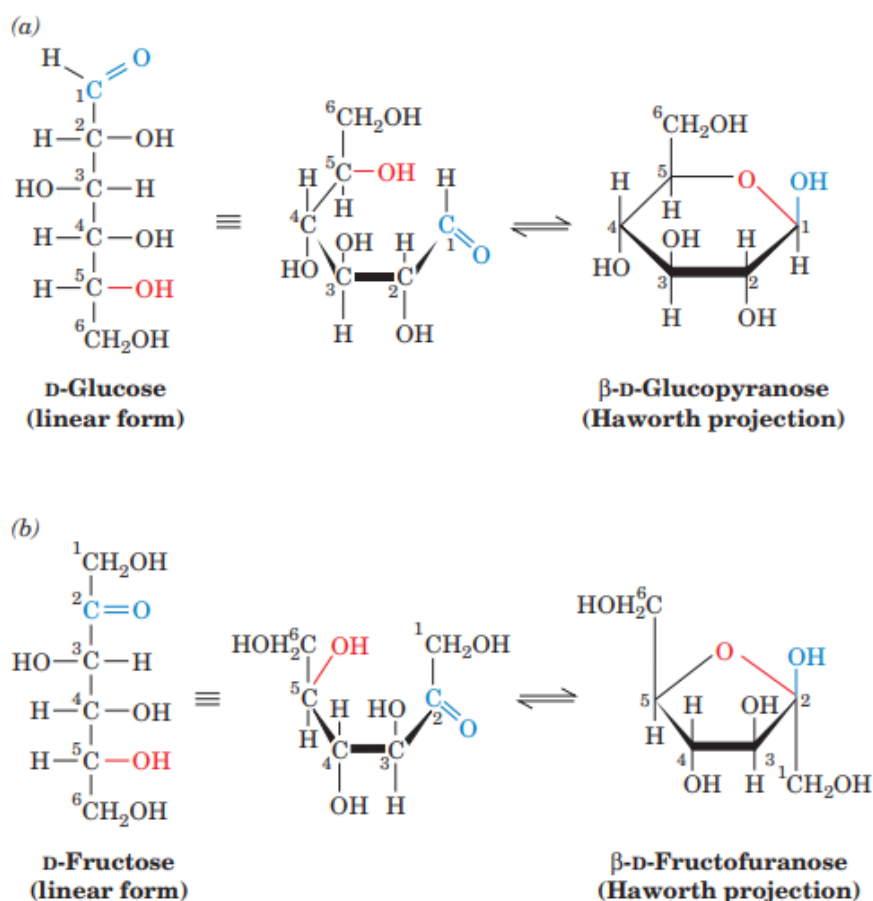
Figura 3: Estrutura de alguns monossacarídeos. Adaptado de Lehninger.



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 236

Os monossacarídeos possuem duas morfologias, a linear e a cíclica. Existe um equilíbrio entre as duas formas, em meio fisiológico a forma que prevalece é a cíclica, pois é a mais estável, existem enzimas responsáveis por esse controle assim as reações necessárias ao metabolismo com as moléculas de carboidratos podem acontecer sem problemas. A **reação de ciclização** é reversível e ocorre através da liberação de uma molécula de água. Na figura 4 o processo de ciclização pode ser visto com mais detalhes.

Figura 04: Ciclização da glicose e da frutose, respectivamente. Observe que a ciclização ocorre entre carbono carbonílico e o carbono da extremidade inferior.



Fonte: Adaptado de Voet pg 362.

Os monossacarídeos possuem **carbonos quirais**, ou seja, possuem centros assimétricos. A classificação dos enantiômeros é baseada na configuração do monossacarídeo mais simples o gliceraldeído. Na figura 5 abaixo é possível observar as diferenças entre o enantiômero D e L do gliceraldeído.

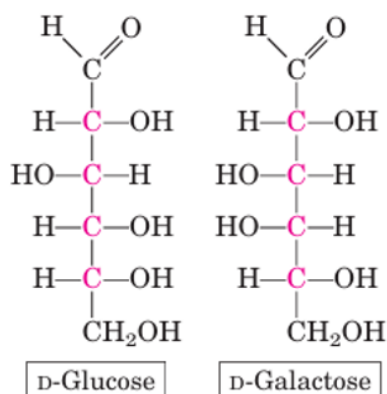
Figura 05: fórmulas de Fischer para o D-gliceraldeído e L-gliceraldeído.



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 236

A existência de carbonos quirais nos monossacarídeos faz com que além de existirem enantiômeros para cada uma das moléculas – glicose D e glicose L, por exemplo – existe uma infinidade de combinações de moléculas possíveis, ao passo que são adicionados carbonos a cadeia carbônica dos monossacarídeos a possibilidade cresce exponencialmente. Na figura 6 abaixo é possível observar a D-glucose e a D-galactose que possuem fórmulas químicas idênticas, porém configurações espaciais distintas, fazendo com que as moléculas possuam propriedades diferentes.

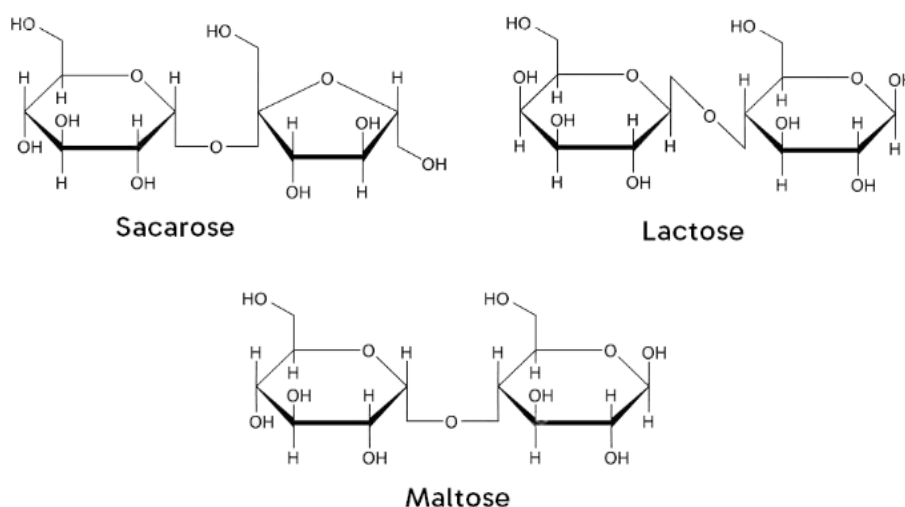
Figura 06: fórmulas de Fischer para a d-glucose e a d-galactose



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 237

Além de existirem como monossacarídeos, os carboidratos podem se organizar em dímeros. Os dímeros podem ser formados por unidades de sacarídeos diferentes ou iguais, levando em consideração a isomeria existente nas moléculas de monossacarídeos existe uma imensa gama de possibilidades para a formação de dissacarídeos. Algumas combinações conhecidas recebem nomes específicos, na figura 07 é possível ver as estruturas dos dissacarídeos: sacarose *açúcar de mesa* (glicose + frutose), lactose *açúcar do leite* (galactose + glicose) e maltose *açúcar de cereais* (glicose α + glicose β).

Figura 07: Dissacarídeos sacarose, lactose e maltose.



Fonte: Material de apoio. NST-biologia. Glicídeos e carboidratos. Descomplica.

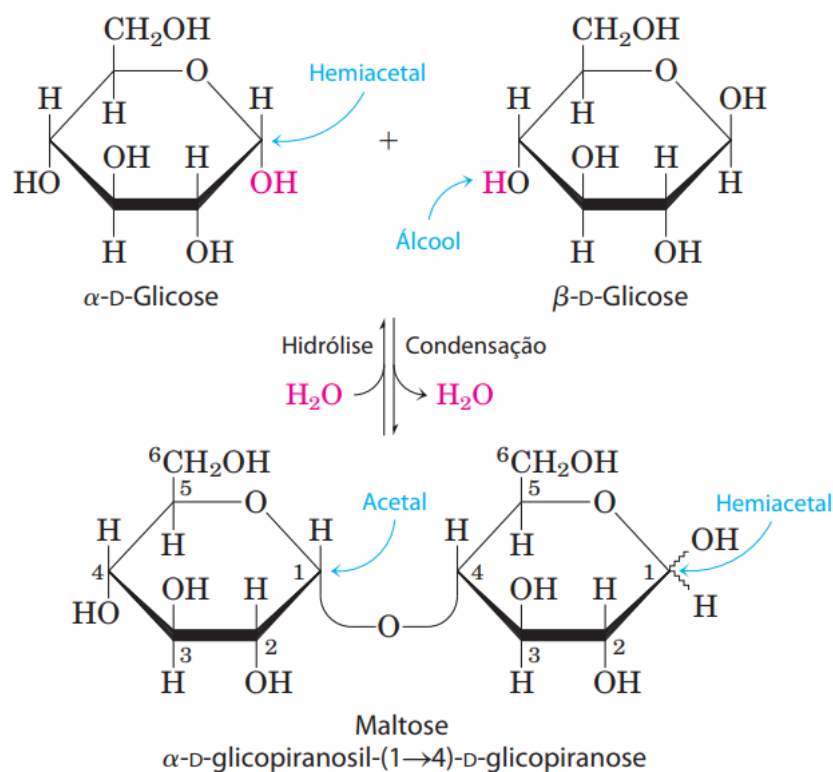
Você sabia?



Algumas pessoas possuem intolerância a Lactose, essa intolerância se deve a uma deficiência da enzima lactase que quebra o dissacarídeo lactose em glicose e galactose, os sintomas incluem desconforto abdominal e sintomas gastrointestinais.

A ligação que mantém os monossacarídeos unidos se chama ligação glicosídica. Contanto que exista um terminal hemiacetal é possível ocorrer a formação da ligação glicosídica. Na figura 08 abaixo é possível observar em detalhes como ocorre a reação de condensação entre os monossacarídeos, essa reação é reversível através de hidrólise enzimática. É importante salientar que a ligação glicosídica ocorre apenas nas formas ciclizadas e pode ou não gerar outro terminal hemiacetal, o que deixaria em aberto a possibilidade da adição de mais monossacarídeos, adicionalmente a exposição de um terminal hemiacetal forma um dissacarídeo redutor.

Figura 08: Formação da uma ligação glicosídica para a formação da maltose.

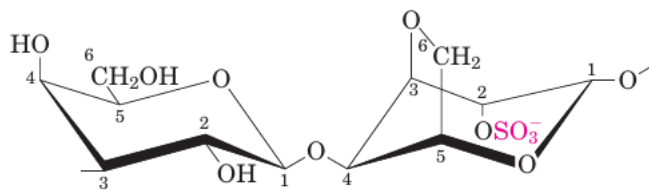


Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 243

Polissacarídeos

No caso de dímeros que possuam uma extremidade redutora podem ser formados os polissacarídeos, polissacarídeos são polímeros de monossacarídeos ou de unidades base de dissacarídeos, muitos desses polissacarídeos estão presentes em nossa alimentação. Esses polissacarídeos podem ser **homopolissacarídeos** ou **heteropolissacarídeos**, isso depende se o polissacarídeo é derivado de um único monossacarídeo ou de monossacarídeos diferentes, como exemplo de heteropolissacarídeo temos a agarose tendo como subunidade a D-galactose ($\beta 1 \rightarrow 4$)-ligada a 3,6-anhidro-L-galactose, a fórmula estrutural da agarose pode ser vista na figura 9 abaixo.

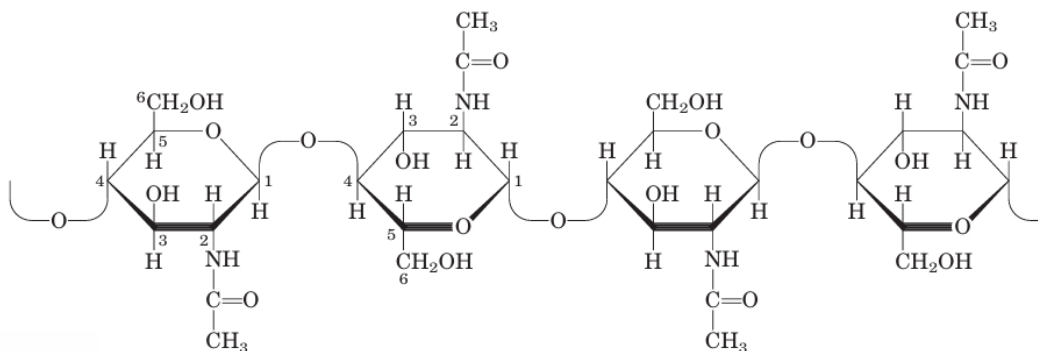
Figura 09: estrutura da agarose um heteropolissacarídeo



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 249

A quitina é um exemplo de homopolissacarídeo linear que faz parte do exoesqueleto de diversos insetos como por exemplo os besouros. Na figura 10 abaixo é possível observar um trecho de um polímero de quitina que possui subunidades de N-acetil-D-glucosamina ligadas em ($\beta 1 \rightarrow 4$).

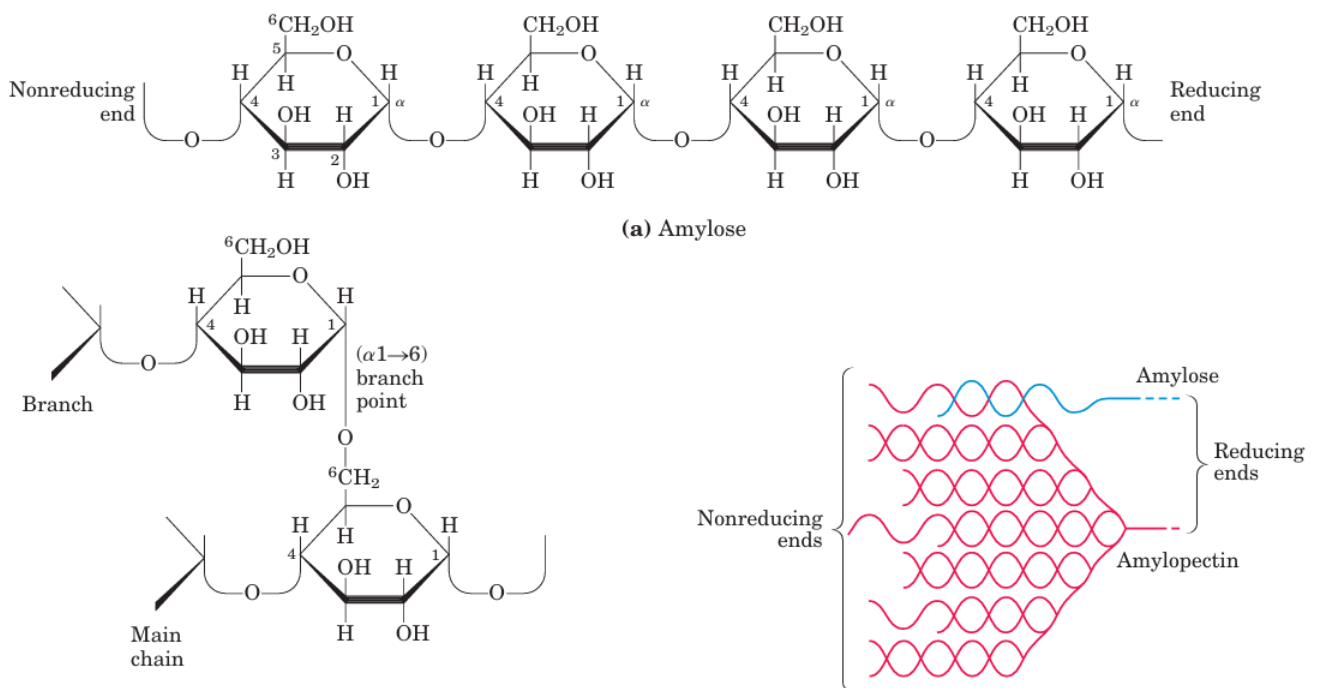
Figura 10: estrutura da quitina, um homopolissacarídeo



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 247

É importante salientar que as configurações espaciais, mesmo em homopolissacarídeos, podem ser extremamente complexas e não lineares. O amido, por exemplo, é formado por unidades de glicose organizadas de duas maneiras distintas, uma delas, a amilose, é linear, composta de unidades de glicose ligadas entre si através de ligações α 1 $\rightarrow$ 4. Já a amilopectina é composta de ligações α 1 $\rightarrow$ 6, isso faz com que a sua disposição no espaço forme uma espécie de espiral, a interação dessa espiral e do trecho linear do amido determina suas propriedades. Na figura 11 abaixo é possível entender como essas ligações se organizam no espaço.

Figura 11: Estrutura do amido, diferença entre amilose e amilopectina.



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 245

A seguir discutiremos alguns polissacarídeos importantes na bioquímica dos alimentos e como suas propriedades determinam seus usos na indústria de alimentos.

Amido

O amido é um carboidrato de origem vegetal, onde cumpre o papel de reserva energética, de maneira análoga ao glicogênio em mamíferos. É possível obter amido de diversos vegetais com facilidade, a batata, o milho e a mandioca são exemplos populares para a obtenção desse polissacarídeo para uso culinário. Além de serem ingredientes para diversas preparações.

Figura 12: Carboidratos diversos dispostos em uma mesa. Adobe Firefly.



O amido é usado na indústria alimentícia como estabilizante de espuma e de emulsão, espessante, gelificante, umectante, propicia a retenção de umidade e texturizante. Essa gama de usos está relacionada com as propriedades físicas adquiridas por conta da organização molecular do amido, sua estrutura permite o aprisionamento de moléculas, dessa forma o acúmulo de moléculas de água, por exemplo, faz com que soluções de amido formem suspensões e adquiram características de gel quando aquecido.

É necessário ressaltar que o amido nativo (que não sofreu tratamento) pode inserir nos alimentos produzidos características indesejáveis como: baixa estabilidade ao calor, baixa solubilidade em água, alta temperatura de gelatinização, alta viscosidade, e propriedades mecânicas inadequadas. Para que o amido adquira as características ideais para cada tipo de processamento industrial ele pode ser modificado por processos físico-químicos. A modificação inclui a adição de grupos funcionais que alteram as propriedades do polímero, diminuição da massa molecular, e tratamento enzimático como, exemplo, para purificação.

Pectina

A pectina é um polissacarídeo solúvel contido em vegetais superiores, como as frutas, é encontrada envolvida na membrana celular juntamente à celulose e hemicelulose. As frutas que possuem maior conteúdo de pectina são a maçã e as frutas cítricas. A tabela 1 abaixo mostra o conteúdo de pectina em frutas e vegetais conhecidos. A fonte de pectina não é tão relevante para a extração da pectina, mas pode variar em receitas que façam uso do alimento *in natura*.

Tabela 1: conteúdo de pectina em vegetais conhecidos

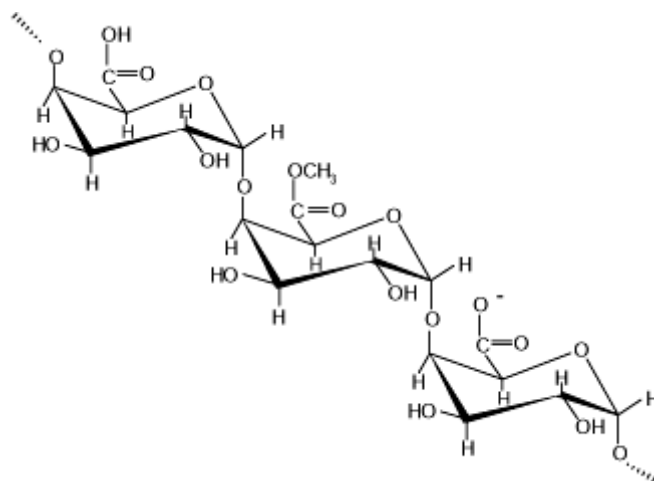
Fruto	% em MF	% em MS
Maçã (<i>Malus</i> sp.)	0,5-1,6	4-7
Bagaço de maçã	1,5-2,5	15-20
Albedo cítrico (<i>Citrus</i> sp.)	–	30-35
Casca de laranja (<i>Citrus sinensis</i>)	3,5-5,5	–
Maracujá (<i>Passiflora edulis</i> S.)	0,5	–
Maracujá gigante (<i>Passiflora quadrangularis</i> L.)	0,4	–
Casca de maracujá	2,1-3,0	–
Batata	–	2,5
Banana (<i>Musa acuminata</i>)	0,7-1,2	–
Beterraba (<i>Beta vulgaris</i>)	1,0	–
Bagaço de beterraba	–	15-20
Carambola (<i>Averrhoa carambola</i>)	0,7	–
Cenoura (<i>Daucus carota</i>)	0,2-0,5	10
Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	0,8-1,0	–
Polpa de limão (<i>Citrus lemon</i>)	2,5-4,0	–
Lichia (<i>Litchi chinensis</i> S.)	0,4	–
Manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	0,2-0,4	–
Mamão (<i>Carica papaya</i>)	0,7-1,0	–
Pêssegos (<i>Prunus persica</i>)	0,1-0,9	–
Abacaxi (<i>Ananas comosus</i> L.)	0,04-0,1	–
Morangos (<i>Fragaria ananassa</i>)	0,6-0,7	–
Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.)	1,71	–
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	0,2-0,6	3

MF = material-fresca; MS = material-seca.

Fonte: Pectina: da Matéria-Prima ao Produto Final. Canteri, Wosiacki, Scheer, 2012.

A estrutura da pectina é extremamente complexa e não totalmente consolidada, a depender da fruta de origem a estrutura molecular possui características distintas, tanto no tamanho do polímero quanto no número de esterificações. No entanto, sabe-se que a sua cadeia polimérica é formada majoritariamente por subunidades de ácido galactorônico, um derivado da galactose, um trecho da macromolécula de pectina pode ser vista na figura 13.

Figura 13: Estrutura base da pectina.



Fonte: Info Escola.

Na indústria de alimentos a pectina é usada como estabilizante de geleias, texturizador e gelificante, a origem da palavra pectina remete a formação de géis. É uma alternativa ao amido para a formação de géis pois possui propriedades distintas, por exemplo a solubilidade em água. Isso faz com que seja possível utilizar a pectina e preparações mais leves e que o solvente seja hidrofílico.

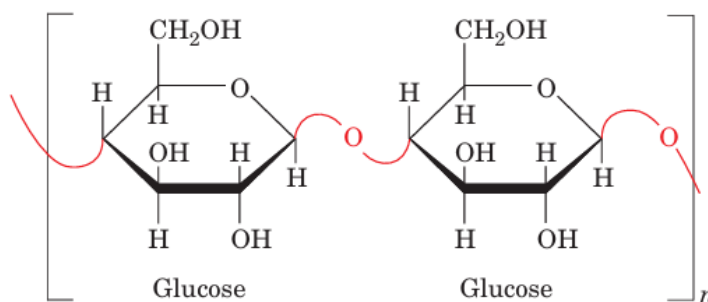
Figura 14: geleia de frutas em uma mesa. Adobe Firefly.



Celulose

A celulose é um importante polissacarídeo, constituente principal da parede celular de plantas, não digerível pelos seres humanos. É muito importante na indústria do papel, dentro da categoria dos alimentos faz parte da fibra vegetal. Na figura 15 abaixo é possível observar uma subunidade de celulose, a estrutura da celulose é composta do monossacarídeo β -glicose unidos através de ligações β -1,4-glicosídicas.

Figura 15: Estrutura de uma subunidade de celulose.



Fonte: Adaptado de Voet pg 368.

Na alimentação embora a celulose não seja digerida pelos seres humanos, ela é importante para uma boa saúde gastrointestinal, por não ser digerida e ser insolúvel em água é fundamental para a formação do bolo fecal e é um dos motivos pelos quais a ingestão de fibras insolúveis é recomendada na alimentação.

Figura 16: mesa com vegetais folhosos. Adobe Firefly.



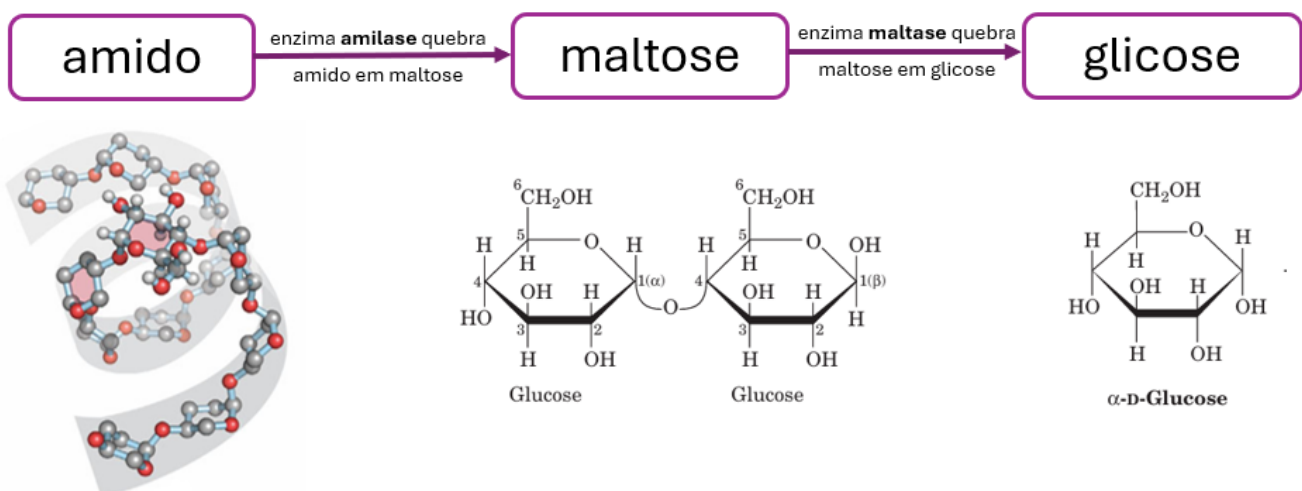
Metabolismo de carboidratos

Após o consumo de alimentos que contém carboidratos são necessários diversos processos metabólicos para que o corpo os absorva. Considerando que existem diversos tipos de carboidratos existem também diversos tipos de reações bioquímicas envolvidas no metabolismo desses carboidratos, a celulose e a pectina não são digeridas pelo corpo, no entanto a sacarose, o amido a maltase e outros podem ser absorvidos e transformados em energia ou reserva energética. Os polissacarídeos não reagem espontaneamente quando ingeridos, é necessário um complexo aparato celular para que ocorram essas reações, as enzimas são responsáveis por mediar esses processos.

O processo de metabolização do **amido** começa na boca com a ação de **enzimas amilase** salivares, essas enzimas iniciam a quebra do amido, uma macromolécula, e o transformam em unidades de maltose, um dissacarídeo, que será metabolizado mais adiante no intestino. Apenas parte do amido sofre essa quebra na boca, grande parte apenas será dividida em unidades de maltose por amilases pancreáticas.

Após a transformação de amido em maltose o metabolismo final do amido ocorre, com a ação de enzimas pancreáticas. As enzimas maltase metabolizam a maltose em suas subunidades de α -glicose e β -glicose. A figura 17 mostra esses passos de maneira simplificada.

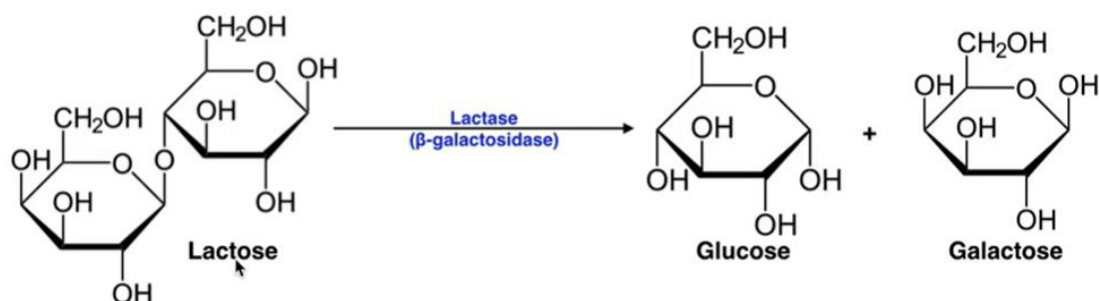
Figura 17: esquema do metabolismo do amido



Fonte: Autoria própria, imagens de Voet e Lehninger.

A digestão da **lactose**, um dissacarídeo obtido através do consumo de alimentos derivados de leite, ocorre no intestino com a participação da **enzima lactase**. Pessoas que são intolerantes à lactose são incapazes de metabolizar esse açúcar por não produzirem a enzima lactase, o que gera distúrbios gastrointestinais que podem ser moderados ou graves. Suplementos de lactase podem ajudar por curtos espaços de tempo, pois apenas permanecem no corpo horas após serem consumidas e sua absorção pode não ser completa. A figura 18 mostra a quebra enzimática da lactose em unidades de glicose e galactose.

Figura 18: Hidrólise enzimática da lactose



Fonte: Catalyst University (YouTube).

No intestino a **sacarose** é metabolizada pela **enzima invertase** em seus resíduos de glicose e frutose. A frutose é um açúcar que pode ser absorvido pelo organismo, assim como a galactose e através de outras reações complexas ser armazenado como fonte de energia.

Você sabia?

A *diabetes Mellitus* é uma síndrome metabólica caracterizada pela disfunção da capacidade do metabolismo processar a glicose, a insulina tem um papel crucial nessa disfunção. Como já vimos, o açúcar não é a única fonte de glicose na alimentação, os carboidratos também geram glicose, portanto uma pessoa diabética deve ter cuidado com o consumo de doces e de alimentos ricos em carboidratos,

LIPÍDEOS

Os lipídeos são um grupo de moléculas orgânicas que compõem os óleos, as gorduras, as ceras, o colesterol, hormônios esteroides e vitaminas lipossolúveis. Existem diversas classes de lipídeos, entre elas os glicerídeos, lipídeos compostos por um ácido graxo de alto peso molecular e o álcool glicerol; os esfingolipídios, lipídeos de membrana; os lipídeos esteroides, lipídeos complexos com função biológica e os fosfolipídeos das membranas plasmáticas

Figura 19: Óleos e gorduras são lipídeos. Adobe Firefly



Quadro 01: Ácidos graxos mais comuns, fórmula e origem.

nome	fórmula	insaturações	origem
Ácido palmítico	$C_{15}H_{31}COOH$	Saturado	animal
Ácido esteárico	$C_{17}H_{35}COOH$	saturado	animal
Ácido Oléico	$C_{17}H_{33}COOH$	insaturado	animal e vegetal
Ácido linoléico	$C_{17}H_{31}COOH$	insaturado	vegetal
Ácido linolênico	$C_{17}H_{29}COOH$	insaturado	vegetal
Ácido butírico	C_4H_7COOH	saturado	animal

Fonte: Autoria própria

Propriedades físicas dos lipídeos

As insaturações não são um mero detalhe dos lipídios, a presença e quantidade de insaturações afeta as propriedades físicas dessas moléculas. A diferença popular de estado físico entre óleos e gorduras é um exemplo dessa alteração.

Observe o quadro 02, onde são apresentadas informações de alguns ácidos graxos, quanto maior o número de insaturações do ácido graxo menor é seu o ponto de fusão, ou seja, os ácidos graxos saturados são predominantemente sólidos, enquanto os insaturados líquidos. É importante ressaltar que o comprimento da cadeia também afeta o ponto de fusão quando se trata de substância orgânicas então, quanto maior for cadeia maior será o ponto de fusão.

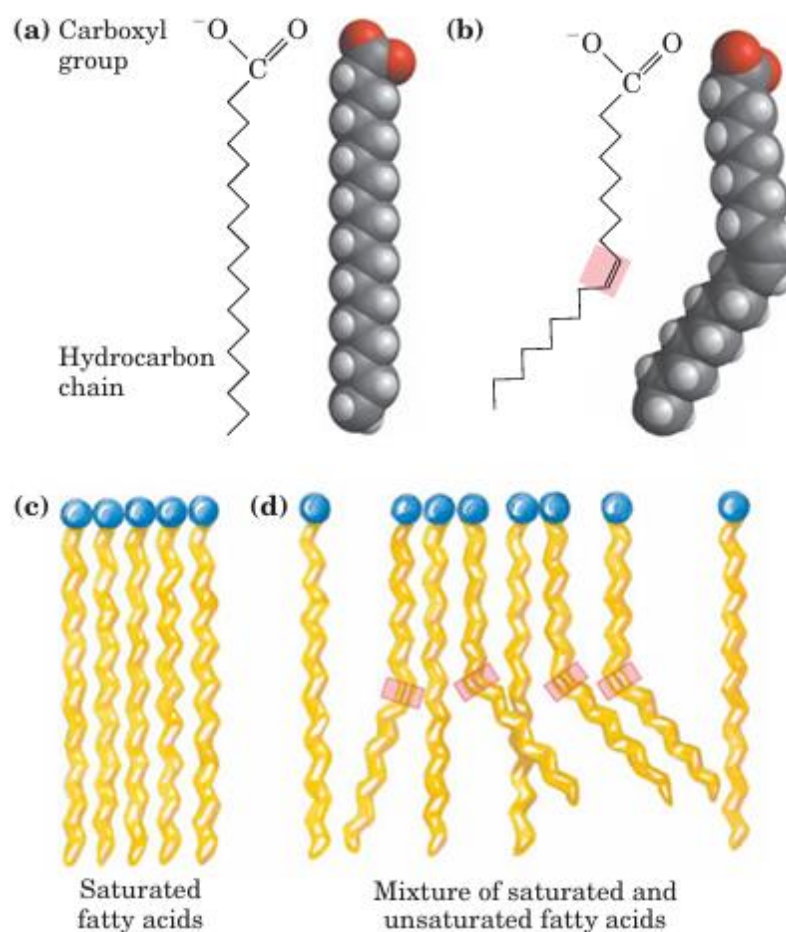
Quadro 2: pontos de fusão de alguns ácidos graxos

Nome do ácido graxo	nº carbonos	nº de insaturações	ponto de fusão
Ácido láurico	12	0	44°C
Ácido mirístico	14	0	54°C
Ácido palmítico	16	0	63°C
Ácido palmitoleico	16	1	-0,5°C
ácido oleico	18	1	16°C
Ácido linoleico	18	2	-5°C
Ácido linolênico	18	3	-11°C
Ácido esteárico	18	0	73°C
Ácido eicosanoico	20	0	77°C
ácido araquidônico	20	4	-50°C

Fonte: Autoria própria

A variação nas temperaturas de fusão entre os lipídeos saturados e os insaturados decorre do dobramento da molécula, o esqueleto orgânico saturado é predominantemente linear, isso faz com que a formação de dipolos induzidos pelas forças de dispersão de London seja favorecida, consequentemente as interações são mais fortes para moléculas saturadas do que para moléculas insaturadas. Observe na figura 20 como as insaturações mudam a estrutura da molécula antes linear desfavorecendo a formação de dipolos induzidos e diminuindo a interação molécula-molécula.

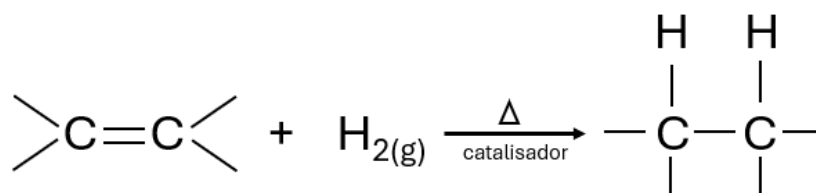
Figura 20: mudanças estruturais provocadas por insaturações em moléculas de ácidos graxos.



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 345

Industrialmente é possível imitar as propriedades da manteiga (origem animal) através da reação de hidrogenação de óleos vegetais, essa reação gera lipídeos saturados a partir de lipídeos insaturados para formar uma gordura hidrogenada chamada tradicionalmente de margarina. A figura 21 mostra o esquema geral de uma reação de hidrogenação.

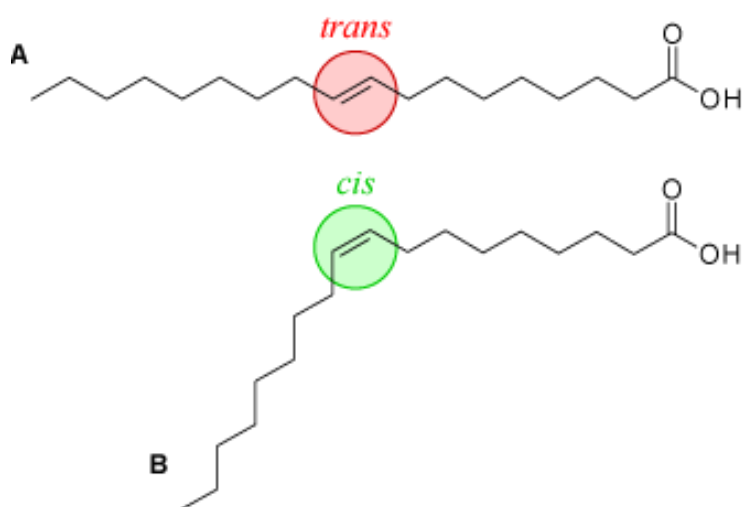
Figura 21: esquema geral de uma reação de hidrogenação.



Fonte: Autoria própria.

No entanto, um dos pontos negativos do consumo de gorduras hidrogenadas é que em seu processo de produção pode ocorrer a formação de gorduras *trans*. O metabolismo reconhece apenas gorduras *cis*, o que significa que o consumo de gorduras *trans* pode aumentar o acúmulo dessas gorduras no corpo, causando diversos problemas de saúde. Na figura 22 é possível entender a diferença entre os ácidos graxos *cis* e *trans*. O tipo de dobramento diferenciado faz com que as enzimas responsáveis pelo metabolismo das gorduras não reconheçam o lipídeo *trans*.

Figura 22: Comparação entre o mesmo ácido graxo nas suas formas *cis* A e *trans* B.



Fonte: CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1426457>

Você sabia?

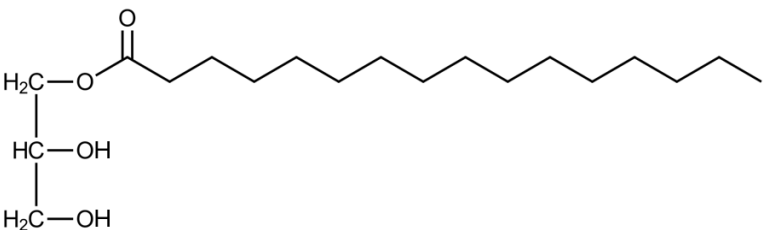
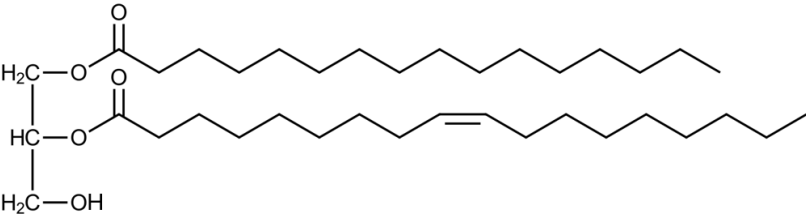
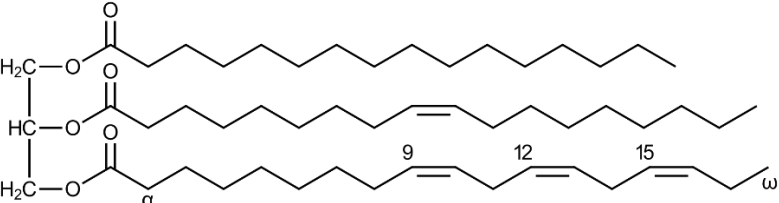
A nova lei de rotulagem de alimentos obriga as empresas colocarem o aviso em seus rótulos alertando o consumidor do conteúdo do alimento comercializado. Os alimentos com alto teor de gorduras saturadas devem receber o rótulo frontal. A quantidade de gorduras *trans* nos alimentos não é tão grande, no entanto, não existe concentração segura para o consumo de gorduras *trans*. Já que esta se acumula no corpo.



Glicerídeos

A classe dos glicerídeos é uma classe importante de lipídeos, composta por um ácido graxo de alto peso molecular e o **álcool glicerol** (propanotriol). Os glicerídeos podem ser mono, di ou tri substituídos, nesse caso recebem as denominações monoglicerídeos, diglicerídeos e triglicerídeos respectivamente. No quadro 3 abaixo é possível observar com mais detalhes cada um desses glicerídeos.

Quadro 3: Tipos de glicerídeos, observe o número de substituições.

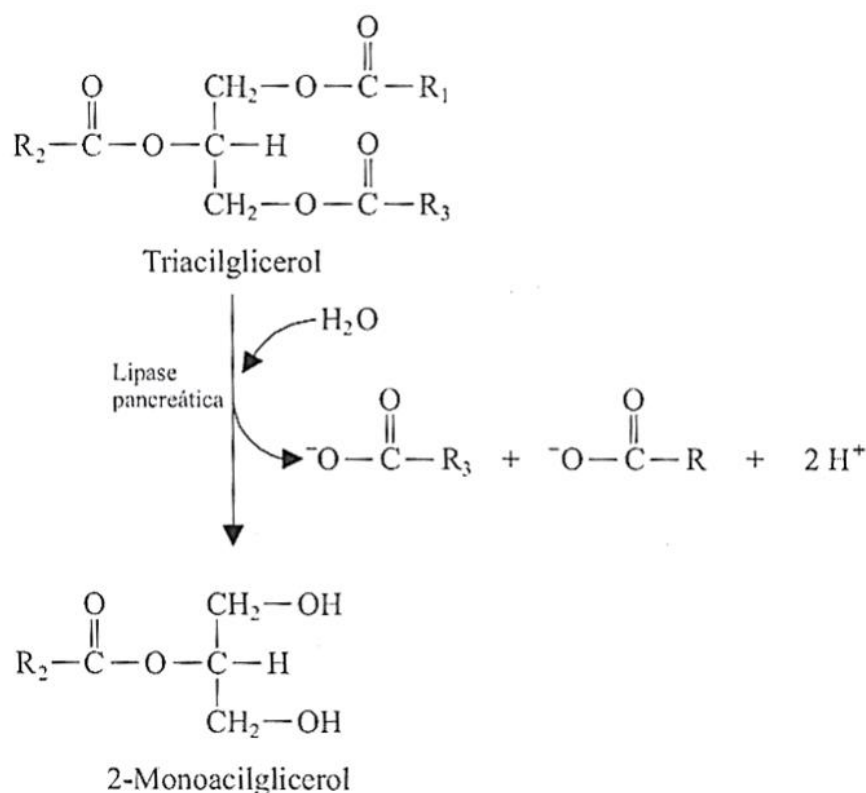
Lipídeo	Fórmula geral	Exemplo
monoglicerídeos	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}_1 \\ \\ \text{H} \end{array} $	 ácido palmítico
diglicerídeos	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}_2 \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}_1 \\ \\ \text{H} \end{array} $	 ácido palmítico, ácido oleico
triglicerídeos	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}_3 \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}_2 \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}_1 \\ \\ \text{H} \end{array} $	 ácido palmítico, ácido oleico, ácido alfa-linolênico

Fonte: Autoria própria. (imagens adaptado de: Nothing serious -, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61222963>)

Hidrólise dos glicerídeos

A hidrólise dos triglicerídeos libera os ácidos graxos livres para o consumo do metabolismo animal, não ocorre espontaneamente e é mediada pela *enzima lipase*, pode ser parcial ou completa como pode ser visto na figura 23 abaixo.

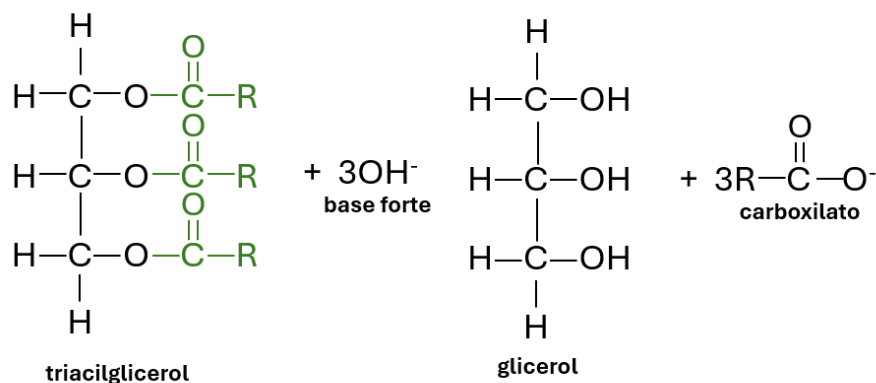
Figura 23: Hidrólise enzimática de um triacilglicerol



Fonte: Bioquímica: MOTTA, Valter Teixeira da; Caxias do Sul, RS: EDUCS, 2005. 2ª edição

A hidrólise não enzimática que ocorre em meio básico é chamada de **saponificação** e é a principal forma de fabricação dos sabões. Após a hidrólise básica o carboxilato é formado. Os carboxilatos são moléculas anfifílicas, isto é, tem propriedades polares e apolares. Dessa forma, o sabão formado pela reação de saponificação é capaz de interagir com a água ao mesmo tempo que interage com a sujeira (geralmente apolar), isso ocorre por conta do trecho polar formado pela reação com hidróxido. A reação de saponificação pode ser vista na figura 24 abaixo.

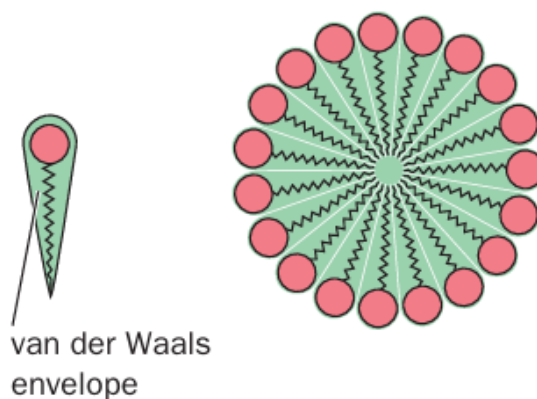
Figura 24: Reação genérica de saponificação



Fonte: Autoria própria.

A interação da gordura com o sabão pode ser elucidada através da formação de micelas, as micelas aprisionam a gordura (ou substâncias apolares em geral) enquanto interagem com a água em sua parte externa, carregando a gordura e lavando-a. A representação de uma micela pode ser vista na figura 25 abaixo.

Figura 25: Estrutura de uma micela, a substância apolar fica aprisionada em seu interior

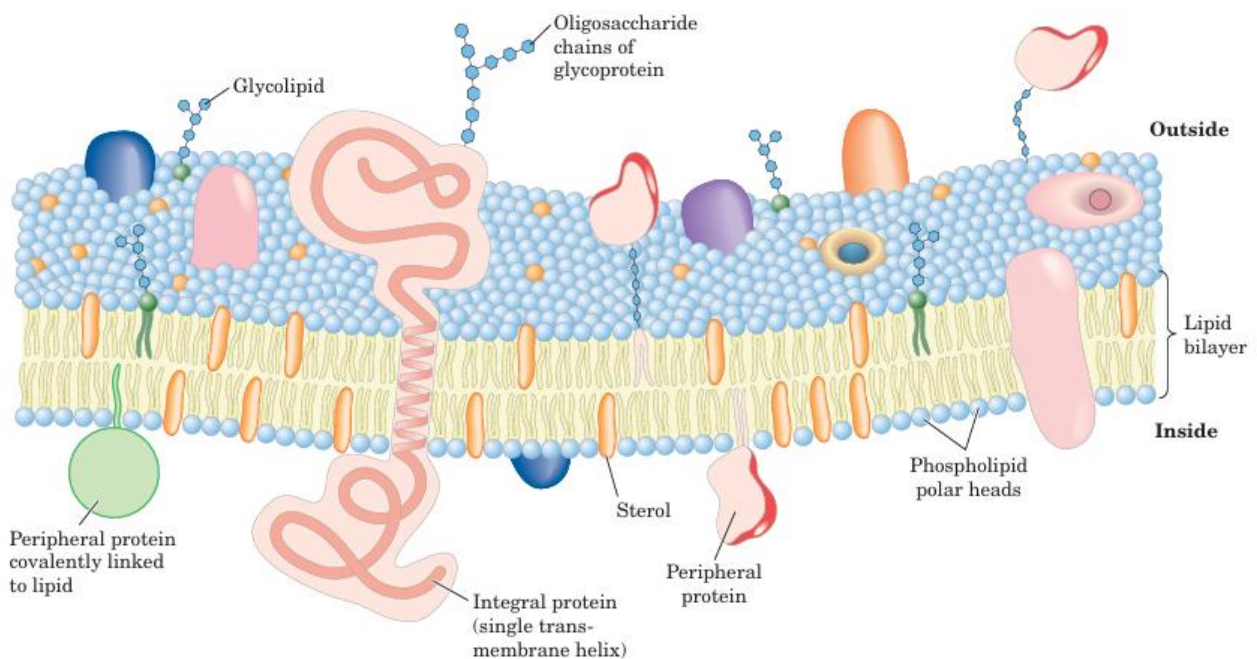


Fonte: Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 394

Fosfolipídeos

Os fosfolipídeos são uma classe de lipídeos complexos que fazem parte das membranas plasmáticas, por possuírem um fosfato na ponta de sua cadeia, isso faz com que sejam capazes de se organizar em compartimentos, são o principal componente das membranas plasmáticas e são importantes para a compartimentalização das células. Na figura 26 abaixo é possível ver como essas estruturas se organizam. As membranas não são compostas apenas de fosfolipídios, na realidade são extremamente complexas e diversas moléculas fazem parte de sua composição, a interação dessas moléculas com a membrana é determinante para as funções biológicas.

Figura 26: A membrana plasmática é uma estrutura complexa.

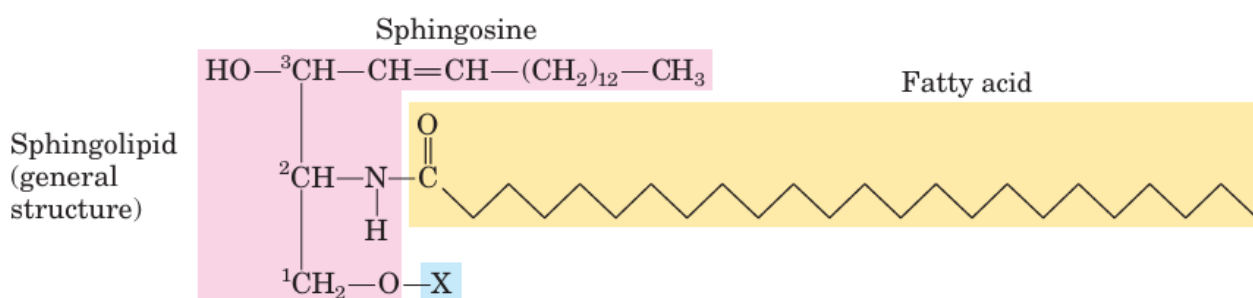


Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 373

Esfingolipídios

Esfingolipídios são lipídeos de membrana, compostos por esfingosina, um ácido graxo e um substituinte genérico na função álcool. A depender desse substituinte o esfingolipídio exibe funções específicas. A estrutura geral dos esfingolipídios pode ser vista na figura 27 abaixo.

Figura 27: Estrutura base de um esfingolipídio



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 353

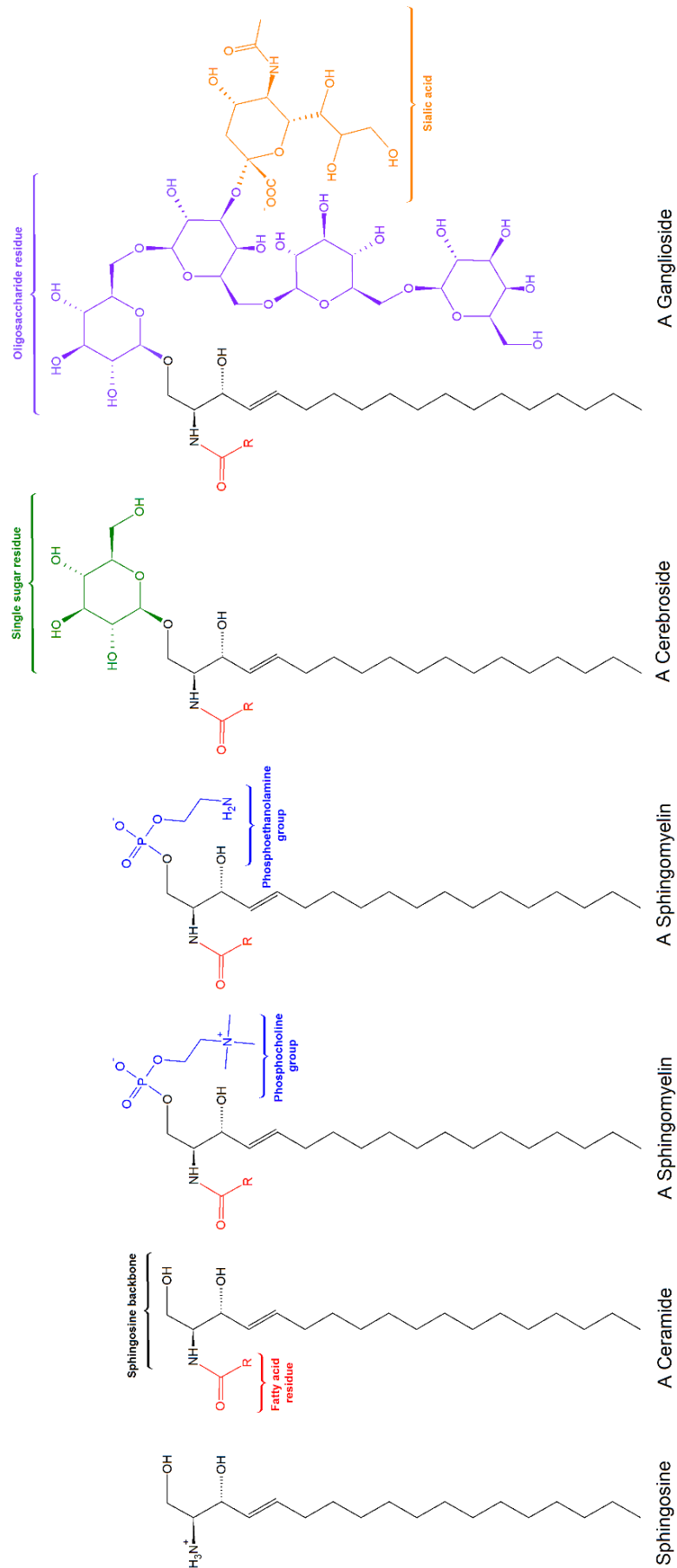
Abaixo no quadro 4 é possível ver a características de alguns esfingolipídios encontrados em membranas celulares. A ceramida é precursora dos demais esfingolipídios, a substituição do grupo X vai depender da função celular de cada um deles.

Quadro 4: características esfingolipídios encontrados em membranas celulares.

Esfingolipídio	Características
Esfingomielinas	O grupo X é substituído por um grupo fosfoamino. Envolve os axônios de células nervosas, encontradas na bainha de mielina
Cerebrosídeos	A ceramida liga-se a um açúcar (glicose ou galactose). Encontrados no cérebro e em quantidade menor em outras células
Gangliosídeos	A ceramida liga-se um oligossacarídeo complexo, ramificado. Encontrados no cérebro e em quantidade menor em outras células

Fonte: Autoria própria.

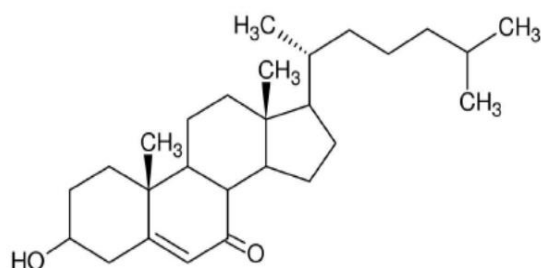
Figura 28: Estruturas de esfingolípídios encontrados em membranas celulares. Fonte: LHcheM



Lipídeos esteroides

Lipídeos esteroides são uma classe de lipídeos complexos com função biológica definida, entre eles estão, os hormônios e algumas vitaminas. A molécula de colesterol é a estrutura base dessa classe de moléculas, alterações biológicas dependem de sua função, na figura 29 abaixo é possível visualizar a estrutura do colesterol.

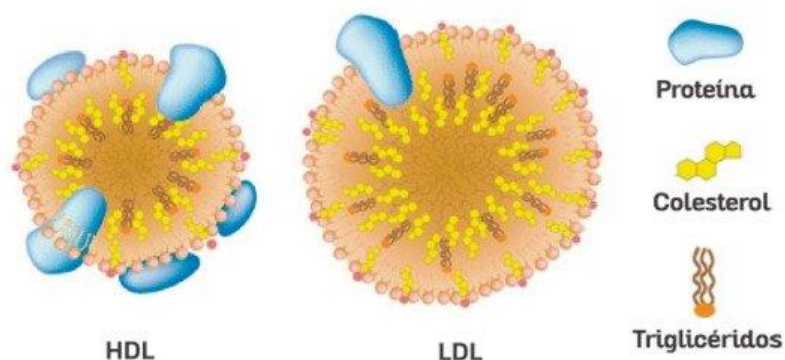
Figura 29: Estrutura da molécula de colesterol



Fonte: wikimedia commons BorisTM

O colesterol é transportado através da célula pelo intermédio de lipoproteínas. A figura 30 abaixo ilustra os dois tipos de lipoproteínas o HDL (high density lipoprotein) lipoproteína de alta densidade e o LDL (low density lipoprotein) lipoproteína de baixa densidade, a quantidade de lipídeos nessas lipoproteínas é o que caracteriza suas diferenças, quanto maior a quantidade de lipídeos menor é a densidade da lipoproteína. A proporção e a quantidade dessas lipoproteínas no plasma sanguíneo é um importante indicativo de saúde.

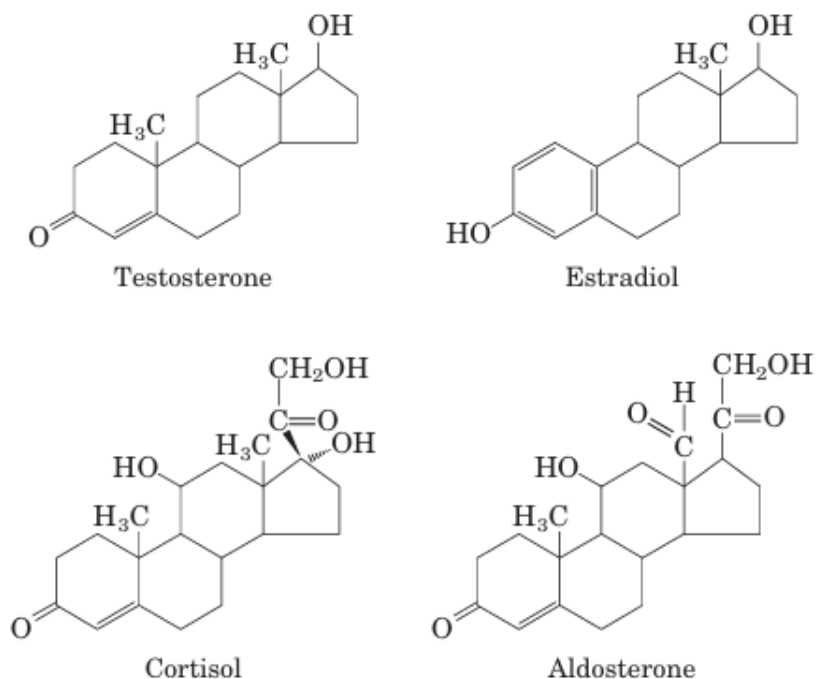
Figura 30: Estrutura da HDL e da LDL



Fonte: Mundo educação

Hormônios são moléculas produzidas pelo corpo humano tendo o colesterol como precursor, essas moléculas funcionam como sinalizadoras, regulando diversos processos de importância biológica. A figura 31 mostra a estrutura química de alguns desses hormônios.

Figura 31: Estrutura de alguns hormônios



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 359

Você sabia?

O monitoramento das lipoproteínas HDL, LDL e VLDL, juntamente com outros fatores é um indicativo de problemas de saúde muito importante usado na medicina preventiva. Vimos nesse capítulo que os lipídeos são de extrema importância para a manutenção de uma boa saúde, já que são fundamentais para a estruturação das células, no entanto, a dieta deve levar em consideração as necessidades nutricionais específicas de cada indivíduo.



Degradação e conservação de lipídeos

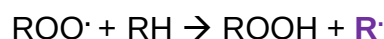
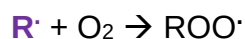
Processos de rancificação

O processo de deterioração de lipídeos é denominado **rancificação**. São processos de reversão, que geram aldeídos através da quebra de lipídeos, reações de hidrólise, reações enzimáticas ou por ação de substâncias químicas, e processos de oxidação complexos. Além de serem responsáveis pela degradação dos lipídeos e afetarem a qualidade dos alimentos, essas reações geram substâncias tóxicas, como óxidos de lipídeos e o aldeídos. O mecanismo da degradação dos lipídeos é *radicalar*, ou seja, as reações ocorrem através da formação de radicais livres e ocorrem descontroladamente. Um esquema do mecanismo de degradação pode ser visto nas equações químicas a seguir.

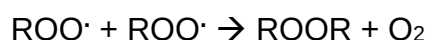
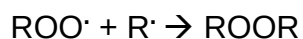
Iniciação



Propagação



Término



Legenda: *RH* ácido graxo insaturado, *R[·]* radical livre, *ROO[·]* radical peróxido, *ROOH* hidroxiperóxido

A iniciação ocorre com a formação do radical livre, prosseguindo para a propagação que produz cada vez mais radicais, a reação apenas é interrompida quando existe formação de produtos mais estáveis que os radicais, esse é um alvo importante de conservantes de alimentos.

Existem fatores ambientais e de processamento indicados para melhorar a conservação dos alimentos e evitar os processos de deterioração lipídica. A refrigeração diminui a velocidade das reações de maneira geral bem como uma embalagem escura, a redução do teor de umidade diminui a disponibilidade de meio reacional.

O processo de branqueamento contribui para a conservação dos alimentos pois é capaz de interromper processos de degradação através das altas temperaturas. O controle do pH é capaz de interromper reações enzimáticas por um tempo considerável, afastando o pH ótimo das reações.

O acondicionamento a vácuo e a inserção de um gás inerte retira o oxigênio retardando os processos de oxidação.

Figura 32: acondicionamento de alimentos à vácuo. Adobe Firefly



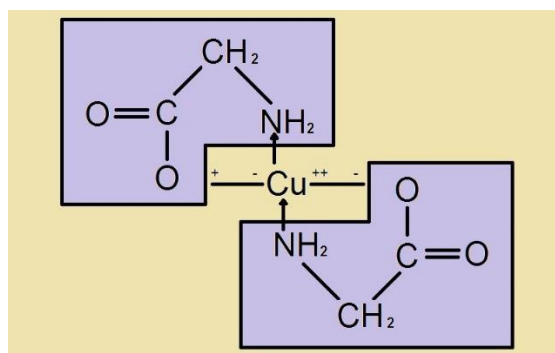
No entanto, somente esses processos não são capazes de interromper as reações envolvidas na degradação, para aumentar o tempo de conservação dos alimentos conservantes como antioxidantes são adicionados. A seguir iremos explorar os mecanismos de funcionamento desses conservantes.

Antioxidantes

Considerando que as reações de oxidação de lipídeos seguem mecanismos radicalares os antioxidantes devem ser capazes de interferir nesses mecanismos. É possível interromper ou pelo menos diminuir a velocidade dessas reações usando agentes quelantes, eliminadores de radicais ou usando substâncias capazes de reduzir os radicais reativos.

Agentes quelantes agem impedindo a iniciação, assim os radicais não se formam e a reação não se inicia. Esses agentes quelantes se ligam a íons metálicos retardando a promoção das reações de oxidação que dependem desses íons metálicos. São exemplos de quelantes o EDTA, o ácido cítrico, polifosfatos, diaminas, aminoácidos etc.

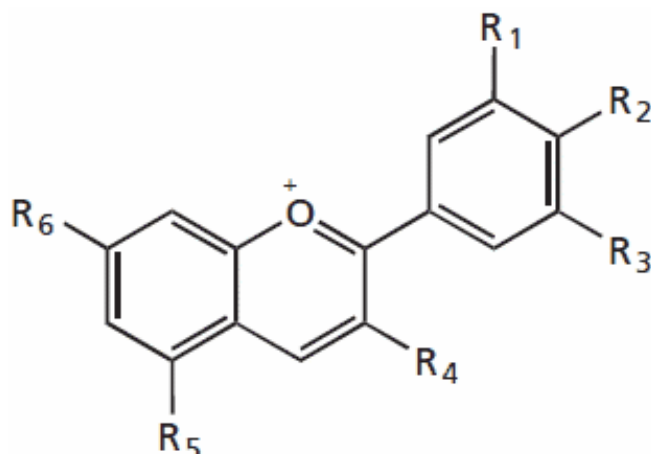
Figura 33: cátion cobre aprisionado por duas moléculas do aminoácido glicina



Fonte: <https://i0.wp.com/www.biotadofuturo.com.br/wp-content/uploads/2017/07/QUELA%C3%87%C3%83O-3.jpg?fit=800%2C800&ssl=1>

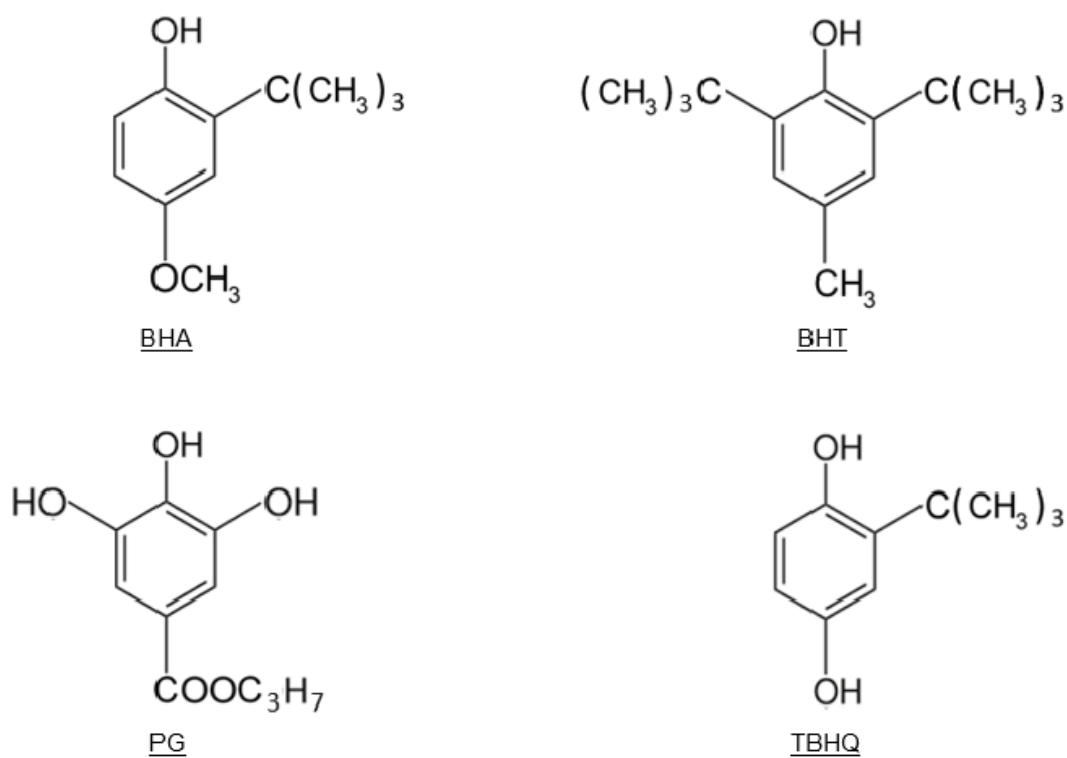
Eliminação de radicais esse método funciona através da eliminação do radical já formado, ou seja, a reação já fora iniciada e pode ser controlada, através da formação de um segundo mais estável. Compostos fenólicos transferem um átomo de hidrogênio para estabilizar os radicais dos lipídeos e formam-se radicais desses compostos. Exemplos de moléculas utilizadas na indústria dos alimentos são: BHA, BHT, TBHQ, PG, tocoferóis e flavonoides, essas estruturas podem ser vistas nas figuras 34, 35 e 36.

Figura 34: Estrutura base dos flavonoides.



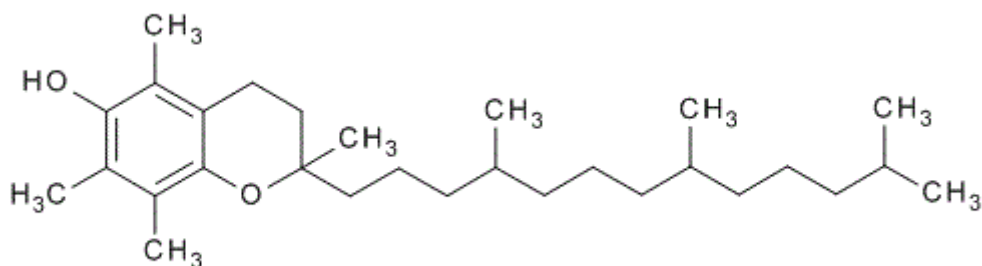
Fonte: https://static.wixstatic.com/media/193728_039a095f817c4212b152b377f35c2d1b~mv2

Figura 35: Estrutura dos antioxidantes sintéticos BHA, BHT, PG e TBHQ



Fonte: Adaptado de Derksen 2007. Wikimedia Commons.

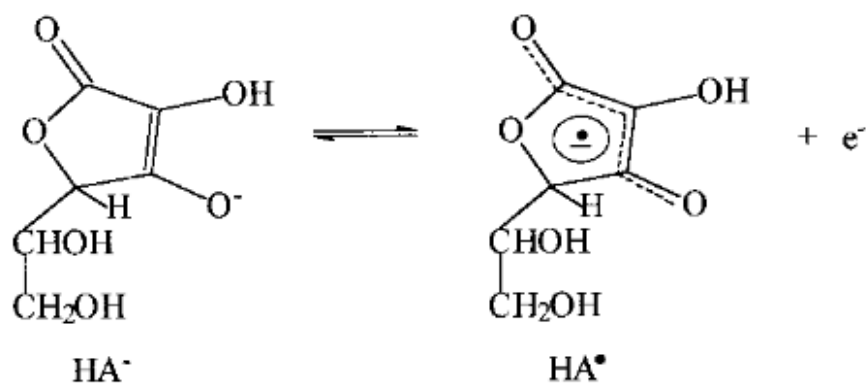
Figura 36: Estrutura do α -Tocoferol



Fonte: Merck Milipore.com

Reduzir ou oxidar radicais reativos através da transferência de elétrons é possível terminar as reações radicalares ao formar uma espécie mais estável, alguns conservantes utilizados são o ácido ascórbico, fenóis e quinonas.

Figura 37: Equilíbrio da formação do radical do ácido ascórbico



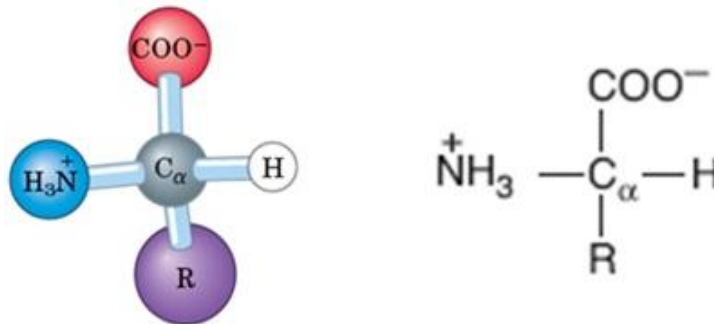
Fonte: <https://www.scielo.br/j/qn/a/TTx9BCppcgBdgnGHypfRGKB/?lang=pt&format=pdf>

Embora exista uma reputação negativa em relação aos conservadores de alimentos a adição dos antioxidantes em alimentos processados ou ultraprocessados é fundamental para garantir a segurança do consumo desses alimentos, considerando que são alimentos que não são consumidos frescos.

PROTEÍNAS

Proteínas são **macromoléculas** compostas de uma sequência de aminoácidos. Aminoácidos, por sua vez, são biomoléculas formadas por átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio, no caso de alguns aminoácidos também há existência de átomos de enxofre. Todos os aminoácidos têm como estrutura base o grupamento amino e o grupamento ácido, ambos ligados ao carbono alfa. Na figura 38 abaixo é possível observar o arranjo base de todos os aminoácidos.

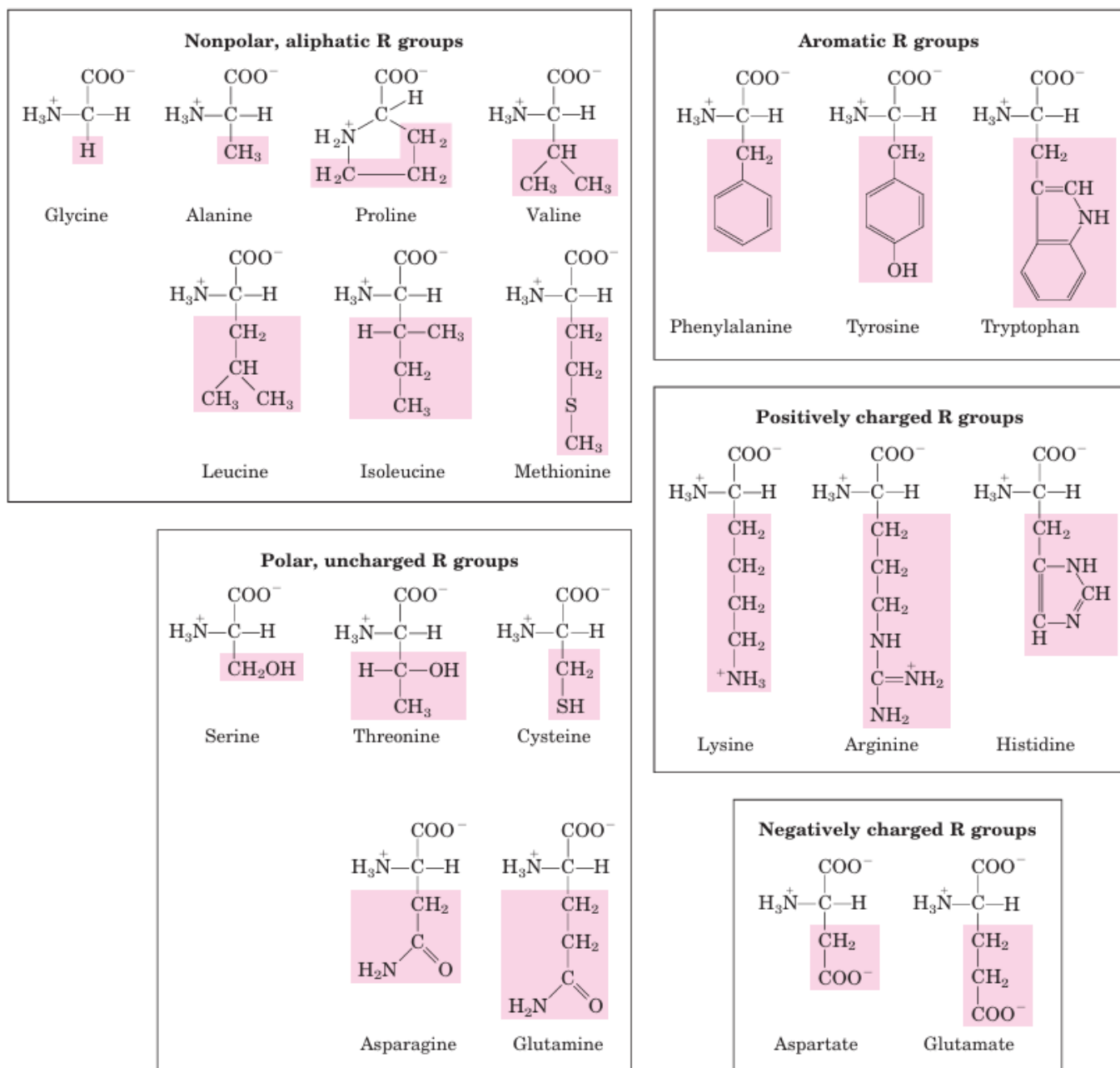
Figura 38: Estrutura de um aminoácido genérico. R representa um grupo variável.



Fonte: LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. Princípios de Bioquímica. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2000

Na figura 39 a seguir é possível ver a estrutura dos vinte principais aminoácidos que compõem as proteínas. É interessante ressaltar que a depender do grupamento $-\text{R}$ também chamado de cadeia lateral – ligado ao aminoácido ele apresentará propriedades físicas específicas, consequentemente os aminoácidos que compõem cada proteína interferem diretamente na sua função. O pH do meio também pode ser determinante para a solubilidade das proteínas no meio celular ou extracelular.

Figura 39: Estrutura dos 20 aminoácidos que compõem as proteínas

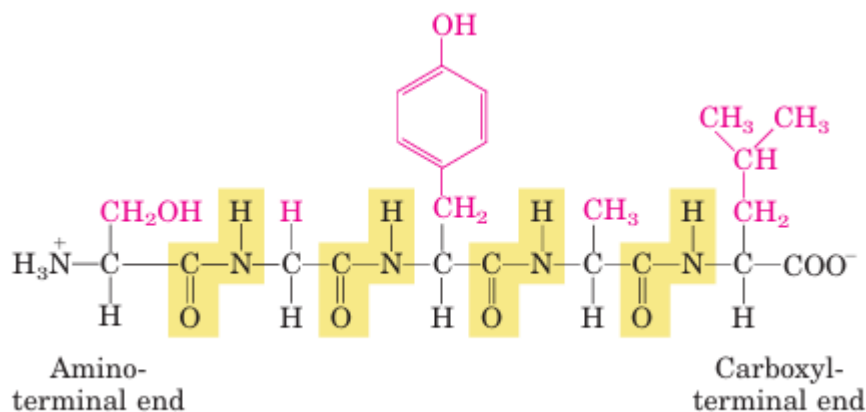


Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 75

Peptídeos e a ligação glicosídica

Peptídeos são polímeros de aminoácidos unidos por uma **ligação peptídica**. O grupo amino do aminoácido atua como uma base e reage com o grupo ácido de outro aminoácido, água é liberada e forma-se a ligação peptídica, um conjunto de aminoácidos ligados entre si é chamado de peptídeo. Na figura 40, é mostrado um peptídeo, composto de cinco aminoácidos.

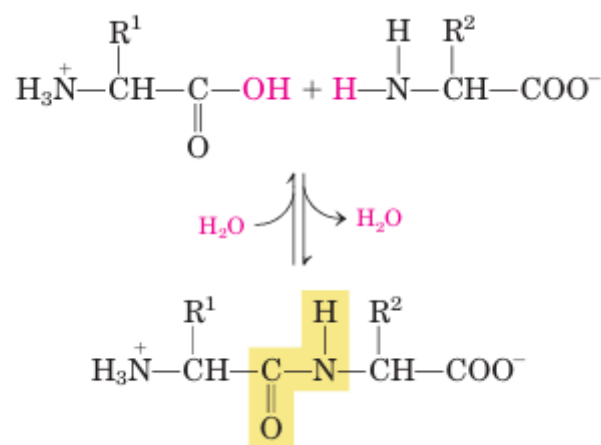
Figura 40: Peptídeo composto de cinco aminoácidos.



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 85

A ligação peptídica é formada durante o processo de tradução e a sua formação é intermediada por enzimas pelo RNA transportador. Na figura 41 abaixo é possível observar a formação da ligação peptídica com a remoção de uma molécula de água.

Figura 41: formação da ligação peptídica.

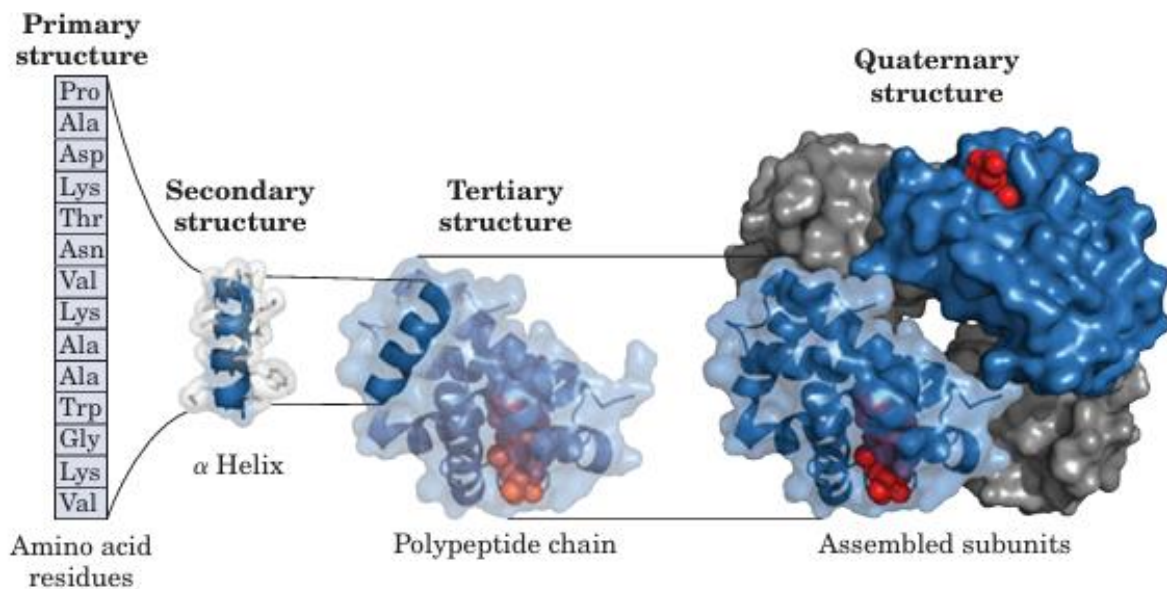


Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 85

Organização espacial das proteínas

As proteínas não são apenas cadeias de polipeptídeos, é importante observar que a **cadeia de polipeptídeos não é linear**, na verdade sua organização é extremamente sofisticada, e o que determina suas propriedades, estrutura e função são as complexas interações realizadas pela estrutura como um todo. Essas estruturas são classificadas em primária, secundária, terciária e quaternária e variam no grau de enrolamento e interação entre os aminoácidos, na figura 42 abaixo é possível observar a ilustração em cores fantasia de como cada estrutura afeta a conformação no espaço da proteína.

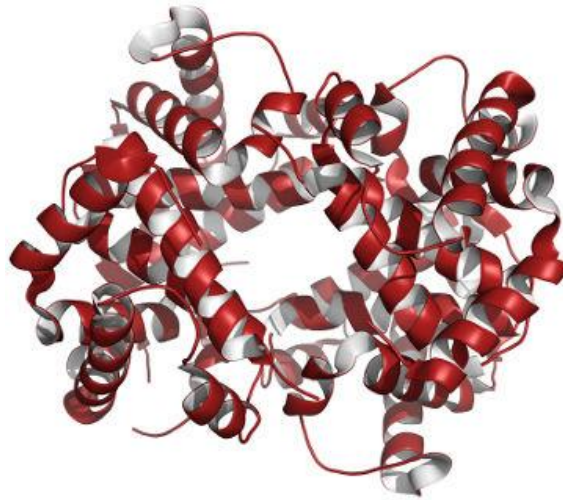
Figura 42: Estruturas das proteínas



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 92

Para representar as proteínas de uma maneira mais prática são usados modelos computacionais baseados no que se conhece das estruturas das proteínas. Na figura 43 é mostrada o modelo computacional da proteína mioglobina, uma proteína formada por 153 resíduos de aminoácidos, esta proteína tem a função de transportar oxigênio para os tecidos musculares.

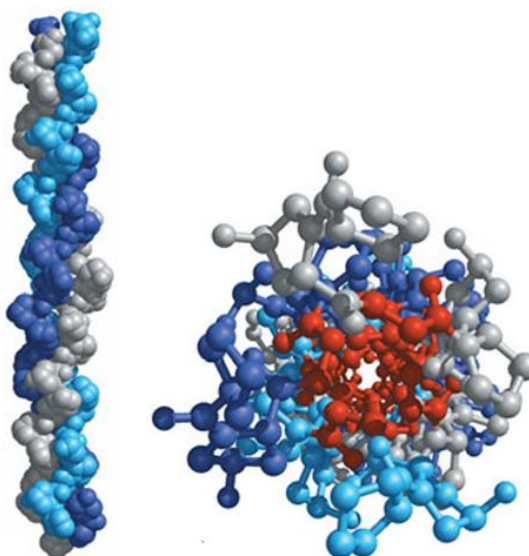
Figura 43: Estrutura terciária da mioglobina



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/estruturas-das-proteinas.htm>

As proteínas podem ainda ser subdivididas em dois grupos, as fibrosas e as globulares. **Proteínas globulares** são solúveis em meio aquoso e compõem: anticorpos, enzimas, hormônios, e a hemoglobina. **Proteínas fibrosas** possuem ordenação paralela formando fibras, lâminas estendidas, são pouco solúveis em água e geralmente compõem estruturas de sustentação como tecido conjuntivo e tecidos de grande resistência mecânica, como exemplo a queratina, o colágeno e a fibroína de seda. Na figura 44 é possível comparar ambas as estruturas.

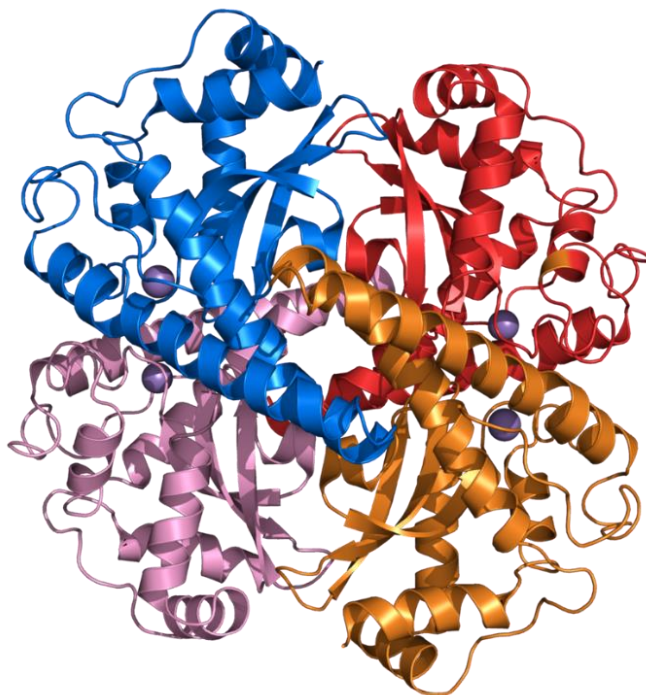
Figura 44: Representação de uma proteína fibrosa globular respectivamente.



Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger, 5ª Ed, 2011. pg 124

Além dessa classificação existem ainda proteínas denominadas compostas ou conjugadas. Essencialmente são proteínas simples acrescidas de substâncias não proteicas. São elas as: nucleoproteínas, glicoproteínas, fosfoproteínas, cromoproteínas, lipoproteínas e metaloproteínas. Essas proteínas são fundamentais para o funcionamento do metabolismo. A enzima superóxido dismutase é um exemplo de metaloproteína catalisa a transformação do superóxido em oxigênio e peróxido de hidrogênio, na figura 45 é possível observar sua estrutura globular

Figura 45: Representação da superóxido dismutase uma metaloproteína



Fonte: Borgstahl GE, Parge HE, et al. (April 1996). "Human mitochondrial manganese SOD polymorphic variant Ile58Thr reduces activity by destabilizing the tetrameric interface". *Biochemistry* 35 (14): 4287–97.

Proteínas e alimentação

O consumo de proteínas é essencial para a sobrevivência, o consumo de proteínas deve ser em torno de 20% de todas as calorias da dieta. As proteínas possuem funções diversas no corpo humano, entre elas se destacam: enzimas, hormônios, crescimento celular, anticorpos, receptores, transporte celular. É necessário obter os

aminoácidos para a construção dessas proteínas e consequentemente manter o metabolismo desempenhando adequadamente todas as funções no organismo. A deficiência de proteínas pode causar inúmeros problemas de saúde.

Figura 45: alimentos com alto teor protéico. Adobe Firefly



Para a química dos alimentos é relevante entender dois grupos de aminoácidos, os **aminoácidos essenciais** e os **aminoácidos não essenciais**. Os aminoácidos essenciais não são sintetizados pelo corpo humano, por conta disso devem ser obtidos através da alimentação. Por outro lado, os aminoácidos *não* essenciais são sintetizados pelo corpo e não precisam necessariamente ser ingeridos na alimentação.

Quadro 5: características esfingolipídios encontrados em membranas celulares.

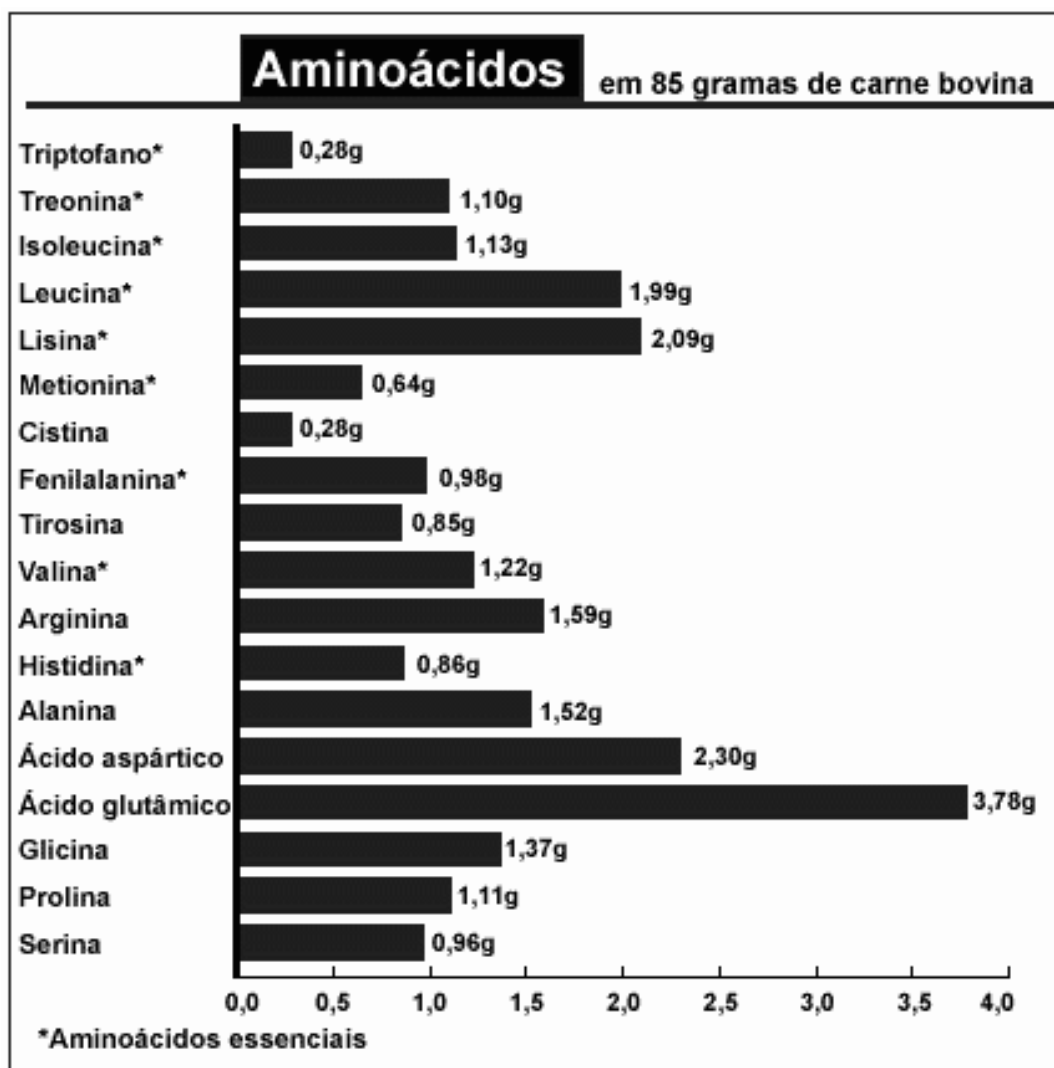
aminoácidos essenciais	aminoácidos não essenciais
triptofano, valina, fenilalanina, treonina, lisina, isoleucina, leucina e metionina.	alanina, arginina, asparagina, ácido aspártico, ácido glutâmico, cisteína, glutamina, glicina, prolina, serina, tirosina e histidina.

Fonte: autoria própria.

Valor biológico (alimentar) das proteínas

Para a alimentação os aminoácidos podem ter origem animal ou vegetal. A fonte da proteína faz com que ela possua características específicas. **Proteínas completas** são aquelas provenientes de alimentos que contêm todos os aminoácidos essenciais e são proteínas de origem animal, **proteínas não completas** são aquelas proveniente de alimentos que não possuem todos os aminoácidos essenciais, são as proteínas de origem vegetal. Na figura 08 abaixo é possível ver a quantidade de aminoácidos em uma amostra de carne bovina.

Figura 46: Quantidade de cada aminoácido em uma amostra de carne bovina.

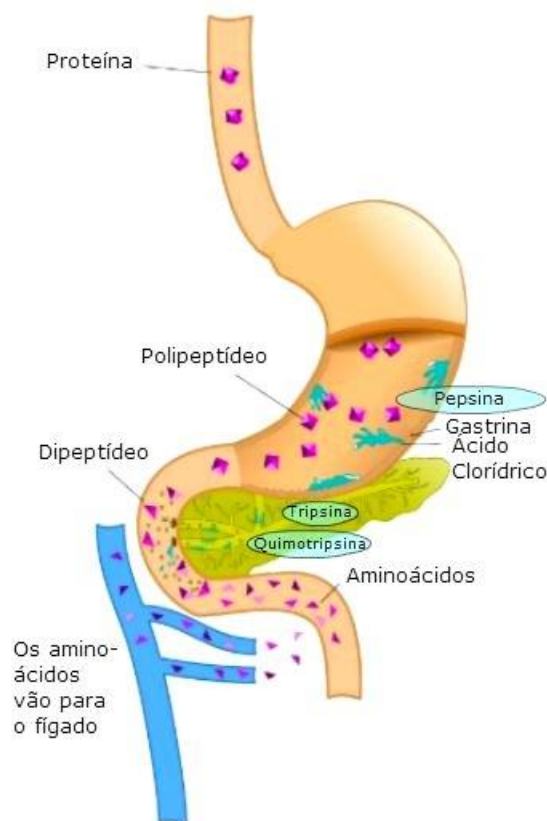


Fonte: https://www.beefpoint.com.br/wp-content/bn/Carne_Saude/Fotos/cs_181005_2.gif

Digestão e absorção de proteínas

Após o consumo de alimentos proteicos essas proteínas devem ser digeridas pelo organismo para que os aminoácidos sejam aproveitados pelo organismo. A digestão começa no **estômago**, onde a enzima pepsina inicia a desestruturação das proteínas, a pepsina somente é funcional em pH próximo de 1 por esse motivo é necessário que ácido clorídrico seja produzido no estômago. Adicionalmente, no estômago a enzima quimosina participa da coagulação de caseínas (proteínas do leite). No **pâncreas**, enzimas pancreáticas como a *tripsina*, *quimiotripsina* e *carboxipeptase* transformam as proteínas em peptídeos menores. No **intestino** as enzimas entéricas como *aminopeptidase* e *dipeptidase* transformam as cadeias polipeptídicas restantes em aminoácidos individuais que são finalmente absorvidos pelo corpo e podem ser usados na síntese proteica. Na figura 47 abaixo é possível ver a integração dos sistemas digestivos do corpo humano.

Figura 47: Esquema do sistema digestivo humano.



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/sistema-digestorio.htm>

MINERAIS

Quando usamos o termo mineral na bioquímica na maioria das vezes estamos nos referindo a forma iônica de um elemento químico. Além das proteínas, carboidratos e lipídeos é fundamental que na alimentação sejam incluídos alimentos que contenham os minerais necessários para o metabolismo. Esses minerais participam de diversos processos metabólicos, fazem parte da estruturação de tecidos, são necessários para a formação celular, regulação metabólica entre outras funções. Dentro desse grupo de nutrientes temos os **macrominerais** e os **microminerais**. A seguir iremos explorar um pouco de cada um deles.

Macrominerais

Os macrominerais são minerais necessários para a manutenção da vida humana em uma quantidade significativa, superior a 100 mg de consumo por dia.

Enxofre o elemento enxofre deve ser consumido em uma quantidade mínima de 850mg por dia através do consumo de alimentos com alto teor de proteína, e vegetais como couve-flor, cebola e alho. É constituinte de aminoácidos cisteína, cistina é metionina e das vitaminas tiamina, biotina e ácido pantotênico.

Figura 48: alimentos ricos em enxofre. Adobe Firefly.



Cálcio: o íon cálcio Ca^{2+} é fundamental para a estrutura óssea, função cardíaca, processos de contração muscular e para o funcionamento de enzimas. A concentração no sangue deve estar em torno de 100mg.L^{-1} . Pode ser encontrado em diversos alimentos, sendo os derivados de leite uma fonte bastante popular, mas não sua única fonte, tampouco a maior delas, alimentos folhosos como couve e espinafre possuem uma quantidade significativa de cálcio.

Figura 49: alimentos com alto teor do mineral cálcio



Fonte: <https://nutrimental.com.br>

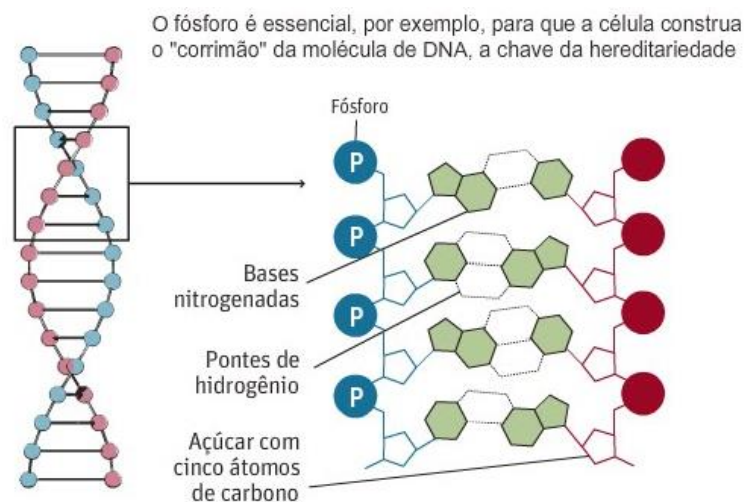
Potássio o cátion potássio K^{+} é fundamental para a realização de reações enzimáticas, processos fisiológicos, contração muscular, regulação da pressão arterial e da função cardíaca. Níveis baixos de potássio podem causar fraqueza muscular, câibras, contrações e em casos mais graves paralisia, podendo ainda causar arritmia cardíaca. Está presente em diversos alimentos, mas em concentração menor que o cátion sódio, uma fonte muito conhecida é a banana.

Figura 50: bananas, uma fonte de potássio. Adobe Firefly.



Fósforo o elemento fósforo, em sua forma principal ânion fosfato PO_4^{3-} é fundamental para a composição da estrutura óssea junto ao cálcio, é componente de compartimentos celulares e é um dos componentes das moléculas de DNA, RNA e do ATP (reserva energética celular). Suas necessidades geralmente são bem supridas, pois existe em abundância nos alimentos.

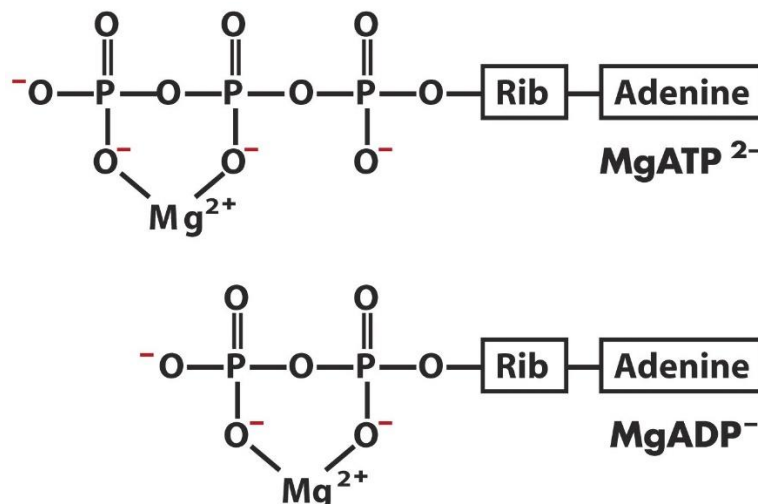
Figura 51: representação esquemática da molécula de DNA



Fonte: <https://alemdasaulas.files.wordpress.com/2013/06/bacteria-3.jpg>

Magnésio o cátion magnésio Mg^{2+} é cofator de mais de 300 enzimas, é responsável pela síntese de proteínas, faz parte da via glicolítica, da ativação do ATP e da síntese de DNA e do RNA.

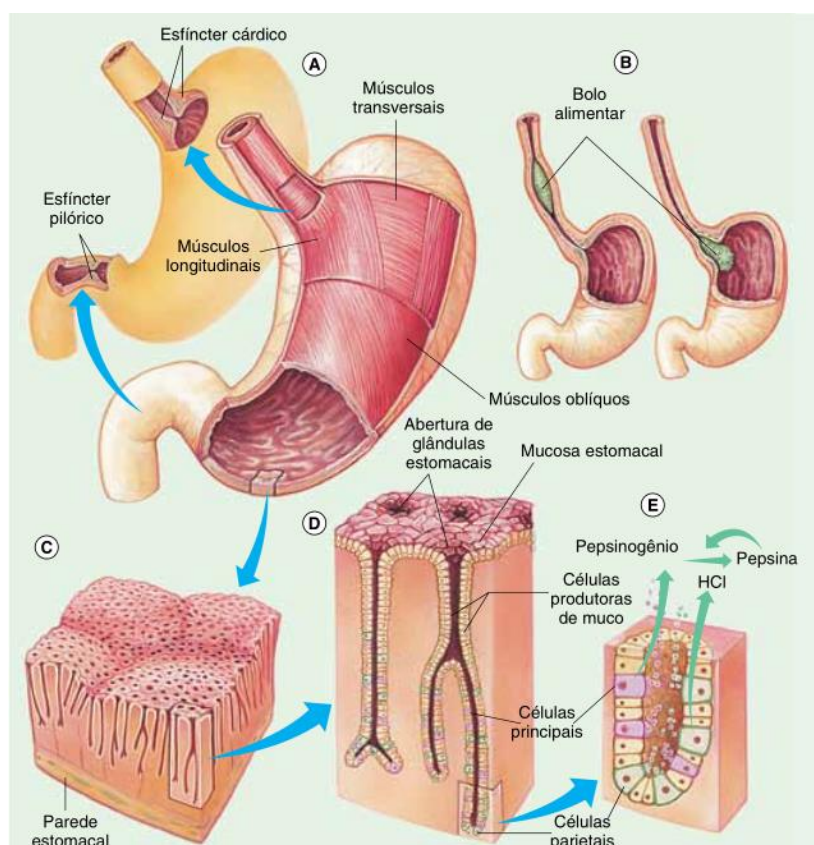
Figura 52: representação do magnésio como cofator na fosforilação.



Fonte: <https://elenagarciagrimau.com/wp-content/uploads/2013/06/atp-mg.jpg>

Cloro o elemento cloro, em sua forma principal ânion cloreto Cl^- é fundamental para a secreção do ácido clorídrico, fundamental para o funcionamento das enzimas digestivas do estômago, além disso o cloreto participa como contra íon de diversos cátions relevantes no organismo. Abaixo na figura 52 é possível elucidar como ocorre o processo de digestão e a participação do ácido clorídrico.

Figura 52: representação da digestão de alimentos no sistema gastrointestinal



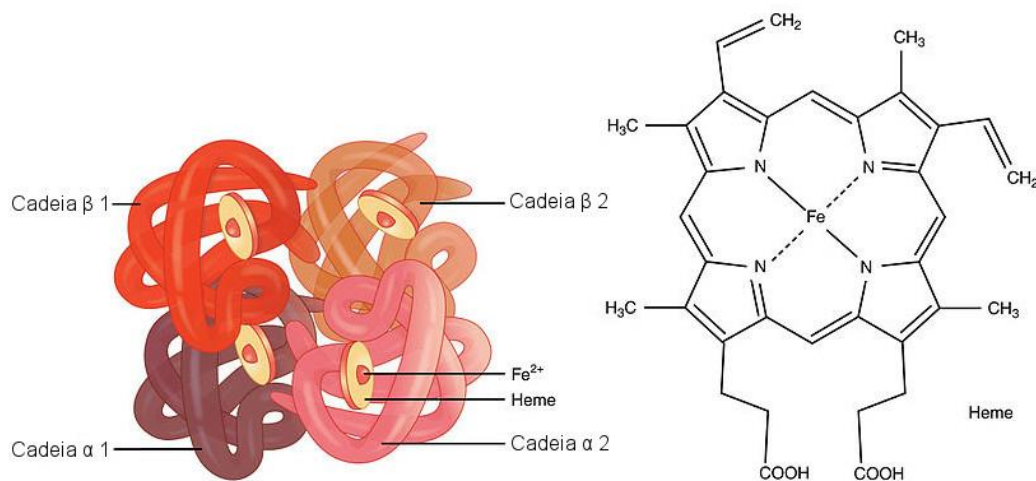
Fonte: <https://olhonavaga.com.br/images?id=114346>

Microminerais

Os microminerais precisam ser consumidos em menor quantidade que os macrominerais, sua necessidade diária é inferior a 100 mg. Adicionalmente o acúmulo de alguns microminerais pode causar doenças como a Doença de Wilson, no acúmulo de cobre, a hemocromatose no caso de acúmulo de ferro e a hipermagnesemia causada pelo acúmulo de magnésio.

Ferro o elemento ferro é fundamental para o funcionamento do metabolismo humano, é constituinte da hemoglobina, mioglobina e do citocromo. A principal causa da doença anemia é a deficiência de ferro. A forma do ferro requerida para o funcionamento dessas moléculas no corpo é o estado de oxidação II Fe^{2+} . Por conta disso, pessoas que tem uma dieta vegetariana tem problemas para suprir as necessidades de ferro, pois a forma mais estável do ferro livre não é a Fe^{2+} e sim a Fe^{3+} , nas carnes a forma do ferro é absorvível, pois ele já vem acoplado à estrutura heme. Por esse motivo, suplementos de sulfato ferroso tem a indicação de consumo com suco de laranja, que tem ácido ascórbico, uma substância redutora capaz de manter o ferro em seu estado de oxidação II, embora não seja suficiente para garantir a absorção desse mineral. Na figura 53 abaixo são mostradas as estruturas da hemoglobina e o sítio de ligação do ferro.

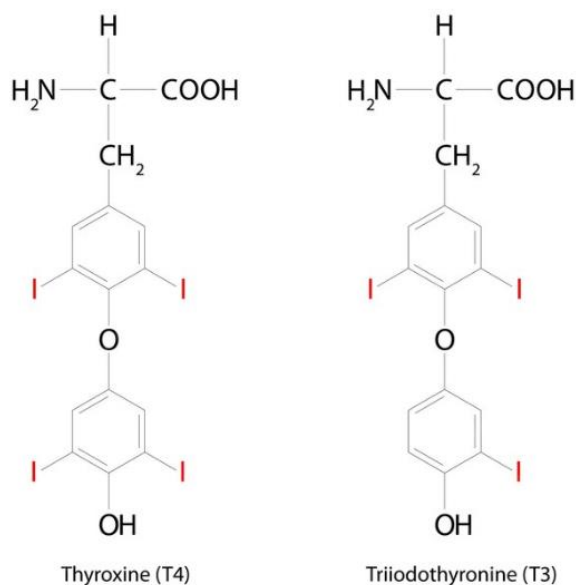
Figura 53: representação da hemoglobina, uma proteína, à direita em destaque o sítio de ligação do ferro



Fonte: <https://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2008/06/hemoglobina.jpg>

Iodo o elemento iodo faz parte das moléculas tiroxina e triiodotironina, produzidas na glândula da tireoide. Essas moléculas são importantes fatores hormonais. Como o iodo não é um mineral muito abundante nos alimentos este é suplementado em alimentos como o sal, para garantir a necessidade diária. Em situações de acidentes ou incidentes radiativos um dos protocolos de segurança é o consumo de tabletes de iodo, para que não ocorra a absorção de iodo radiativo o que pode ocasionar câncer da tireoide. Observe a estrutura desses hormônios na figura 54.

Figura 54: estrutura dos hormônios da tireoide



Fonte: freepik

Cobre o elemento cobre é importante para o metabolismo humano, ambos estados de oxidação fazem parte do metabolismo, sendo o Cu^{2+} mais presente. Esse mineral faz parte do funcionamento de diversas enzimas, das mitocôndrias, fornece proteção contra espécies oxidantes e é precursor na síntese da melanina. Pode ser encontrado em alimentos como mariscos, carnes como fígado e rins, grãos, leguminosas e chocolate.

Figura 55: alimentos ricos em cobre



Fonte: <https://www.coisasdaroca.com/minerais/cobre.html>

Zinco o zinco na sua forma catiônica Zn^{2+} é fundamental para o funcionamento de diversas enzimas, entre elas estão enzimas responsáveis pela síntese de DNA, RNA, de células do sistema imune e do metabolismo de proteínas.

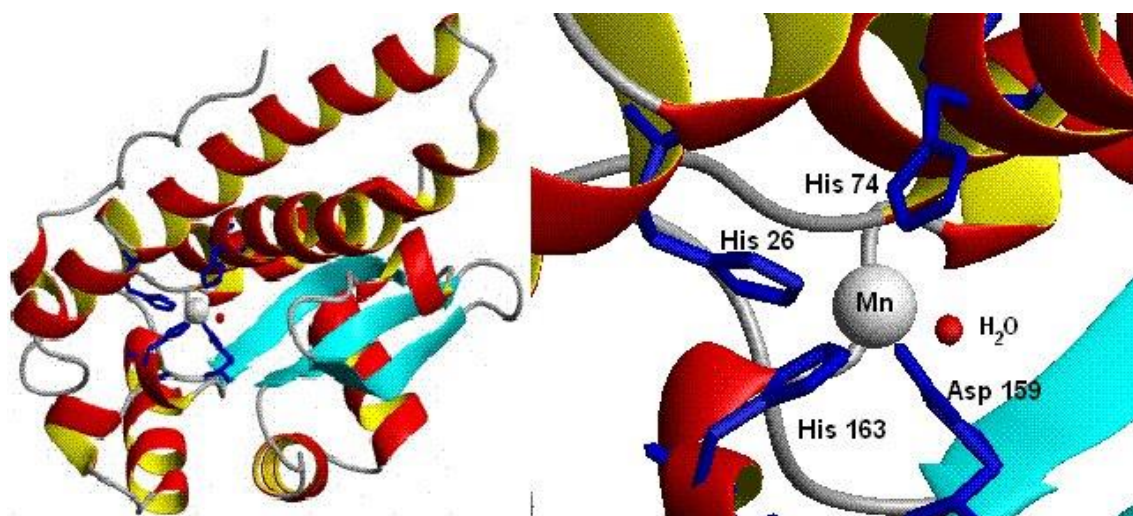
Quadro 6: Metaloenzimas nos quais o zinco atua

Função	Enzimas
Catalítica	Álcool desidrogenase, fosfatase alcalina, carboxipeptidase A, ensinma conversora de angiotensina, anidrase carbônica II
Co-catalítica	Cobre-zinco superóxido dismutase, fosfatase alcalina (dois átomos de zinco e um de magnésio), fosfolipase C, nuclease P1, leucina aminopeptidase
estrutural	Aspartato carbomoiltransferase, proteínas dedos de zinco (Zif268), ferredoxina

Fonte: <https://www.scielo.br/j/rn/a/yg4jxy3dX3gzKcnMvxRVynR/?lang=pt>

Manganês em seu estado de oxidação II Mn^{2+} é cofator de diversas enzimas, uma delas é a enzima superóxido dismutase uma enzima fundamental para o controle de processos oxidativos no organismo. Abaixo na figura 56 o manganês é representado interagindo com a enzima superóxido dismutase.

Figura 56: manganês como cofator da superóxido dismutase



Fonte: <https://eltamiz.com/images/2011/January/Mn-SOD.jpg>

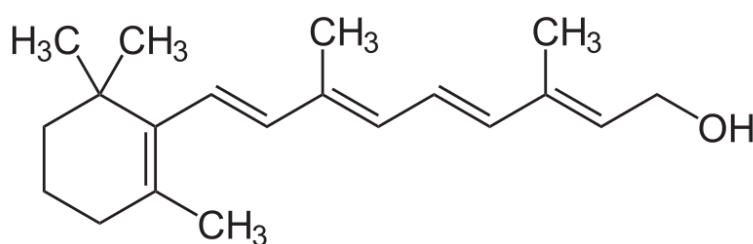
VITAMINAS

Vitaminas são **compostos orgânicos** essenciais para o funcionamento normal do metabolismo. O corpo não é capaz de sintetizar todas as vitaminas, ou mesmo seus precursores, dessa forma é necessário obter essas vitaminas através da alimentação. Existem 13 vitaminas reconhecidas divididas em dois grupos principais: as vitaminas lipossolúveis e as vitaminas hidrossolúveis.

As **vitaminas lipossolúveis**: são solúveis em lipídeos, sendo dessa forma armazenadas no tecido adiposo do corpo, entre elas estão as vitaminas A, D, E e K.

Vitamina A (retinol): essa vitamina é necessária para o funcionamento dos fotorreceptores na retina. Também contribuiu na saúde da pele e no revestimento dos pulmões, do intestino e do trato urinário, e protege contra infecções agindo no sistema imunológico. Pode ser encontrada em vísceras animais (principalmente fígado), gemas de ovos e leite integral e seus derivados. Os vegetais que produzem carotenoides produzem a molécula precursora de vitamina A e pode dessa forma ser considerados como fontes dessa vitamina. A deficiência dessa vitamina pode causar problemas de visão e de pele, diminuição dos glóbulos vermelhos.

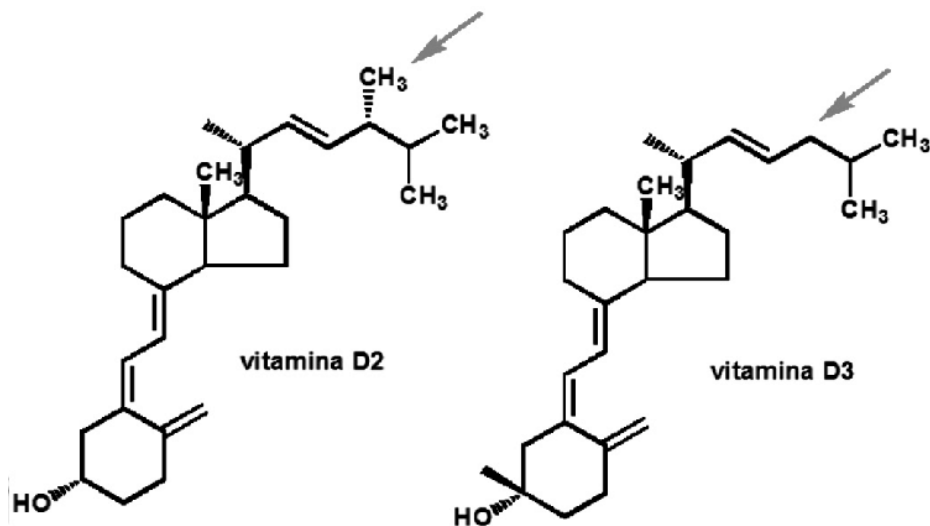
Figura 57: estrutura molecular da vitamina A



Fonte: infoescola

Vitamina D (calciferol): é uma classe de vitaminas das quais fazem parte as vitaminas D₂ (ergocalciferol) e D₃ (colecalciferol). Essa classe de vitaminas é essencial para a saúde dos ossos, pois ajuda o corpo a absorver cálcio e fósforo. Também desempenha um papel no sistema imunológico. A falta dessa vitamina pode causar doenças como osteoporose e o raquitismo. A vitamina D é produzida pelo metabolismo desde que ocorra exposição suficiente aos raios solares, mas o consumo de peixes pode ajudar na suplementação dessa vitamina.

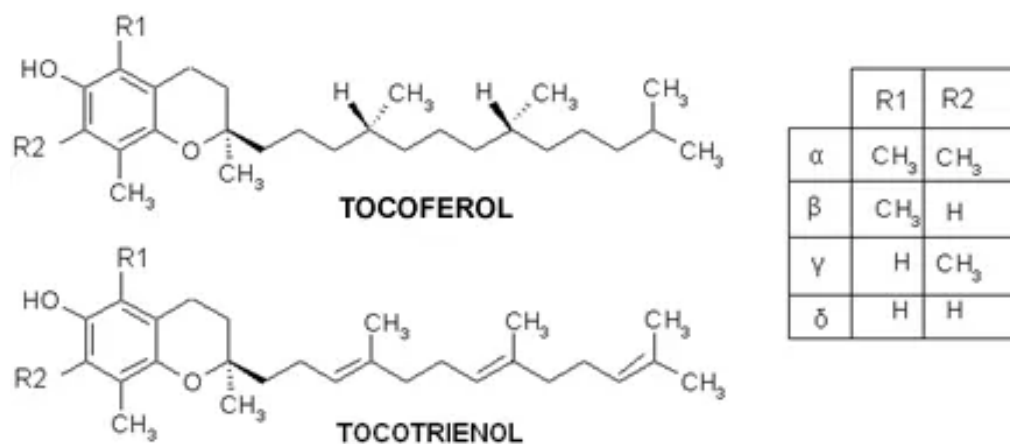
Figura 58: estrutura molecular da vitamina D₂ e da vitamina D₃.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Estrutura-quimica-do-ergocalciferol-vitamina-D-2-e-do-colecalciferol-vitamina-D-3_fig1_262648045

Vitamina E (tocoferol): é uma denominação genérica utilizada para se referir a oito moléculas distintas: os α , β , γ e δ tocoferóis e α , β , γ e δ tocotrienóis. Essa denominação depende da posição do grupamento metila (R_1 e R_2) na estrutura da molécula conforme mostrado na figura 59 abaixo. Essas moléculas atuam como antioxidante, ajudando a proteger as células contra os danos causados pelos radicais livres, participa da estrutura de membranas celulares e auxilia no processo de coagulação do sangue. Sua deficiência pode causar problemas nervosos e esterilidade, porém essa deficiência é rara, pois essas substâncias existem em diversos vegetais.

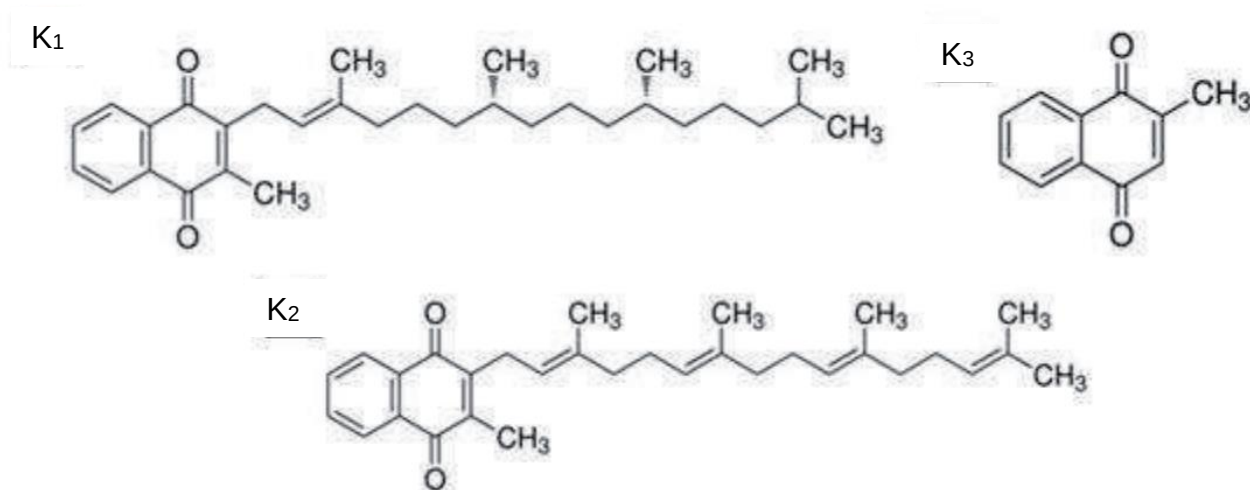
Figura 59: estrutura dos tocoferóis e tocotrienóis.



Fonte: Brasilescola

Vitamina K: uma classe de vitaminas que contém a estrutura 2-metil-1,4-naftoquinona sendo nomeadas K₁ (filoquinona), K₂ (menaquinonas), K₃ (Menadiona). Essa classe de vitaminas é necessária para a coagulação do sangue e para a saúde óssea. Fontes de vitamina K incluem verduras de folhas verdes (como couve-galega, espinafre e couve-de-folhas) e óleo de soja e de canola. A deficiência dessa vitamina pode ocasionar doenças como desnutrição, problemas de coagulação de sangue e mal funcionamento do fígado.

Figura 60: estrutura das vitaminas K₁, K₂, K₃.

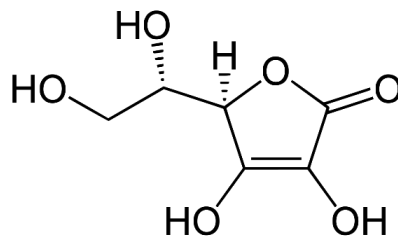


Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Estrutura-molecular-plana-biologicamente-ativas-da-vitamina-K-1-Filoquinona_fig4_296195078

As **vitaminas hidrossolúveis**: são solúveis em água e, por conta disso, geralmente não são armazenadas no corpo em grandes quantidades, entre elas estão as vitaminas do complexo B (como B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₇, B₉, B₁₂) e a vitamina C.

Vitamina C (ácido ascórbico): a vitamina C é importante para o crescimento e reparo de tecidos em todas as partes do corpo. Também é necessária para a produção de colágeno, absorção de ferro e fortalecimento do sistema imunológico. A deficiência de vitamina C pode causar escorbuto. A principal fonte de vitamina C são as frutas cítricas.

Figura 61: estrutura da vitamina C.

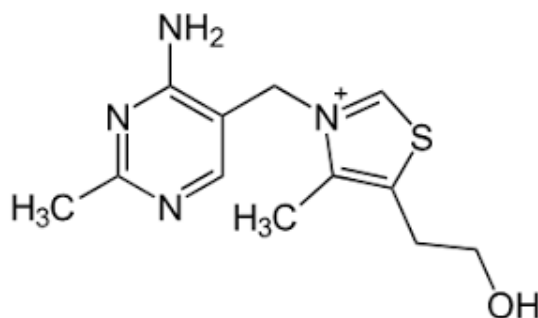


Fonte: wikimediacommons

Vitaminas do Complexo B: é um grupo de vitaminas envolvido em várias funções metabólicas, como a produção de energia, formação de glóbulos vermelhos e funcionamento do sistema nervoso. Cada uma das vitaminas B tem um papel específico:

B₁ (Tiamina): essa vitamina é importante para o metabolismo energético e função nervosa, participa na ativação de enzimas que controlam a decomposição de glicose em energia. As principais fontes de vitamina B1 são os cereais e as verduras. Uma doença causada pela deficiência de vitamina B1 é o beri-beri.

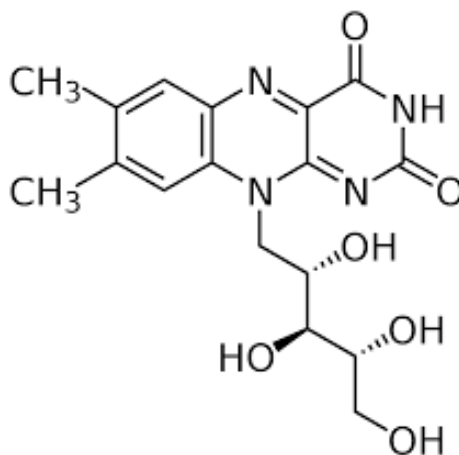
Figura 62: estrutura da vitamina B1



Fonte: wikimediacommons

B₂ (Riboflavina): essa vitamina contribui para o metabolismo energético (carboidratos e proteínas) e para a saúde das mucosas e da pele, participando de processos de cicatrização. Pode ser obtida através do consumo de vegetais folhosos, ovos, sementes de girassol e soja e frutos do mar. Sua deficiência pode causar problemas de pele como a dermatite seborreica.

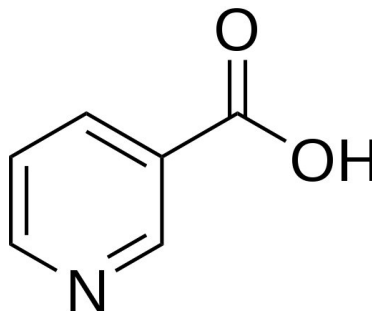
Figura 63: estrutura da vitamina B2..



Fonte: wikimediacommons

B₃ (Niacina): é uma vitamina também conhecida como vitamina PP ou ácido nicotínico, cujos derivados desempenham importante papel no metabolismo energético celular e na reparação do DNA. É muito importante na regulação do colesterol. Sua deficiência pode causar a doença pelagra. As principais fontes dessa vitamina são frango, carne bovina e peixe.

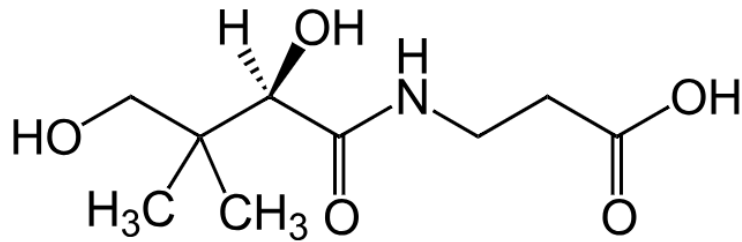
Figura 64: estrutura da vitamina B3.



Fonte: brasilescola

B₅ (Ácido Pantotênico): essa vitamina participa no metabolismo de carboidratos, lipídeos e proteínas. Necessária para a síntese de coenzima A, que é crucial no metabolismo celular. A deficiência de vitamina B5 pode causar fadiga, caibras e fraqueza muscular. Algumas fontes de vitamina B5 são vísceras, cogumelos, brócolis e gema de ovo.

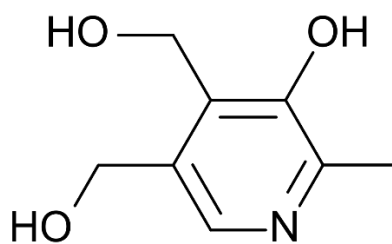
Figura 65: estrutura da vitamina B5.



Fonte: wikimediacommons

B₆ (Piridoxina): Importante para o metabolismo dos aminoácidos e a produção de neurotransmissores. É fundamental para o crescimento saudável, atua na produção de hormônios e na produção de anticorpos. Sua deficiência pode causar distúrbios do crescimento e problemas de pele.

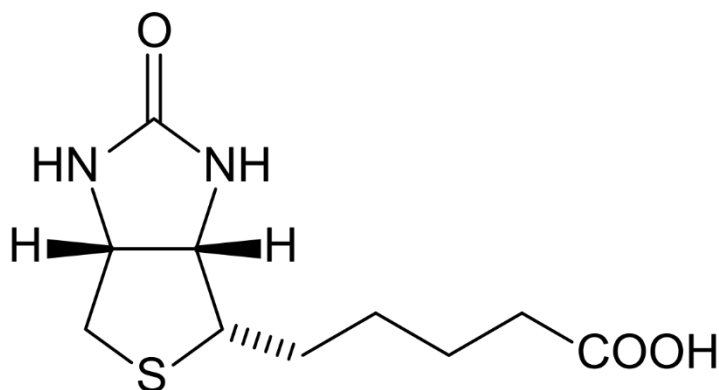
Figura 66: estrutura da vitamina B6.



Fonte: wikimediacommons

B₇ (Biotina): a vitamina B7 ou vitamina H é envolvida no metabolismo como cofactor enzimático. Funciona no metabolismo das proteínas e dos carboidratos. Pode ser obtida através da ingestão de fígado, cogumelos, nozes e castanhas. A deficiência da vitamina B7 pode causar problemas de pele, fadiga e dores musculares.

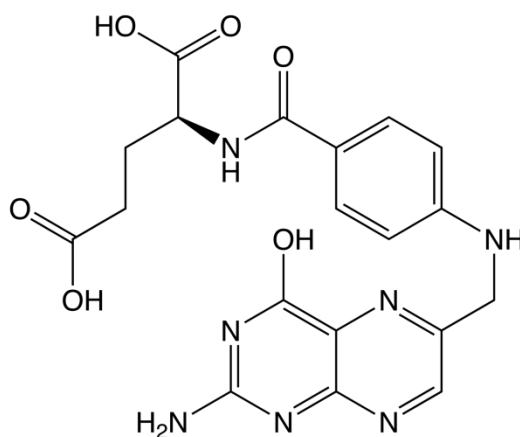
Figura 67: estrutura da vitamina B7.



Fonte: wikimediacommons

B₉ (Ácido Fólico): Essencial para a síntese e reparo do DNA e a divisão celular, para a produção de hemácias e na manutenção da função cognitiva. Anemia megaloblástica e doenças do tubo neural. Pode ser encontrado em hortaliças verdes e cogumelos, porém existem alimentos enriquecidos em ácido fólico como a farinha para garantir o consumo dessa vitamina.

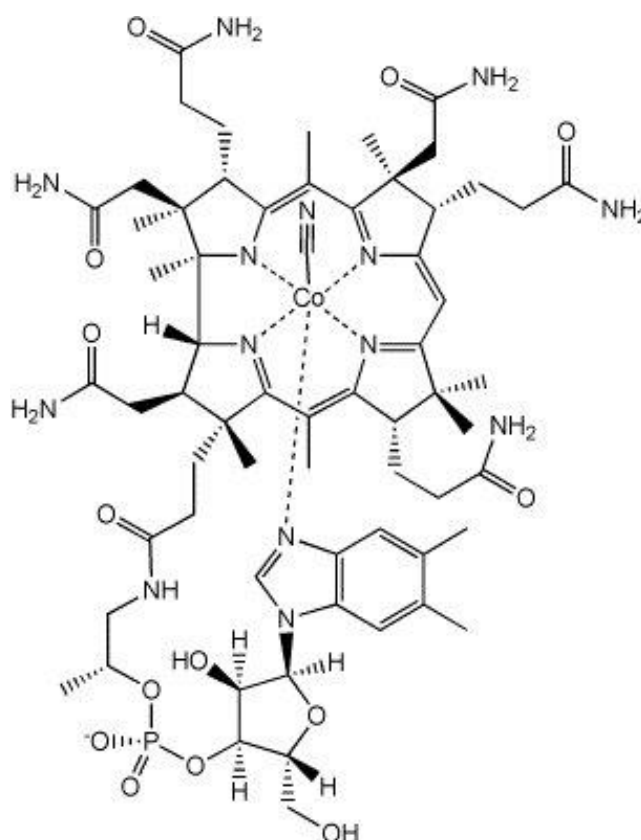
Figura 68: estrutura da vitamina B9.



Fonte: wikimediacommons

B₁₂ (cianocobalamina): é uma molécula que contém um cátion cobalto (Co²⁺)complexado. Essa substância atua como um componente essencial para algumas reações químicas do organismo. Necessária para a produção de hemácias e participa de processos de multiplicação celular, sua deficiência pode causar anemia e lesões no sistema nervoso. A principal fonte dessa vitamina é a carne vermelha, fígado e atum.

Figura 69: estrutura da vitamina B12.



Fonte:infoescola

REFERÊNCIAS

- ÁZAR, Rafaela Inês de Souza Ladeira. Produção, purificação e caracterização de uma poligalacturonase de *Cylindrocodium pteridis*. 2013.
- CAMPBELL, M.K.; FARREL, S.O. Bioquímica. São Paulo: Cengage Learning, 2 ed., v.1, 2015, 864
- CAÑAS, Gustavo JS; BRAIBANTE, Mara EF. A química dos alimentos funcionais. Química Nova na Escola, v. 41, n. 3, p. 216-223, 2019.
- CANTERI, Maria HG et al. Pectina: da matéria-prima ao produto final. Polímeros, v. 22, p. 149-157, 2012.
- CASTRO, I.A. Proteínas, p. 117-171. In: LAJOLO, F.M.; MERCADANTE, A.Z. Química e Bioquímica dos Alimentos, 1 ed., v.2, Rio de Janeiro: Atheneu, 2018, 420 p.
- CHAMPE, P.C.; HARVEY, R.A.; FERRIER, D. R. Bioquímica Ilustrada. 5 ed., Porto Alegre: Artmed, 2012.
- COMINETTI, C.; COZZOLINO, S. M. F. Bases Bioquímicas e Fisiológicas da Nutrição: Nas diferentes fases da vida, na saúde e na doença, 2 ed., São Paulo: Monole, 2019, 1416 p.
- CORDENUNSI-LYSENKO, B.R. Carboidratos, p. 37-61. In: LAJOLO, F.M.;
- COZZOLINO, Silvia M. Franciscato. Biodisponibilidade de minerais. Revista de nutrição, v. 10, p. 87-98, 1997.
- DALA-PAULA, Bruno Martins. Química & Bioquímica de Alimentos. 1. ed. Alfenas: Editora Universidade Federal de Alfenas, 2021. 250p. v. 1. ISBN 978-65-86489-32-3.
- DAMODARAN, S. Proteínas, p.239-353. In: DAMODARAN, S; PARKIN, K.L. Química de Alimentos de Fennema – 5 ed. – Editora Artmed, 2019, 1104 p.
- DEVLIN, T. M., Manual de Bioquímica com correlações clínicas. 6 ed., São Paulo: Editora Sarvier, 2007.
- ESKIN, Michael; SHAHIDI, Fereidoon. Bioquímica de alimentos. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 696 p. v. 1. ISBN 978-85-352-7164-5.
- FENNEMA, Owen R.; DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. Introduction to food chemistry. In: Fennema's food chemistry. CRC Press, 2017. p. 1-16.
- FERREIRA, C. P.; JARROUGE, M. G.; MARTIN, N. F.; Bioquímica Básica. 9 ed. São Paulo: MNP LTDA, 2010. 356 p.
- FERREIRA, Vitor Francisco; ROCHA, David Rodrigues da; SILVA, Fernando de Carvalho da. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. Química Nova, v. 32, p. 623-638, 2009.
- GARRETT, R. H.; GRISHAM, C. M. Biochemistry. 6 ed., Belmont: Thomson, 2005. 1086 p.

KAMOUN, P.; LAVOINNE, A.; VERNEUIL, H. Bioquímica e biologia molecular. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 420 p.

KOOLMAN, J.; ROEHM, K. H. Color Atlas of Biochemistry, 3 ed., Thieme Medical Publishers, 2012. 506 p. ISBN: 9783131003737.

KOBLITZ, Maria Gabriela Bello. Bioquímica de alimentos: teoria e aplicações práticas. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. ISBN 9788527713849

LODI, W. R. N.; RODRIGUES, V. Bioquímica - Do Conceito Básico à Clínica; 1 ed., São Paulo: Editora Sarvier, 2012.

MARQUES, Marina Fonseca; MARQUES, Millene Márcia; XAVIER, Eliane Rodrigues. Fortificação de alimentos: uma alternativa para suprir as necessidades de micronutrientes no mundo contemporâneo. HU Revista, v. 38, n. 1 e 2, 2012.

MARZZOCO, A.; TORRES, B.B. Bioquímica Básica. 4 ed., Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2015.

MERCADANTE, A.Z. Química e Bioquímica dos Alimentos, 1 ed., v. 2, Rio de Janeiro:

Atheneu, 2018, 420 p.

NELSON, David L.; COX, Michael M. Princípios de Bioquímica de Lehninger. 6. ed. rev. [S. l.]: Artmed editora, 2014. 1328 p. v. 1. ISBN 9788582710722.

PENTEADO, M.V.C. Vitaminas: Aspectos nutricionais, bioquímicos, clínicos e analíticos. São Paulo: Manole, 2003. 612p.

POMIN, Vitor Hugo; MOURÃO, P. A. S. Carboidratos. Ciência hoje, v. 35, n. 233, p. 24-35, 2006.

REIS, Ligia Brito; DO CÉU COSTA, Maria. VITAMINAS E MINERAIS. farmácia.

RIBEIRO, Eliana Paula; SERAVALLI, Elisena A. G. Química de Alimentos. 2. ed. rev. [S. l.]: Edgard Blucher Ltda., 2007. 1328 p. v. 1. ISBN 9788521203667.

RODWELL, V. W.; BENDER, D. A.; BOTHAM, K. M.; KENNELLY, P. J.; WEIL, P. A. Bioquímica Ilustrada de Harper; 30 ed., Porto Alegre: McGraw-Hill/Artmed, 2016.

SMITH, C.; MARKS, A. D. C.; LIEBERMAN, M. Bioquímica Médica Básica de Marks, 2 ed., Porto Alegre: Artmed, 2007.

STRYER, Lubert; TYMOCZKO, John L.; BERG, Jeremy M.; Bioquímica. Guanabara Koogan. 6ª edição. 2008.

VOET, Donald; VOET, Judith. Bioquímica. Artmed; 4ª edição. 2013.

 conhecimentolivre.org/home
 contato@conhecimentolivre.org
 [editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)

BIOQUÍMICA BÁSICA DOS ALIMENTOS

Anabel Kovacs
Monique Silva Coelho