

# CARBOIDRATOS

*O açúcar que as pessoas põem no café, as fibras de uma folha de papel e o principal constituinte da carapaça de um besouro são substâncias que pertencem ao mesmo grupo: os carboidratos. Sabe-se, há muito tempo, que essas substâncias atuam como reservas de energia do organismo, mas estudos recentes revelam que elas têm outras – e importantes – funções biológicas. Esses resultados indicam que muitos carboidratos podem ter aplicação na medicina. Substâncias desse grupo extraídas de ouriços-do-mar, por exemplo, apresentam propriedades que as apontam como candidatas a substitutos da heparina, um dos compostos naturais mais utilizados hoje como medicamentos em todo o mundo.*

**Vitor Hugo Pomin**  
**e Paulo Antônio de Souza Mourão**

*Laboratório de Tecido Conjuntivo, Hospital Universitário Clementino Fraga Filho,  
e Instituto de Bioquímica Médica, Universidade Federal do Rio de Janeiro*

# De adoçantes a medicamentos



## **Os carboidratos são as macromoléculas mais abundantes na natureza.**

Suas propriedades já eram estudadas pelos alquimistas, no século 12. Durante muito tempo acreditou-se que essas moléculas tinham função apenas energética no organismo humano. A glicose, por exemplo, é o principal carboidrato utilizado nas células como fonte de energia. O avanço do estudo desses compostos, porém, permitiu descobrir outros eventos biológicos relacionados aos carboidratos, como o reconhecimento e a sinalização celular, e tornou possível entender os mecanismos moleculares envolvidos em algumas doenças causadas por deficiência ou excesso dessas moléculas.

O avanço científico permitiu conhecer de modo mais detalhado as propriedades físico-químicas dos carboidratos, resultando na exploração dessas características em diversos processos industriais, como nas áreas alimentar e farmacêutica. Um dos carboidratos com maior utilização médica é a heparina, composto de estrutura complexa, com ação anticoagulante e antitrombótica (reduz a formação

de coágulos fixos – trombos – no interior dos vasos sanguíneos), obtido de tecidos animais, onde ocorre em baixa concentração. A necessidade de maior produção de medicamentos desse tipo, devido ao aumento da incidência de doenças cardiovasculares, e os efeitos colaterais associados à heparina vêm aumentando, nos últimos tempos, o interesse pela busca de substitutos para esse composto.

Recentemente, no Laboratório de Tecido Conjuntivo, do Instituto de Bioquímica Médica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, extraímos de ouriços-do-mar e de algas marinhas novos compostos, conhecidos como fucanas sulfatadas e galactanas sulfatadas, com propriedades semelhantes às da heparina. Experimentos mostraram que tais compostos agem como anticoagulantes e antitrombóticos em camundongos, ratos e coelhos, embora não tenham, nos organismos de origem, funções biológicas relacionadas à coagulação. Com isso, abrem perspectivas promissoras para o desenvolvimento de substitutos da heparina. ▶

## Um grupo distinto de moléculas

Os carboidratos, também conhecidos como glicídios ou açúcares, são moléculas constituintes dos seres vivos, assim como proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (figura 1). A combinação das diferentes funções bioquímicas de cada uma dessas moléculas permite a integridade da célula e de todos os processos metabólicos, fisiológicos e genéticos dos organismos vivos. Antigamente, acreditava-se que os carboidratos estavam envolvidos apenas com funções estruturais e energéticas. Isso decorria da dificuldade técnica no estudo químico e biológico desses compostos.

A partir da década de 1970, o surgimento de técnicas avançadas de cromatografia, eletroforese e espectrometria permitiu ampliar a compreensão das funções dos carboidratos. Hoje existe um novo ramo da ciência – a glicobiologia – voltado apenas para o estudo desses compostos. Sabe-se agora que eles participam da sinalização entre células e da interação entre outras moléculas, ações biológicas essenciais para a vida. Além disso, sua estrutura química se revelou mais variável e diversificada que a das proteínas e dos ácidos nucleicos.

Os primórdios do estudo de carboidratos estão ligados ao seu uso como agentes adoçantes (mel)

ou no preparo do vinho a partir da uva. Nos escritos dos alquimistas mouros, no século 12, há referências ao açúcar da uva, conhecido hoje como glicose. Os relatos iniciais sobre açúcares na história vêm dos árabes e persas. Na Europa, o primeiro agente adoçante foi sem dúvida o mel, cuja composição inclui frutose, glicose, água, vitaminas e muitas outras substâncias.

Há indícios de que Alexandre, o Grande – o imperador Alexandre III da Macedônia (356-323 a.C.) – introduziu na Europa o açúcar obtido da cana-de-açúcar, conhecido hoje como sacarose (e o primeiro açúcar a ser cristalizado). A dificuldade do cultivo da cana-de-açúcar no clima europeu levou ao uso, como alternativa, do açúcar obtido da beterraba (glicose), cristalizado em 1747 pelo farmacêutico alemão Andreas Marggraf (1709-1782). A história dos carboidratos está associada a seu efeito adoçante, mas hoje sabemos que a maioria desses compostos não apresenta essa propriedade.

A análise da glicose revelou sua fórmula química básica –  $\text{CH}_2\text{O}$ , que apresenta a proporção de um átomo de carbono para uma molécula de água. Daí vem o nome carboidrato (ou hidrato de carbono). Tal proporção mantém-se em todos os compostos desse grupo. Os mais simples, chamados de monossacarídeos, podem ter de três a sete átomos de carbono, e os mais conhecidos – glicose, frutose e galactose – têm seis. A fórmula desses três açúcares é a mesma,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , mas eles diferem no arranjo dos átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio em suas moléculas.

Os monossacarídeos, principalmente as hexoses, podem se unir em cadeia, formando desde dissacarídeos (com duas unidades, como a sacarose, que une uma frutose e uma glicose) até polissacarídeos (com grande número de unidades, como o amido, que tem cerca de 1.400 moléculas de glicose, e a celulose, formada por entre 10 mil e 15 mil moléculas de glicose). Embora muitos polissacarídeos sejam formados pela mesma unidade

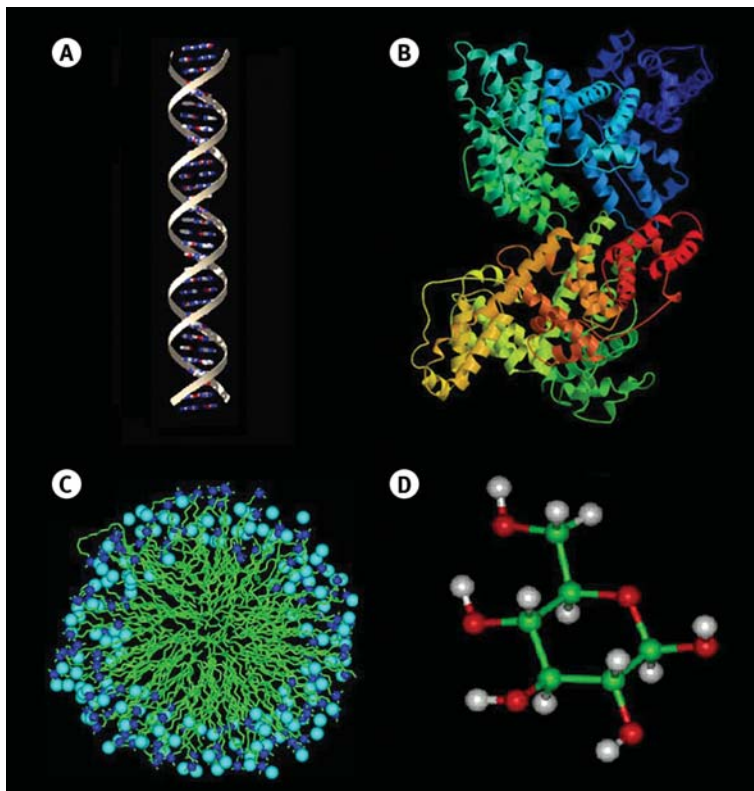


Figura 1. Estruturas representativas de algumas macromoléculas biológicas: em A, ácido desoxirribonucleico, ou DNA (as fitas laterais representam os carboidratos ligados a grupos fosfatos e as ‘hastes’ do interior, em azul, vermelho e branco, são as bases nitrogenadas que formam o código genético); em B, albumina, proteína mais abundante do plasma, com 585 aminoácidos e rica em estruturas espirais conhecidas como ‘hélices’ (cada cor representa uma região da proteína); em C, micela, uma estrutura formada por várias moléculas de lipídio em solução aquosa (as linhas verdes representam a ‘cauda’ hidrofóbica e as esferas azuis a ‘cabeça’ hidrofílica); em D, a glicose, principal monossacarídeo da natureza, formada por átomos de hidrogênio (em cinza), oxigênio (em vermelho) e carbono (em verde)

(glicose, no caso do amido e da celulose), as diferenças em suas estruturas, como presença ou não de ramificações e variedade nas ligações entre as unidades, conferem a eles propriedades físico-químicas muito diversas.

Outro polissacarídeo importante é a quitina, que constitui o exoesqueleto – a carapaça – dos artrópodes (insetos e crustáceos). A estrutura molecular da celulose e da quitina impede que sejam digeridos pelas enzimas do nosso trato gastrintestinal. A celulose, presente na madeira, é o composto orgânico mais abundante no planeta. Como o filo dos artrópodes tem o maior número de espécies e indivíduos na natureza, a quitina é outro polissacarídeo abundante. Além disso, os ácidos nucleicos (DNA e RNA), moléculas responsáveis pela hereditariedade e encontradas em todos os seres vivos, têm açúcares (ribose e desoxirribose) em suas estruturas. Os carboidratos, portanto, são os compostos biológicos predominantes na natureza (figura 2).

## De combustíveis a reguladores

Os carboidratos são os ‘combustíveis da vida’. Eles armazenam a energia nos seres vivos, na forma de amido e glicogênio (outro polissacarídeo), e a liberam para as reações metabólicas quando são degradados (em especial a glicose). Atuam ainda como doadores de carbono para a síntese de outros constituintes das células. São os principais produtos da fotossíntese, processo em que a energia solar é transformada em energia química pelas plantas e depois transferida, através da cadeia alimentar, para os animais. Estima-se que sejam formados mais de 100 bilhões de toneladas de carboidratos na Terra, a cada ano, pela fotossíntese – nesse processo, as plantas captam a luz solar e usam sua energia para promover reações, envolvendo moléculas de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), que produzem glicose, armazenada depois como amido nos tecidos vegetais.

Entretanto, os carboidratos não têm apenas função energética. Estão presentes também na superfície externa da membrana das células. Nesse caso, podem ser glicoproteínas (quando ligados a uma proteína), glicolipídios (se unidos a um lipídio) ou proteoglicanos (quando estão na forma de cadeias de glicosaminoglicanos – um tipo de polissacarídeo – unidas a uma proteína). Essas formas conjugadas presentes nas membranas atuam como receptores e sinalizadores, interagindo com moléculas e outras células.



A remoção de hemácias envelhecidas do sangue foi um dos primeiros eventos biológicos estudados que revelou a participação da estrutura dos carboidratos (em glicoproteínas) em um processo de ‘sinalização’. Hemácias jovens têm, em sua superfície, glicoproteínas cuja extremidade é rica em ácido siálico. Quando tais células envelhecem, suas glicoproteínas perdem esse ácido e passam a expressar, em sua extremidade, a galactose. Esse monossacarídeo é reconhecido por receptores do fígado, que então capturam e removem da circulação as hemácias ‘velhas’.

Os grupos sanguíneos A, B, O e AB são outro exemplo típico de um sistema de sinalização controlado pela estrutura de carboidratos em glicoproteínas. Os grupos A e B diferem em apenas um tipo de monossacarídeo nos glicolipídios ou glicoproteínas das hemácias. No A está presente a *N*-acetilgalactosamina (uma galactose ligada a grupos químicos amino e acetil) e o B tem a galactose – a diferença entre esses dois carboidratos está em apenas alguns átomos, mas isso pode levar a um resultado fatal, se o indivíduo receber o tipo sanguíneo incompatível em uma transfusão.

Os carboidratos encontrados nesses compostos mistos também funcionam como receptores na membrana celular. A ação de diversas toxinas de

Figura 2. A celulose, principal componente da madeira, e a quitina, que forma a carapaça externa dos artrópodes (como besouros e outros insetos, aracnídeos e crustáceos), são os polissacarídeos mais abundantes na natureza

plantas e bactérias (da cólera, da difteria, do tétano e do botulismo, entre outras) depende da interação com gangliosídeos (glicolipídios ácidos) específicos de suas células-alvo. Por isso, estudos nessa área pretendem projetar agentes terapêuticos capazes de inibir essa interação, evitando os efeitos nocivos das toxinas.

Em 2005, o glicocientista Lior Horonchik e seus colaboradores, do Departamento de Biologia Molecular da Escola de Medicina de Jerusalém (em Israel), mostraram que a degeneração dos neurônios causada por infecção pelo príon (proteína responsável pelo chamado ‘mal da vaca louca’) depende da presença, na superfície das células nervosas, de receptores (proteoglicanos) que contêm glicosaminoglicanos. O príon precisa interagir com esses polissacarídeos para entrar no neurônio – isso significa que o papel deles no reconhecimento celular é fundamental para o desenvolvimento dessa infecção.

Algumas moléculas reguladoras da proliferação de tipos celulares – como o fator de crescimento para fibroblastos (FGF) e o fator de transformação do crescimento  $\beta$  (TGF- $\beta$ ) – também atuam interagindo com os carboidratos dos proteoglicanos. Essas informações permitem que os glicocientistas desenvolvam moléculas com o objetivo de regular esses processos biológicos.

## Doenças relacionadas

O fato de que muitas doenças, genéticas ou adquiridas, decorrem de defeitos no metabolismo de carboidratos é outro forte estímulo para o estudo desses compostos. A galactosemia, por exemplo, é uma doença hereditária rara, caracterizada pela deficiência em enzimas que processam a galactose. Nos portadores, esse carboidrato, normalmente convertido em glicose, é acumulado na forma de galactose-fosfato, o que leva a retardo mental severo e, com frequência, à morte. Recém-nascidos e crianças com galactosemia não podem ingerir substâncias com galactose, em particular o leite (a lactose, presente no leite, é um dissacarídeo formado por glicose e galactose).

Já a intolerância à lactose, também causada por deficiência enzimática, pode ter três origens: defeito genético raro na capacidade de sintetizar a lactase intestinal, redução da produção da enzima devido a doenças intestinais ou deficiência adquirida com o avanço da idade. Tanto na galactosemia quanto na intolerância à lactose, é essencial uma dieta livre de lactose. Outros exemplos de doenças ligadas a desordens no metabolismo dos carboidratos são as mucopolissacaridoses, como as síndromes

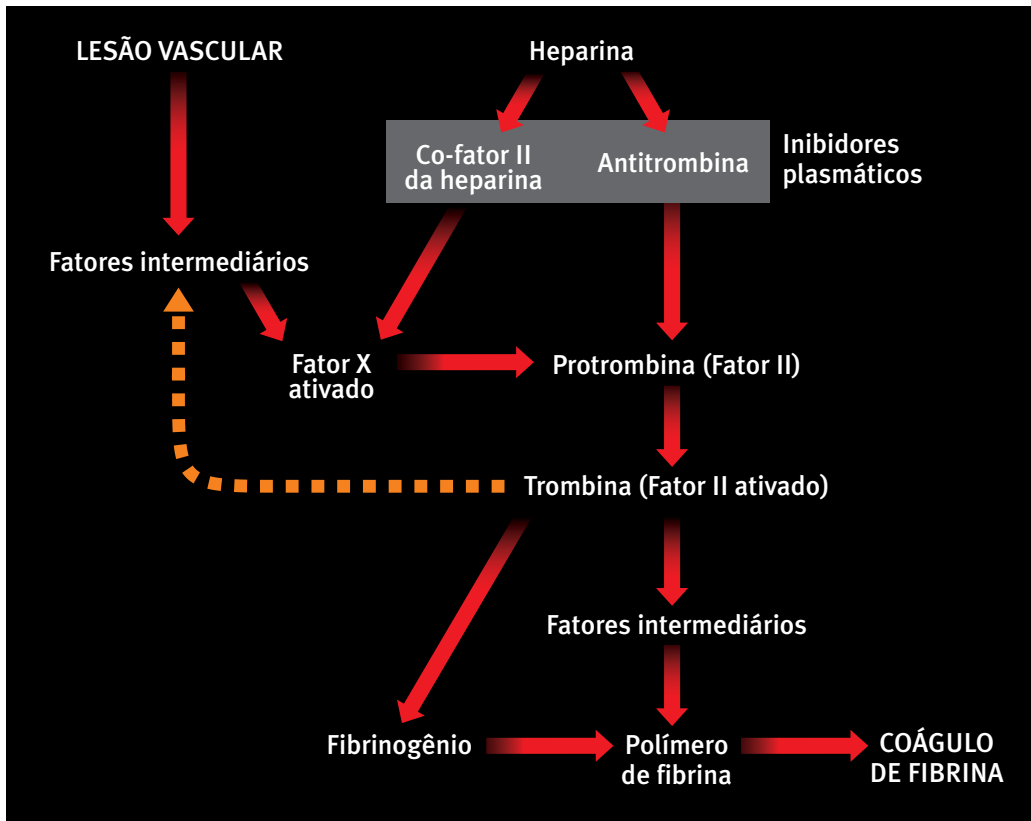


Figura 3. Esquema simplificado da coagulação sanguínea. Após a lesão vascular, são ativadas enzimas (fatores plasmáticos) que iniciam a ‘cascata’ de coagulação, até a ativação do fator X e do fator II (protrombina), responsáveis pela ativação da trombina, enzima que induzirá a transformação de fibrinogênio em fibrina (proteína filamentosa que forma os coágulos, interrompendo a perda de sangue). O controle da ação da trombina é essencial para regular a ‘cascata’, pois ela participa das etapas finais de formação do coágulo e também ‘reforça’ o processo ativando os fatores intermediários envolvidos. O co-fator II da heparina e a antitrombina inibem a ação da trombina e têm sua atuação acelerada pela heparina

de Hurler e de Hunter, que levam a retardo mental e à morte prematura.

A doença mais conhecida relacionada aos carboidratos é o diabetes, decorrente de fatores hereditários e ambientais, que levam a uma deficiência na produção ou a uma incapacidade de ação da insulina (hormônio cuja função principal é controlar a entrada de glicose nas células). Nos portadores, a quantidade de glicose no sangue aumenta, comprometendo vários órgãos e os sistemas renal, nervoso e circulatório. A doença pode ser regulada pelo consumo controlado de carboidratos e, em casos mais severos, pela administração de insulina.

Além do diabetes, uma dieta exagerada em carboidratos pode acarretar outros problemas, como obesidade, doenças cardiovasculares, trombozes e avanço da aterosclerose (depósito de substâncias nas paredes dos vasos sanguíneos, obstruindo a circulação). O excesso na ingestão desses compostos também intensifica a síntese e o armazenamento de gordura, além de desestimular os receptores de insulina nas células, gerando a forma mais grave do diabetes. Esse quadro piora com um estilo de vida sedentário, que reduz a metabolização dos glicídios. Em contrapartida, dietas com poucos carboidratos também podem prejudicar a saúde, já que eles são a fonte principal de energia para as células.

## Uso industrial dos carboidratos

Além da importância biológica dos carboidratos, esses compostos são matérias-primas para indústrias importantes, como as de madeira, papel, fibras têxteis, produtos farmacêuticos e alimentícios. A celulose é o principal carboidrato industrial, com um consumo mundial estimado em quase 1 bilhão de toneladas por ano.

Alguns polissacarídeos, como ágar, pectinas e carragenanas, extraídos de algas marinhas, são utilizados – graças a suas propriedades gelatinosas – em cosméticos, remédios e alimentos. A carragenana é empregada para revestir cápsulas (drágeas) de medicamentos, para que o fármaco seja liberado apenas no intestino, aumentando a sua absorção. O ágar serve ainda para a cultura de microorganismos, em laboratórios. Tanto o ágar como a carragenana são também usados, como espessantes, na produção de sorvetes.

A sacarose (extraída da cana-de-açúcar) é o principal adoçante empregado na culinária e na indústria de doces. O açúcar ‘invertido’ (obtido pela ‘quebra’ da sacarose, que resulta em uma mistura

de glicose e frutose) é menos cristalizável, mas muito usado na fabricação de balas e biscoitos. A quitosana, um polissacarídeo derivado da quitina, tem sido utilizada no tratamento da água (para absorver as gorduras), na alimentação e na saúde. Por sua atuação na redução da gordura e do colesterol, a quitosana pode ajudar no combate à obesidade, e estudos farmacológicos recentes comprovaram que ela apresenta efeitos antimicrobianos e antioxidantes.

Outro exemplo de polissacarídeo usado na indústria farmacêutica é o condroitim-sulfato, um tipo de glicosaminoglicano. Os colírios oftalmológicos, em sua maioria, são soluções de condroitim-sulfato, já que esse composto é o constituinte predominante da matriz extracelular do globo ocular e tem grande afinidade por água, o que permite melhor lubrificação. Também vem sendo utilizado na prevenção e tratamento da osteoartrose, talvez porque seja abundante em proteoglicanos do tecido cartilaginoso.

## Benefícios e riscos da heparina

Os avanços no estudo das funções dos carboidratos ajudaram a entender doenças associadas a essas moléculas, a conhecer a ação farmacológica de alguns polissacarídeos e a desenvolver novos compostos desse tipo com ação terapêutica. Um bom exemplo é a heparina, um glicosaminoglicano com atuação anticoagulante e antitrombótica, hoje o segundo composto natural mais usado na medicina, perdendo apenas para a insulina. Sua utilização é frequente por causa da incidência de doenças cardiovasculares. Estas, segundo a Organização Mundial de Saúde, são responsáveis por cerca de 30% das mortes em todo o mundo (mais de 16,5 milhões de pessoas em 2004). No Brasil, cerca de 70% das mortes estão associadas a essas doenças, índice similar ao dos países desenvolvidos.

A heparina tem uma potente atividade anticoagulante porque amplifica a ação de dois compostos presentes no plasma, antitrombina e co-fator II da heparina, capazes de inibir a ação da trombina (enzima que promove a coagulação) e do fator X ativado (proteína que acelera a formação da trombina) (figura 3). A heparina interage simultaneamente com esses compostos e com a trombina ou o fator X ativado. Essa interação ocorre principalmente entre as cargas negativas da heparina e as regiões positivas dos inibidores plasmáticos e da trombina. A formação desses complexos inibe a ação da trom-

bina, interrompendo o processo de coagulação do sangue.

O uso clínico desse glicosaminoglicano, no entanto, apresenta efeitos colaterais, como redução da quantidade de plaquetas (trombocitopenia) e propensão a hemorragias. Além disso, a dose necessária para obter o resultado adequado varia de paciente para paciente e a heparina precisa ser extraída de tecidos de mamíferos (como intestino de porco e pulmão bovino), onde ocorre em baixa concentração e ainda apresenta risco de contaminação por vírus e príons. Os efeitos indesejados desse composto, associados ao aumento da incidência de doenças tromboembólicas no mundo, motivam a pesquisa de novos agentes anticoagulantes e anti-trombóticos.

## Esperança nos ouriços-do-mar

Muitos compostos têm sido testados, em todo o mundo, em busca de novas drogas que evitem ou combatam a trombose. Em nosso laboratório, substâncias extraídas de ouriços-do-mar e de algumas espécies de algas marinhas revelaram-se fontes promissoras de moléculas anticoagulantes e anti-trombóticas.

Nos ouriços-do-mar, os carboidratos que estudamos estão situados na superfície dos óvulos e participam do processo de fertilização. Quando o espermatozóide desses animais entra em contato com o gel que recobre os óvulos, polissacarídeos presentes nesse gel induzem, no espermatozóide, a chamada reação acrossômica. Nessa reação são libera-

das enzimas que ‘dissolvem’ o gel, facilitando a penetração do espermatozóide, e uma proteína deste, a actina, é polimerizada, formando filamentos que ajudam a expor outra proteína, a bindina, em sua superfície. A bindina liga-se ao seu receptor na superfície do óvulo, desencadeando a fusão das membranas dos dois gametas, a liberação do material genético do espermatozóide dentro do óvulo e a fusão dos dois núcleos, formando o zigoto, que dará origem ao embrião.

Dois mecanismos diferentes são fundamentais para que gametas da mesma espécie de ouriço-do-mar se reconheçam (figura 4). Um é baseado na especificidade da proteína bindina (reconhecimento com base na bindina), e o outro depende da indução da reação acrossômica pelo polissacarídeo que recobre o gel do óvulo (reconhecimento com base no carboidrato). Se a reação acrossômica não é induzida, a bindina não é exposta e, portanto, não há fertilização. Esse último mecanismo foi descrito em nosso laboratório, e demonstramos principalmente que cada espécie de ouriço-do-mar tem um polissacarídeo de estrutura particular recobrindo seu óvulo.

As análises desses polissacarídeos revelaram que são polímeros constituídos exclusivamente por monossacarídeos de fucose ou galactose. Esses compostos têm ainda, ligados à estrutura básica de carboidrato ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), grupamentos sulfatos idênticos aos encontrados nos glicosaminoglicanos, que conferem carga negativa ao polímero. Por isso, são conhecidos como fucanas sulfatadas e galactanas sulfatadas. Outra observação curiosa é que esses compostos exibem grande variedade estrutural, em função do tipo de ligação entre os monossacarídeos e do padrão de sulfatação.

O reconhecimento de moléculas específicas de cada espécie de ouriço-do-mar, durante a fertilização, tem grande importância biológica, pois várias espécies podem conviver no mesmo ambiente e seus gametas são liberados na água do mar, onde ocorre a fertilização. Esse reconhecimento, portanto, impede a formação de híbridos.

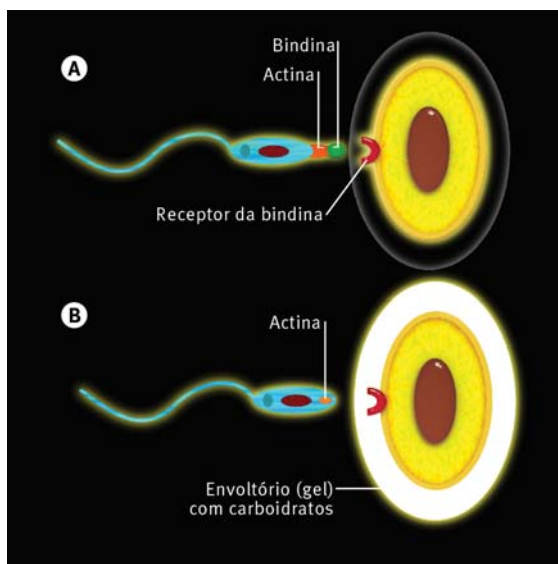


Figura 4. Mecanismos de reconhecimento entre espermatozóide e óvulo em ouriços-do-mar. Em A, reconhecimento baseado na estrutura, distinta em cada espécie, da proteína bindina – na reação acrossômica, ocorre a ‘dissolução’ do envoltório gelatinoso do óvulo e a actina (em laranja) é polimerizada no espermatozóide. Após esses eventos, a bindina (em verde) é exposta, podendo ligar-se ao receptor de membrana (em vermelho) do óvulo da mesma espécie. Em B, reconhecimento baseado na estrutura, distinta em cada espécie, do carboidrato – para que a reação acrossômica ocorra, o espermatozóide deve ser reconhecido pelos polissacarídeos sulfatados presentes no envoltório gelatinoso (em branco) do óvulo da mesma espécie

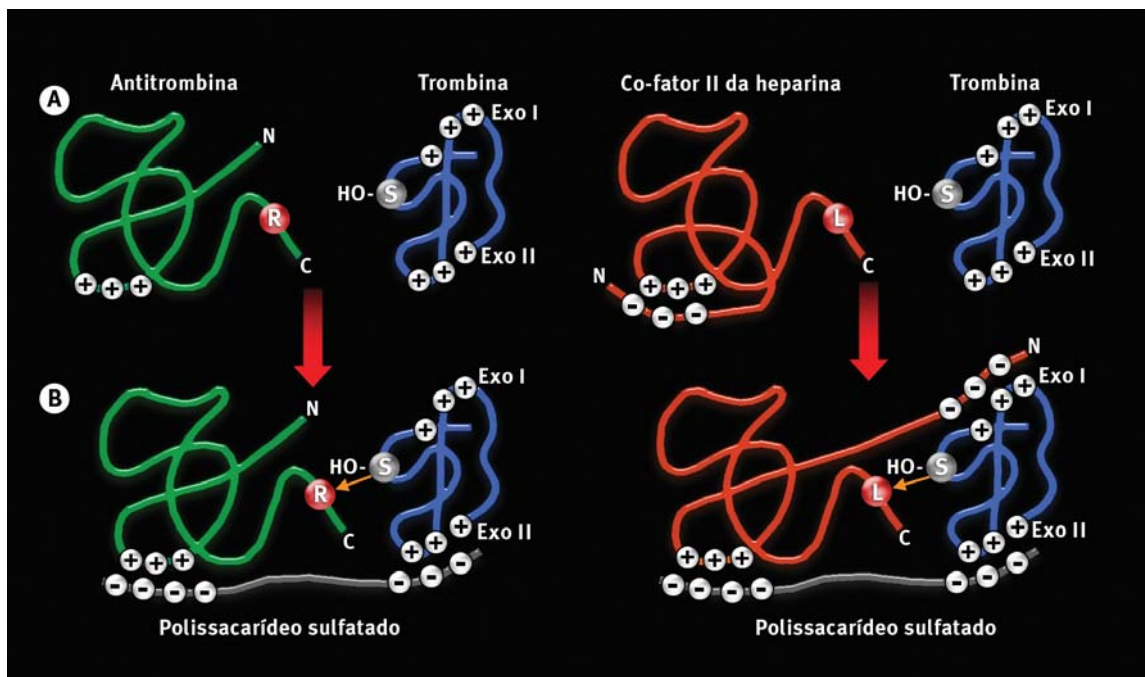


Figura 5. Representação molecular da ação anticoagulante dos polissacarídeos sulfatados. A trombina (em azul) é inibida pela ação da antitrombina (em verde) e do co-fator II da heparina (em laranja). Em ambos os casos, o polissacarídeo sulfatado (em cinza) aproxima o inibidor e a trombina, através da interação de suas cargas negativas com as cargas positivas dessas moléculas (na trombina, a interação ocorre no sítio denominado EXO II). Em seguida, o grupo hidroxila (-OH) do aminoácido serina (S), presente na trombina, liga-se a aminoácidos situados na extremidade 'C' dos inibidores – a arginina (R), na antitrombina, e a lisina (L), no co-fator II de heparina. No entanto, o polissacarídeo sulfatado altera o mecanismo anticoagulante do co-fator II da heparina, induzindo nesse inibidor uma modificação estrutural que permite a interação de sua extremidade 'N' com o sítio EXO I da trombina

Nossos estudos com fucanas e galactanas sulfatadas, de ouriços-do-mar e de algas marinhas, demonstraram que sua ação anticoagulante é similar à da heparina – elas também amplificam a inibição da antitrombina e do co-fator II da heparina sobre a trombina. Ao contrário da heparina, obtida de mamífero, essas fucanas e galactanas (sulfatadas) apresentam menores riscos de contaminação por partículas virais e príons nocivos ao homem, já que são isoladas de organismos marinhos.

A estrutura química dos polissacarídeos sulfatados de ouriços-do-mar, como as análises revelaram, é mais simples que a dos compostos obtidos de algas marinhas e que a da heparina. Isso permitiu estabelecer uma relação entre as estruturas químicas das fucanas sulfatadas e galactanas sulfatadas de invertebrados marinhos e sua ação anticoagulante (figura 5). Os testes desses compostos em diferentes modelos de trombose em animais experimentais mostraram uma potente atividade preventiva contra a trombose, tanto venosa quanto arterial. Portanto, esses novos polissacarídeos sulfatados podem ajudar no desenho estrutural de novas drogas com ações específicas sobre cada tipo de trombose e com poucos efeitos adversos.

Resultados recentes indicaram outras ações te-

rapêuticas – anticâncer, antiviral e antiinflamatória – das fucanas sulfatadas de organismos marinhos. No entanto, ainda não foram elucidados os mecanismos de ação desses polissacarídeos nessas outras ações biológicas, assim como a influência de suas características estruturais.

## A contribuição da glicobiologia

Em síntese, o estudo dos carboidratos e glicoconjugados é vasto dentro da biociência. Inúmeras funções podem ser desempenhadas por essas macromoléculas, em nível molecular, celular, tecidual ou fisiológico e até na produção industrial. Sem dúvida, as descobertas recentes com o estudo de carboidratos contribuíram para a compreensão de inúmeros eventos biológicos e para a obtenção de novos compostos com ações terapêuticas em diversas patologias. Assim como as demais áreas da pesquisa bioquímica, a glicobiologia ainda pode colaborar muito para ajudar a desvendar os processos biológicos da natureza. ■

### SUGESTÕES PARA LEITURA

- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. & COX, M. M. *Princípios de bioquímica*. São Paulo, Sarvier, 2002.
- MOURÃO, P. A. S. 'Use of sulfated fucans as anticoagulant and antithrombotic agents: future perspectives', in *Current Pharmaceutical Design*, v. 10 (9), p. 967, 2004.
- VOET, D.; VOET, J. G. & PRATT, C. *Fundamentos de bioquímica*. Porto Alegre, Artmed, 2000.