

Biologia Molecular: Enzimas**CONCEITOS INICIAIS**

A vida depende de uma bem orquestrada série de reações químicas. Muitas delas, entretanto, ocorrem muito lentamente para manter os processos vitais. Para resolver esse problema, a natureza planejou um modo de acelerar a velocidade das reações químicas por meio da catálise. As ações catalíticas são executadas por **enzimas** que facilitam os processos vitais em todas as suas formas, desde os vírus até os mamíferos superiores.

Um automóvel é motivado por uma força motora resultante da oxidação do hidrocarboneto, contido na gasolina, em dióxido de carbono e água, em um processo de explosão controlada dentro da máquina, onde os gases quentes podem chegar a 2.200° C. No entanto, as células vivas conseguem energia por meio da oxidação do carboidrato glicose a dióxido de carbono e água, em uma temperatura que, no caso dos seres humanos, é de 37° C. O segredo dos organismos vivos é a **catálise**, um processo realizado por enzimas. Suas arquiteturas tridimensionais dão a elas uma extraordinária especificidade para selecionar a molécula de substrato à qual elas vão ligar-se e na qual elas vão operar. Na verdade, cada enzima possui uma "miniatura de operação", em que o substrato é momentaneamente preso em uma determinada posição, de maneira que ele passa a ser cortado ou alterado com precisão cirúrgica. A cena da operação é chamada de **sítio ativo** que usualmente é uma fenda, bolsa ou cavidade na superfície da proteína.

A cirurgia enzimática, como a quebra ou "a costura" de moléculas ocorre muitas vezes (e, em alguns casos, milhares de vezes) a cada segundo. O milagre da vida é uma miríade de reações químicas ocorrendo simultaneamente na célula, com grande acuidade e em uma velocidade atordoante. Sem as enzimas apropriadas para processar os alimentos que comemos, poderíamos levar 50 anos digerindo o café da manhã.

AFINAL, COMO ATUAM AS ENZIMAS

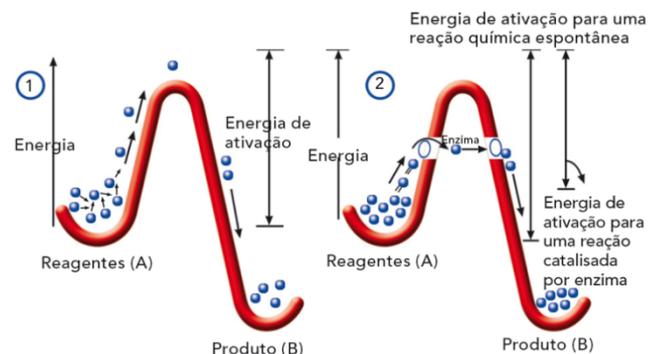
As enzimas são proteínas grandes e complexas que agem como **catalisadores**. Por definição, catalisadores são substâncias que **aceleram a velocidade de uma reação química por reduzir a energia de ativação**, porém permanece inalterada no processo. Por isso, os catalisadores podem ser usados vez após vez, sendo, portanto, tipicamente eficientes em concentrações muito baixas.

No laboratório, as velocidades das reações químicas são geralmente aceleradas (até um certo ponto) pela aplicação de **calor**, que **umenta a força e a frequência das colisões entre as moléculas**. Na natureza, contudo, centenas de reações estão em andamento na célula ao mesmo tempo; o calor aceleraria todas essas reações indiscriminadamente. Além disso, o calor fundiria os lipídios, desnaturaria as proteínas, além de ter outros efeitos geralmente destrutivos na célula. Por causa das enzimas, as células são capazes de conduzir reações químicas em altas velocidades em temperaturas relativamente baixas. Se as

enzimas não estivessem presentes, as reações ocorreriam, mas em ritmos tão lentos que os seus efeitos seriam negligenciáveis e a vida à "temperatura ambiente" não seria possível.

Os nomes das enzimas são frequentemente dados adicionando-se a terminação **-ase** à raiz do nome do substrato (a molécula ou moléculas reativas). Assim, a **amilase** catalisa a hidrólise da amilose (amido) a moléculas de glicose; a **sacarase** catalisa a hidrólise da sacarose a glicose e frutose. Aproximadamente 2.000 diferentes enzimas são atualmente conhecidas e cada uma é capaz de catalisar algumas reações específicas.

Assim, praticamente toda reação que acontece no interior de um organismo vivo só acontece mediante a atuação de uma enzima que permite tal processo.



Em 1, os reagentes (A) necessitam de um "grande esforço" (energia de ativação) para ultrapassar a barreira de dificuldade e atingir seu objetivo, que é o de originar o produto (B). Em 2, a enzima economiza esse trabalho, como que "abrindo um túnel" na montanha de esforço e facilitando a ação dos reagentes. Ela, na verdade, quase dispensa a energia de ativação.

PROPRIEDADES DA AÇÃO ENZIMÁTICA**Formação do complexo Enzima-Substrato**

Em uma reação catalisada por uma enzima, liga-se ao substrato um dos reagentes para formar um complexo. Há a formação das espécies do estado de transição, as quais podem, então, formar o produto. A natureza dos estados de transição em uma reação enzimática é um enorme campo de pesquisa por si só, mas algumas afirmações gerais podem ser feitas sobre esse assunto.

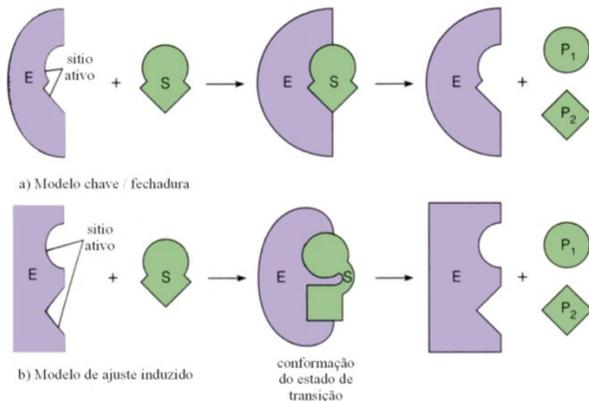
O substrato liga-se, em geral, por interações não covalentes, a uma pequena porção da enzima conhecida como **sítio ativo**, frequentemente situada em uma fenda ou bolso da superfície da proteína e que consiste de certos aminoácidos essenciais para a atividade enzimática.

Dois modelos importantes foram desenvolvidos para descrever este processo de ligação. O primeiro deles, o **modelo chave-fechadura**, assume um alto grau de similaridade entre a forma do substrato e a geometria do sítio de ligação na enzima.

Esse modelo é, nos dias de hoje, de interesse principalmente histórico, uma vez que não leva em consideração uma propriedade importante das proteínas, ou seja, sua flexibilidade conformacional. O segundo modelo leva em conta o fato de as proteínas terem alguma flexibilidade

tridimensional. De acordo com o **modelo do encaixe induzido**, a ligação do substrato induz uma mudança conformacional na enzima, o que resulta em um encaixe complementar ao substrato, uma vez que ele está ligado. Em ambos, verifica-se **alto grau de especificidade** de ação da enzima ao substrato.

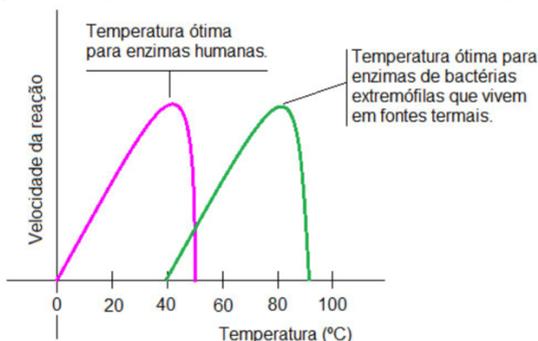
É importante destacar que um modelo não substitui ou anula o outro. Na verdade, um possui conotação histórica, enquanto o outro leva em consideração as mais modernas descobertas em relação à natureza conformacional da formação do complexo enzima-substrato. No entanto, ambos versam sobre a especificidade de atuação da enzima a seu respectivo substrato.



Dois modelos que descrevem a ligação do substrato a uma enzima. (a) No modelo chave-fechadura, o formato do substrato e a conformação do sítio ativo são complementares um ao outro. (b) No modelo do encaixe-induzido, a enzima sofre uma mudança conformacional ao ligar-se ao substrato. O formato do sítio ativo torna-se complementar ao formato do substrato somente depois que o substrato se liga à enzima.

A ATIVIDADE ENZIMÁTICA É INFLUENCIADA PELA TEMPERATURA

As reações químicas são afetadas pela **temperatura**. Quanto maior a temperatura, maior a velocidade da reação (isso entre a temperatura mínima e a ideal). A velocidade aumenta porque mais moléculas adquirem energia suficiente para atingir o estado de transição. Em reações catalisadas por enzimas, **a velocidade é acelerada pelo aumento da temperatura até atingir uma temperatura ótima na qual a enzima opera com a máxima eficiência**. Como as enzimas são proteínas, os valores de temperatura ótima situam-se entre 40° e 45°C e dependem do pH e da força iônica. Acima dessa temperatura, a atividade das enzimas declina abruptamente por **desnaturação** protéica. Sob condições de hipotermia, a atividade enzimática é deprimida.



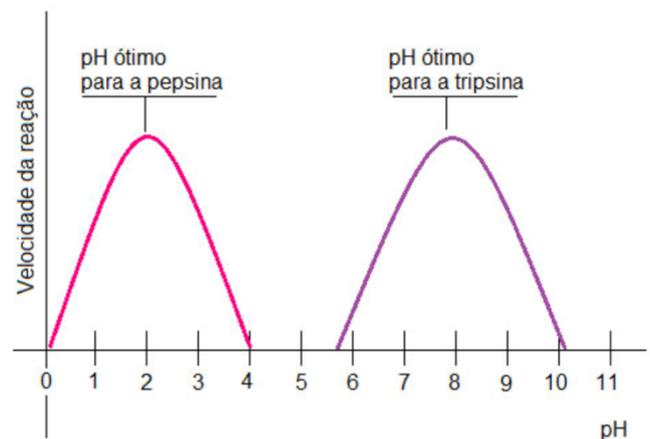
Cada enzima apresenta uma faixa característica de temperatura, denominada temperatura ótima/ideal, quando a velocidade da reação catalisadora é máxima, sem que a enzima sofra desnaturação. Em temperaturas superiores à ótima ocorre perda da atividade enzimática. Bactérias extremófilas suportam temperaturas altas sem que suas enzimas sofram desnaturação.

A ATIVIDADE ENZIMÁTICA É INFLUENCIADA PELO GRAU DE ACIDES (PH)

O **potencial hidrogeniônico (pH)** de um meio, expresso em escala logarítmica, variando de 0 a 14, corresponde a um outro importante fator de influência da atividade enzimática. Como se sabe, os valores expressam a concentração relativa do íon hidrogênio (H^+) em um determinado meio. Para cada enzima deverá existir um **pH ótimo/ideal** para que a reação alcance sua máxima velocidade. O pH para a maioria das enzimas celulares funcionarem adequadamente seria próximo ao neutro, ou seja, 7. No entanto, algumas importantes enzimas como por exemplo, a **pepsina**, apresentam outros valores de referência. No estômago, a pepsina atua de forma mais eficiente em um pH fortemente ácido com valor aproximado de 2.

A concentração de íons hidrogênio afeta as enzimas de vários modos. Primeiro, a atividade catalítica das enzimas está relacionada à **ionização de aminoácidos no do sítio ativo**. Por exemplo, a atividade catalítica de certas enzimas necessita a forma protonada da cadeia lateral do grupo amino. Se o pH torna-se suficientemente alcalino de tal modo que o grupo perde seu próton, a atividade da enzima pode ser reduzida. Além disso, os substratos podem também serem afetados. Se um substrato contém um grupo ionizável, as mudanças no pH afetam a capacidade de ligação ao sítio ativo. Segundo, **alterações nos grupos ionizáveis podem modificar a estrutura terciária das enzimas**. Mudanças drásticas no pH promovem a desnaturação de muitas enzimas.

Apesar de algumas enzimas tolerar grandes mudanças no pH, a maioria delas são ativas somente em intervalos muito estreitos. Por essa razão, os organismos vivos empregam tampões que regulam o pH.



Como podemos observar, uma enzima só age em condições determinadas de pH. Sendo assim, o organismo acaba por utilizar enzimas diferentes para realizar uma mesma reação em regiões diferentes do corpo. Diversas **proteases (pepsina, tripsina e quimiotripsina)** do sistema digestório atuam em condições diferentes de pH. Assim, **pepsina (suco gástrico) no estômago (pH ácido de 1,8 a 2,0)** e **tripsina e quimiotripsina (suco pancreático)** no

duodeno (**pH básico de 7,8 a 8,2**) digerem proteínas (apesar do ponto de quebra da proteína ser diferente nesses dois casos, ou seja, pepsina e tripsina atacam ligações peptídicas entre duplas diferentes de aminoácidos). Em alguns casos, a reação é idêntica, sendo o mesmo substrato e o mesmo produto, sendo as enzimas denominadas então **isozimas** ou **isoenzimas**.

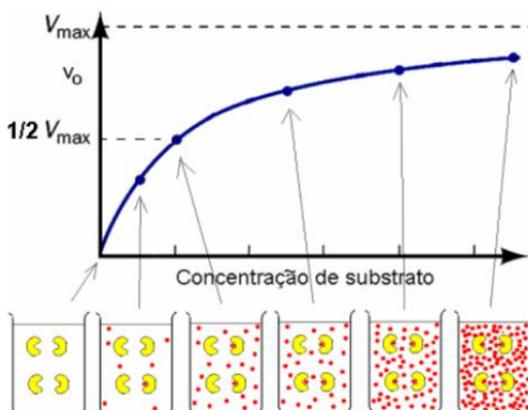
A ATIVIDADE ENZIMÁTICA É PROPORCIONAL À CONCENTRAÇÃO DE SUBSTRATO

A velocidade máxima da reação é uma função da quantidade de enzima disponível, àquela aumenta proporcionalmente pela introdução de mais enzima ao sistema. Assim, a velocidade inicial da reação enzimática é **diretamente proporcional à concentração de enzima** (existindo substrato em excesso).

Como as enzimas não são consumidas no processo e promovem as reações individuais em altas velocidades, elas logo se liberam para proporcionar nova reação. Assim, **basta pequena quantidade de enzima para promover a reação**. Por isso, a concentração de substrato será um fator de influência na velocidade de atividade enzimática.

Para **uma concentração fixa da enzima**, um aumento da concentração do substrato aumenta a velocidade da reação. Isto ocorre porque, como a enzima não é consumida pela reação, ela pode ser reutilizada várias vezes. A maior parte das moléculas de enzima está inativa.

Em **concentrações elevadas de substrato**, as moléculas de enzima inativas passarão à forma de complexo enzima-substrato, sendo atingida a **velocidade máxima da reação**. Aumentando a concentração do substrato além deste ponto, nada ocorre, pois não há mais enzimas para que ocorram reações naquele momento e, conseqüentemente, não há mais aumento na velocidade da reação global: ela passa a ficar constante. É o **ponto de saturação** de substrato. Neste caso, a velocidade só volta a aumentar se aumentarmos a concentração enzimática do meio ou se esperarmos que os substratos sejam consumidos, liberando enzimas para a reação.



Ao nível da concentração Y do substrato, a velocidade da reação atingiu o máximo. A partir daí, mesmo que se aumente a concentração de substrato, mantendo constante a concentração enzimática, a velocidade da reação não mais aumentará.

INIBIÇÃO ENZIMÁTICA

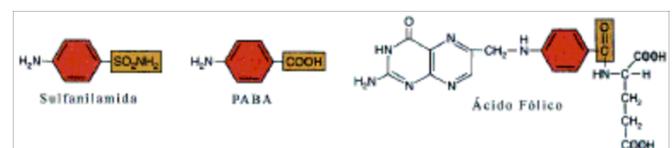
Inibidores são substâncias que reduzem a atividade das enzimas e incluem **fármacos, antibióticos, preservativos de alimentos e venenos**.

São importantes por várias razões: **(1)** Os inibidores enzimáticos atuam como reguladores das vias metabólicas. **(2)** Muitas terapias por fármacos são baseadas na inibição enzimática. Por exemplo, muitos antibióticos e fármacos reduzem ou eliminam a atividades de certas enzimas. O tratamento da AIDS inclui inibidores das proteases, moléculas que inativam a enzima necessária para produzir novos vírus. **(3)** Desenvolvimento de técnicas para demonstrar a estrutura física e química, e as propriedades funcionais das enzimas.

Distinguem-se dois tipos de inibição: **reversível** e **irreversível**, segundo a estabilidade da ligação entre o inibidor e a molécula de enzima. Na inibição reversível ocorre interações não-covalentes entre o inibidor e a enzima, enquanto na inibição irreversível envolve modificações químicas da molécula enzimática, levando a uma inativação definitiva. Na inibição reversível, a enzima retoma sua atividade após dissociação do inibidor. Três classes de inibidores reversíveis são descritos: **competitivo, não-competitivo** e **incompetitivo**. Destas, a inibição competitiva é a mais relevante.

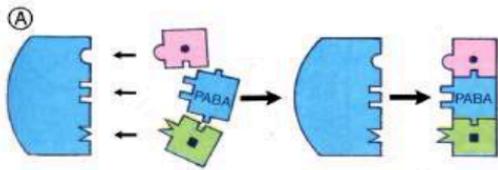
Inibidores competitivos são substâncias que competem diretamente com o substrato normal pelo sítio ativo das enzimas. São moléculas estruturalmente semelhantes ao substrato. O inibidor competitivo reage reversivelmente com a enzima para formar um complexo enzima-inibidor análogo ao complexo enzima-substrato, mas **cataliticamente inativo**.

Um exemplo deste processo é o que acontece com as **sulfas**, um tipo de **antibiótico**. As bactérias produzem uma substância conhecida como **ácido fólico** (uma vitamina essencial para o seu crescimento e reprodução) a partir de três compostos: o **ácido glutâmico** (um aminoácido), o **PABA** (ácido paraaminobenzoico, outra vitamina) e a **nucleopteridina** (derivada de bases nitrogenadas). A sulfa possui um grupo sulfanilamida profundamente semelhante ao PABA, do ponto de vista químico.

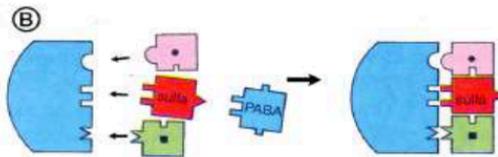


Grupo sulfanamida extremamente semelhante ao PABA

Ao administrarmos a sulfa, esta vai competir com o PABA pelo sítio ativo da enzima que produz o ácido fólico. Se a sulfa estiver em maior concentração, ela ocupa o sítio ativo da maior parte das enzimas no lugar do PABA, o ácido fólico é produzido em quantidades insuficientes e a bactéria é impedida de se multiplicar, sendo facilmente eliminada pelo organismo.



Em (A), a enzima encaixa os substratos (ácido glutâmico, PABA e nucleopteridina) e forma o ácido fólico. A bactéria se beneficia.



Em (B), a sulfá compete com o PABA e ocupa o seu lugar. Não se forma ácido fólico. A bactéria morre.

INIBIÇÃO ALOSTÉRICA

Além da influência exercida sobre a atividade enzimática de diversos fatores, tais como: concentração do substrato e enzima, pH, temperatura e presença de co-fatores, tem-se também, a integração das enzimas nas vias metabólicas e a interrelação dos produtos de uma via com a atividade de outras vias. As vias metabólicas não operam em capacidade máxima o tempo todo. De fato, muitos processos podem ser interrompidos, inibidos ou ativados, durante certas fases no ciclo de vida da célula. Se assim não fosse, a célula teria um crescimento descontrolado e antieconômico.

A regulação das vias metabólicas ocorre por meio da modulação da atividade de uma ou mais enzimas-chave do processo. A etapa de maior energia de ativação é denominada etapa de comprometimento (geralmente uma reação irreversível). Comumente, enzima-chave que catalisa a etapa comprometida serve como válvula de controle do fluxo de moléculas no percurso metabólico.

As **enzimas** reguladas por moduladores ligados a sítio(s) adicional(is) e que sofrem mudanças conformacionais não-covalentes são denominadas **alostéricas**. A afinidade da ligação enzima-substrato das enzimas alostéricas é modificada por ligantes denominados efetores ou moduladores alostéricos, unidos reversível e não-covalentemente a locais específicos da estrutura tridimensional protéica e nominados **sítios alostéricos**, que são diferentes e distantes dos sítios ativos específicos para os substratos. Os efetores são pequenas moléculas orgânicas, por exemplo, o ATP (trifosfato de adenosina), proteínas de baixo peso molecular, substratos ou produtos da reação. A maioria das enzimas sujeitas a esses efeitos são decisivas na regulação do metabolismo intermediário.

O sítio alostérico pode ser ocupado por um **ativador alostérico** ou por um **inibidor alostérico**. No primeiro caso, a presença do ativador promove alteração conformacional da enzima para permitir que a reação seja catalisada. Com isso, aumenta a afinidade da enzima pelo substrato e, assim, eleva a velocidade da reação.

Em um segundo caso, a velocidade da reação pode diminuir ou até cessar devido à presença de um **inibidor alostérico**. Uma molécula pode, no final de uma via, ser inibidora, alostérica da primeira enzima, autorregulando a via: quando o produto se acumula, inibe a enzima que proporcionou o início de sua síntese, num mecanismo dito **retroinibição**, semelhante aos processos de feedback.

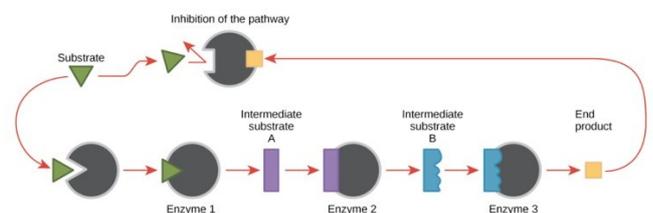
Uma **via metabólica** se caracteriza como sendo uma sequência de reações químicas em que um grupo de enzimas (sistema multienzimático) atua em conjunto para converter um determinado substrato em um ou mais produtos. Nessa via multienzimática, o produto da ação de uma enzima é o substrato da próxima enzima, e assim sucessivamente. Os produtos das ações dessas enzimas do metabolismo são denominados intermediários metabólicos ou metabólitos.



Via metabólica. Neste esquema de uma via metabólica, E1 a E6 representam as seis enzimas que catalisam a transformação do substrato A no produto P. As letras B, C, D, E e F representam os intermediários metabólicos.

No processo de **inibição retroativa**, o produto final de uma via metabólica age na enzima chave que regula a entrada a essa via, evitando que mais do produto final seja fabricado. Isso pode parecer estranho - **por que uma molécula iria querer desligar sua própria via?** Mas, na verdade, é um jeito inteligente da célula produzir apenas a quantidade certa de produto. Quando há pouco produto, a enzima não será inibida, e a via seguirá a todo vapor para renovar o estoque. Quando há muito produto, este irá bloquear a enzima, evitando a produção de produto novo até que o suprimento existente tenha sido consumido.

Mecanismo de retroinibição de uma via metabólica com a participação de uma enzima alostérica.



Por exemplo, a molécula transportadora de energia, **ATP**, é um inibidor alostérico de algumas das enzimas envolvidas na **respiração celular**, um processo que gera ATP para fornecer energia para as reações celulares. Quando há muito ATP, a inibição retroativa impede a formação de mais ATP. Isso é útil porque o ATP é uma molécula instável. Se houver muito ATP presente na célula, o excedente será desperdiçado, decompondo-se espontaneamente em seus substratos (**ADP e P_i**).

ADP, por outro lado, serve com um regulador alostérico positivo (um **ativador alostérico**) para algumas das mesmas enzimas que são inibidas pelo ATP. Por exemplo, o ADP pode agir ligando-se a uma enzima e alterando sua forma de maneira que ela se torna mais ativa.

Graças a este padrão de regulação, quando os níveis de ADP estão elevados em comparação com os níveis de ATP, as enzimas da respiração celular tornam-se muito ativas e fazem mais ATP através da respiração celular.

Exercícios de Aprendizagem

01. (ENEM) Há processos industriais que envolvem reações químicas na obtenção de diversos produtos ou bens consumidos pelo homem. Determinadas etapas de obtenção desses produtos empregam catalisadores químicos tradicionais, que têm sido, na medida do possível, substituídos por enzimas. Em processos industriais, uma das vantagens de se substituírem os catalisadores químicos tradicionais por enzimas decorre do fato de estas serem:

- consumidas durante o processo.
- compostos orgânicos e biodegradáveis.
- inespecíficas para os substratos.
- estáveis em variações de temperatura.
- substratos nas reações químicas.

02. (UNICHRISTUS)

ENZIMA CONTRA O AÇÚCAR PODE SER ARMA PARA COMBATER A DIABETES

A enzima regula a utilização da glicose e dos lipídios por diferentes órgãos. A descoberta de uma enzima que neutraliza os efeitos tóxicos do excesso de açúcar no organismo poderia abrir o caminho para novos tratamentos contra a diabetes e a obesidade. A enzima, cuja existência entre os mamíferos antes era ignorada, regula a utilização da glicose e dos lipídios por diferentes órgãos, explicam os pesquisadores liderados por Marc Prentki e Murthy Madiraju, do centro de pesquisa do hospital da Universidade de Montreal (CRCHUM).

Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/enzima-contr-excesso-de-acucarpossivel-arma-contr-a-diabetes/>>. Acesso em: 10 de mar. de 2017.

Sobre a proteína citada no texto, depreende-se que ela apresenta

- a capacidade de suportar grandes variações de pH, solubilidade e temperatura sem perder suas características funcionais.
- baixa especificidade com o respectivo substrato, devido às características químico-estruturais do sítio de ligação geradas por sua estrutura tridimensional.
- a característica de sinalizar e desencadear respostas fisiológicas a partir de seu reconhecimento por um receptor.
- a capacidade de ser regulada somente pelos produtos diretamente formados por sua atividade, em um processo denominado retroalimentação negativa.
- diferentes aplicações, trabalhando com um grande número de substratos. Essa flexibilidade é dada pela capacidade em alterar sua conformação de acordo com o substrato.

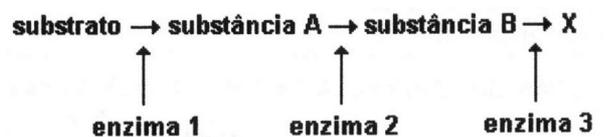
03. (ENEM) O milho verde recém-colhido tem um sabor adocicado. Já o milho verde comprado na feira, um ou dois dias depois de colhido, não é mais tão doce, pois cerca de 50% dos carboidratos responsáveis pelo sabor adocicado são convertidos em amido nas primeiras 24 horas. Para preservar o sabor do milho verde pode-se usar o seguinte procedimento em três etapas:

- descascar e mergulhar as espigas em água fervente por alguns minutos.
- resfriá-las em água corrente.
- conservá-las na geladeira.

A preservação do sabor original do milho verde pelo procedimento descrito pode ser explicada pelo seguinte argumento:

- O choque térmico converte as proteínas do milho em amido até a saturação; este ocupa o lugar do amido que seria formado espontaneamente.
- A água fervente e o resfriamento impermeabilizam a casca dos grãos de milho, impedindo a difusão de oxigênio e a oxidação da glicose.
- As enzimas responsáveis pela conversão desses carboidratos em amido são desnaturadas pelo tratamento com água quente.
- Microrganismos que, ao retirarem nutrientes dos grãos, convertem esses carboidratos em amido, são destruídos pelo aquecimento.
- O aquecimento desidrata os grãos de milho, alterando o meio de dissolução onde ocorreria espontaneamente a transformação desses carboidratos em amido.

04. (FUVEST) Uma substância X é o produto final de uma via metabólica controlada pelo mecanismo de retroinibição (feedback) em que, acima de uma dada concentração, x passa a inibir a enzima 1.



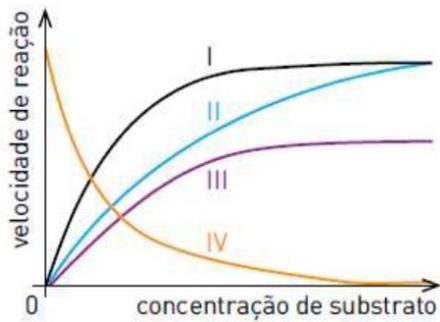
Podemos afirmar que, nessa via metabólica,

- a quantidade disponível de x tende a se manter constante.
- o substrato faltará se o consumo de x for pequeno.
- o substrato se acumulará quando a concentração de x diminuir.
- a substância A se acumulará quando a concentração de x aumentar.
- a substância B se acumulará quando o consumo de x for pequeno.

05. (UERJ) Existem dois tipos principais de inibidores da atividade de uma enzima: os competitivos e os não competitivos. Os primeiros são aqueles que concorrem com o substrato pelo centro ativo da enzima. Considere um experimento em que se mediu a velocidade de reação de uma enzima em função da concentração de seu substrato em três condições:

- ausência de inibidores;
- presença de concentrações constantes de um inibidor competitivo;
- presença de concentrações constantes de um inibidor não competitivo.

Os resultados estão representados no gráfico abaixo:

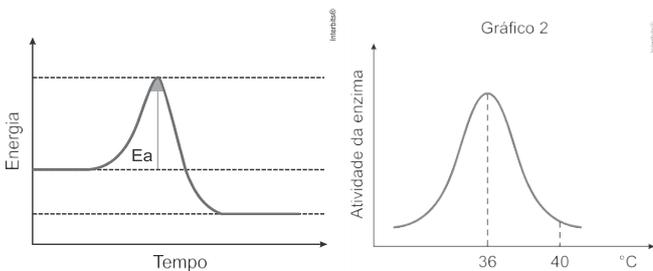


A curva I corresponde aos resultados obtidos na ausência de inibidores. As curvas que representam a resposta obtida na presença de um inibidor competitivo e na presença de um não competitivo estão indicadas, respectivamente, pelos seguintes números:

- a) II e IV.
- b) II e III.
- c) III e II.
- d) IV e III.

Exercícios de Fixação

01. (UNESP 2018) No interior de uma célula mantida a 40°C ocorreu uma reação bioquímica enzimática exotérmica. O gráfico 1 mostra a energia de ativação (Ea) envolvida no processo e o gráfico 2 mostra a atividade da enzima que participa dessa reação, em relação à variação da temperatura.



Se essa reação bioquímica ocorrer com a célula mantida a 36°C a energia de ativação (Ea) indicada no gráfico 1 e a velocidade da reação serão, respectivamente,

- a) a mesma e a mesma.
- b) maior e menor.
- c) menor e menor.
- d) menor e maior.
- e) maior e maior.

02. (UFRGS 2018) Nos seres vivos, as enzimas aumentam a velocidade das reações químicas.

Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmações abaixo, referentes às enzimas.

- () As enzimas têm todas o mesmo pH ótimo.
- () A temperatura não afeta a formação do complexo enzima- substrato.
- () A desnaturação, em temperaturas elevadas, acima da ótima, pode reduzir a atividade enzimática.
- () A concentração do substrato afeta a taxa de reação de uma enzima.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) V – V – F – F.
- b) V – F – V – F.
- c) V – F – F – V.
- d) F – V – F – V.
- e) F – F – V – V.

03. (UFJF 2018) A febre, quando alcança 40°C ou mais, é muito perigosa e pode provocar a morte do indivíduo. Um dos problemas do aumento da temperatura corporal é o seu efeito sobre proteínas do sistema nervoso central.

Sobre o efeito deste aumento da temperatura corporal, é CORRETO afirmar que ele

- a) aumenta a atividade das proteínas.

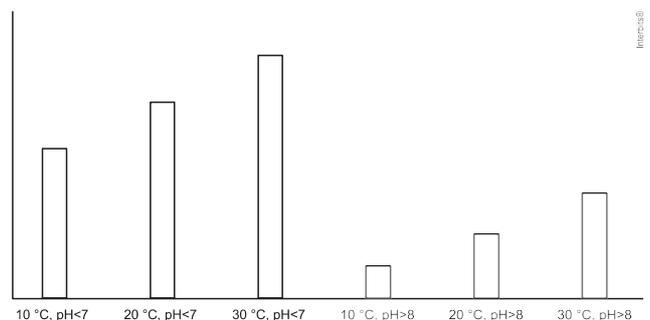
- b) desnatura as proteínas, inibindo a sua atividade.
- c) provoca o acúmulo de proteínas no retículo endoplasmático.
- d) induz a quebra das proteínas e, conseqüentemente, a sua inativação.
- e) modifica a seqüência de aminoácidos das proteínas e, conseqüentemente, o seu funcionamento.

04. (USF 2018) Durante a fotossíntese, a reação entre o CO₂ e a 1,5-bifosfato de ribulose é catalisada pela substância rubisco. De acordo com alguns autores, essa enzima é a mais abundante da Terra e representa cerca de 50% do total de proteínas do cloroplasto. Se um determinado herbicida atuar como inibidor da molécula rubisco, a qual é constituída de (I), a sua aplicação na planta terá como consequência direta o/a (II).

Marque a opção que preenche corretamente (I) e (II).

- a) (I) - aminoácidos; (II) - inibição da fotólise.
- b) (I) - nucleotídeos; (II) - impedimento da liberação de O₂ pela planta.
- c) (I) - monômeros; (II) - bloqueio da fotofosforilação cíclica.
- d) (I) - aminoácidos; (II) - interrupção do ciclo de Calvin.
- e) (I) - peptídeos; (II) - não produção de ATP no cloroplasto.

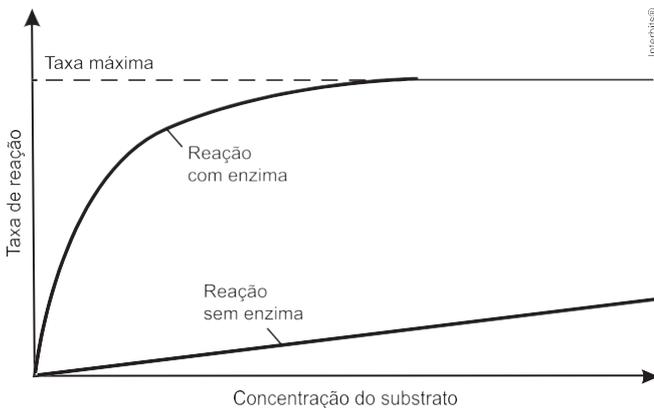
05. (ENEM 2017) Sabendo-se que as enzimas podem ter sua atividade regulada por diferentes condições de temperatura e pH, foi realizado um experimento para testar as condições ótimas para a atividade de uma determinada enzima. Os resultados estão apresentados no gráfico.



Em relação ao funcionamento da enzima, os resultados obtidos indicam que o(a)

- a) aumento do pH leva a uma atividade maior da enzima.
- b) temperatura baixa (10°C) é o principal inibidor da enzima.
- c) ambiente básico reduz a quantidade de enzima necessária na reação.
- d) ambiente básico reduz a quantidade de substrato metabolizado pela enzima.
- e) temperatura ótima de funcionamento da enzima é 30°C independentemente do pH.

06. (FMP 2016) O gráfico a seguir mostra como a concentração do substrato afeta a taxa de reação química.



O modo de ação das enzimas e a análise do gráfico permitem concluir que

- todas as moléculas de enzimas estão unidas às moléculas de substrato quando a reação catalisada atinge a taxa máxima.
- com uma mesma concentração de substrato, a taxa de reação com enzima é menor que a taxa de reação sem enzima.
- a reação sem enzima possui energia de ativação menor do que a reação com enzima.
- o aumento da taxa de reação com enzima é inversamente proporcional ao aumento da concentração do substrato.
- a concentração do substrato não interfere na taxa de reação com enzimas porque estas são inespecíficas.

07. (FAC. PEQUENO PRÍNCIPE – MEDICINA 2016) Leia o texto a seguir, publicado na revista Superinteressante

O que arde nem sempre cura A água oxigenada prejudica a cicatrização de um corte?

Sim. No geral, o melhor é deixar o corpo cuidar sozinho do fechamento do talho. "Basta limpar bem o local com água ou soro fisiológico", receita a cirurgiã plástica Lydia Massako Ferreira, da Universidade Federal de São Paulo. A ideia, muito difundida, de que substâncias que fazem a pele arder são boas para a cicatrização é errada. "Elas agredem quimicamente a ferida e só devem ser usadas se há risco de infecção", aconselha Lydia. Assim, um corte com lâmina ou um joelho ralado no cimento não precisam mais do que uma boa lavada.

"A água oxigenada atrapalha a formação das fibras de colágeno que vão preencher o corte", avisa a dermatologista Núbia Rossetti. Ferimentos feitos com objetos enferrujados pedem cuidado maior. Nesses casos, a água oxigenada e outros antissépticos ajudam, mas deve ser avaliada a necessidade também de uma vacina antitetânica. Todas essas substâncias devem ser usadas, com certeza, quando já existe infecção, pois matam os microrganismos. Disponível em:

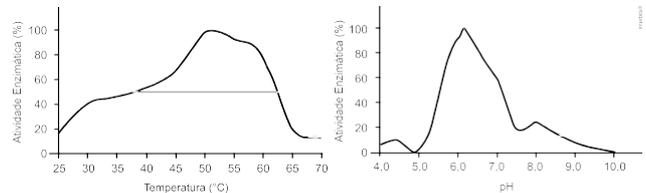
<http://super.abril.com.br/comportamento/o-que-arde-nem-sempre-cura>. Acesso em: 06/05/2016.

O texto relata que o uso de água oxigenada (peróxido de hidrogênio) em ferimentos não é interessante, pois sua oxidação poderia roubar elétrons das moléculas de colágeno produzidas pelos fibroblastos, atrapalhando a cicatrização do ferimento. Ainda assim, muitas pessoas utilizam a água oxigenada em ferimentos, buscando seu poder antisséptico. A água oxigenada possui essa ação porque

- a reação química promovida pela catalase decompõe o peróxido de hidrogênio e isso afeta as bactérias anaeróbias.
- os peroxissomos bacterianos não toleram a presença do peróxido de hidrogênio e isso leva à morte bacteriana.
- a decomposição química do peróxido de hidrogênio acidifica a região, levando as bactérias aeróbicas à morte.
- a catalase bacteriana decompõe a água oxigenada e o oxigênio liberado oxida a parede celular da bactéria, destruindo-a.
- o peróxido de hidrogênio é uma substância existente no sistema imunológico e é sinalizadora para que macrófagos fagocitem as bactérias do ferimento.

08. (FATEC 2015) Na indústria têxtil, é uma prática comum aplicar goma aos tecidos no início da produção, para torná-los mais resistentes. Esse produto, entretanto, precisa ser removido posteriormente, no processo de desengomagem. Nesse processo, os produtos têxteis são mergulhados em um banho aquoso com uma enzima do grupo das amilases.

Os gráficos nas figuras e representam a eficiência da atividade dessa enzima em diferentes valores de temperatura e pH.



Com base nas informações apresentadas, está correto afirmar que, para se obter a máxima eficiência da ação da enzima no processo industrial citado no texto, seria necessário manter o banho aquoso de desengomagem a

- 50°C e pH ácido, sendo que a enzima age especificamente sobre proteínas.
- 50°C e pH ácido, sendo que a enzima age especificamente sobre polissacarídeos.
- 50°C e pH básico, sendo que a enzima age especificamente sobre polissacarídeos.
- 70°C e pH ácido, sendo que a enzima age especificamente sobre polissacarídeos.
- 70°C e pH básico, sendo que a enzima age especificamente sobre proteínas.

09. (UPF 2015) A maioria das reações metabólicas de um organismo somente ocorre se houver a presença de enzimas. Sobre as enzimas, analise as afirmativas abaixo.

A ação enzimática sofre influência de fatores como temperatura e potencial de hidrogênio; variações nesses fatores alteram a funcionalidade enzimática.

São formadas por aminoácidos e algumas delas podem conter também componentes não proteicos adicionais, como, por exemplo, carboidratos, lipídios, metais ou fosfatos.

Apresentam alteração em sua estrutura após a reação que catalisam, uma vez que perdem aminoácidos durante o processo.

A ligação da enzima com seu respectivo substrato tem elevada especificidade. Assim, alterações na forma tridimensional da enzima podem torná-la afunção, porque impedem o encaixe de seu centro ativo ao substrato.

Está correto apenas o que se afirma em:

- a) I, II e IV.
- b) I, II e III.
- c) II, III e IV.
- d) III e IV.
- e) I, III e IV.

10. (PUCPR 2015) Rosto vermelho depois de beber pode sinalizar risco de câncer.

Manifestação está ligada à deficiência enzimática no metabolismo do álcool. (...) Essa resposta do fluxo sanguíneo, que pode acompanhar náusea e batimentos cardíacos acelerados, é causada, principalmente, por uma deficiência herdada numa enzima chamada ALDH2, uma característica compartilhada por mais de um terço da população de famílias do leste asiático – japoneses, chineses ou coreanos. Mesmo meia garrafa de cerveja já pode deflagrar a reação.

Adaptado de:

<http://q1.globo.com/Noticias?Ciencia/0,,MUL1057722-5603,00-ROSTO+VERMELHO+DEPOIS+DE+BEBER+PODE+SINALIZAR+RISCO+D+E+CA>
NCR.html.Acesso em: 17.04.2015.

Assinale a alternativa que NÃO caracteriza a ação das enzimas.

- a) Aumentam a velocidade das reações químicas.
- b) Não se misturam aos produtos formados, isto é, não são consumidas na reação.
- c) Aumentam a energia de ativação das reações químicas.
- d) São produzidas de acordo com a informação contida no DNA.
- e) Atuam como catalisadores orgânicos nas reações.

11. (UEG 2013) As enzimas são moléculas de proteínas que funcionam como efetivos catalisadores biológicos. A sua presença nos seres vivos é essencial para viabilizar as reações químicas, as quais, em sua ausência, seriam extremamente lentas ou até mesmo não ocorreriam. Considerando-se a propriedades desses biocatalisadores, constata-se o seguinte:

- a) a mioglobina presente nos músculos é um exemplo de enzima.
- b) as enzimas aumentam a energia de ativação de uma reação química.
- c) com o aumento da temperatura, a atividade catalítica atinge um ponto máximo e depois diminui.
- b) essas moléculas alteram a posição de equilíbrio das reações químicas.

12. (UFG 2013) Uma reportagem em relação à definição do que é o leite de fato foi veiculada na Folha de S. Paulo, edição do dia 16/09/2012 (página C7). Segundo essa reportagem: "leite é um produto natural composto de água, gordura, vitaminas, proteínas, enzimas e lactose...". Dentre essas substâncias mencionadas, a classe que é um catalisador biológico é a

- a) dos lipídios.
- b) dos minerais.
- c) das enzimas.
- d) das vitaminas.
- e) dos glicídios.

13. (PUCRJ 2013) Considere as afirmações abaixo relativas aos efeitos da elevação da temperatura no funcionamento das reações enzimáticas:

- I. A elevação da temperatura, muito acima de sua temperatura ótima, pode reduzir a atividade de uma enzima.
- II. A elevação da temperatura pode desnaturar uma enzima.
- III. Todas as enzimas têm a mesma temperatura ótima.
- IV. Algumas enzimas são estáveis no ponto de ebulição da água.

Estão corretas:

- I, II e IV, apenas.
- I, II e III, apenas.
- II, III e IV, apenas.
- II e IV, apenas.
- todas as afirmações.

14. (UESPI 2012) O funcionamento dos organismos vivos depende de enzimas, as quais são essenciais às reações metabólicas celulares. Essas moléculas:

- a) possuem cadeias nucleotídicas com dobramentos tridimensionais que reconhecem o substrato numa reação do tipo chave-fechadura.
- b) diminuem a energia de ativação necessária à conversão dos reagentes em produtos.
- c) aumentam a velocidade das reações químicas quando submetidas a pH maior que 8,0 e menor que 6,0.
- d) são desnaturadas em temperaturas próximas de 0°C paralisando as reações químicas metabólicas.
- e) são consumidas em reações metabólicas exotérmicas, mas não alteram o equilíbrio químico.

15. (UEG 2012) Nos seres vivos, os processos celulares de transformação de energia são realizados por meio de reações químicas. As reações químicas são processos nos quais moléculas reagem entre si, transformando-se em outras moléculas, chamadas de produto. A respeito dos processos de transformação de energia nas células, é correto afirmar:

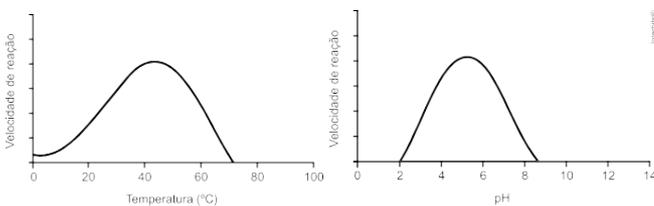
- a) nenhuma das atividades celulares envolve liberação de energia na forma de calor.
- b) as reações exergônicas que ocorrem na célula são devidas à energia de ativação.
- c) as reações químicas que liberam energia são chamadas de endotérmicas e endogônicas.

d) nas reações exergônicas ou exométricas, os reagentes possuem mais energia do que o produto, sendo que parte da energia é liberada sob a forma de calor.

16. (UFPB 2012) O aumento da atividade industrial, embora tenha trazido melhorias na qualidade de vida, agravou os níveis de poluição do planeta, resultantes, principalmente, da liberação de agentes químicos no ambiente. Na tentativa de minimizar tais efeitos, diversas abordagens vêm sendo desenvolvidas, entre elas a substituição de agentes químicos por agentes biológicos. Um exemplo é o uso, na indústria têxtil, da enzima celulase no processo de amaciamento dos tecidos, em substituição aos agentes químicos. Considerando os conhecimentos sobre estrutura e função de proteínas, é correto afirmar que essas moléculas biológicas são úteis no processo industrial citado devido à sua

- insensibilidade a mudanças ambientais.
- capacidade de uma única enzima reagir, simultaneamente, com diversos substratos.
- capacidade de diminuir a velocidade das reações.
- alta especificidade com o substrato.
- capacidade de não se reciclar no ambiente.

17. (PUCRS 2012) A longevidade de frutos durante o armazenamento depende do nível de atividade de determinadas enzimas do metabolismo. A ilustração a seguir mostra como a temperatura e o pH podem afetar a atividade destas enzimas.



Dentre as condições indicadas a seguir, as mais eficientes para prolongar a longevidade de frutos através da redução da atividade enzimática estão reunidas em:

- Elevação do pH de 2 para 4 e redução da temperatura de 40°C para 20°C.
- Redução do pH de 6 para 4 e elevação da temperatura de 40°C para 60°C.
- Elevação do pH de 6 para 8 e elevação da temperatura de 40°C para 60°C.
- Redução do pH de 4 para 2 e redução da temperatura de 40°C para 20°C.
- Elevação do pH de 4 para 8 e elevação da temperatura de 40°C para 60°C.

18. (IFSP 2011) Considerando o esquema que representa, simplificada, algumas etapas do metabolismo do aminoácido fenilalanina, foram feitas as seguintes afirmativas.

I. Na falta da enzima 1, há o acúmulo do aminoácido fenilalanina, gerando também outras substâncias derivadas (ácido fenilpirúvico, fenilacético e fenil-láctico), característicos da doença metabólica fenilcetonúria.

II. O albinismo clássico é uma doença causada pela falta da enzima 2 que converte a tirosina em DOPA, substância intermediária na produção de melanina, pigmento que dá cor à pele, cabelo e olhos.

III. A falta da enzima 3 leva ao acúmulo do ácido homogentísico que não é metabolizado em gás carbônico e água.

É válido o que se afirma em

- I, apenas.
- II, apenas.
- I e II, apenas.
- II e III, apenas.
- I, II e III.

19. (UFPR 2010) Boa parte das proteínas são classificadas como enzimas e apresentam papel importante no processo de aumento da velocidade de uma reação química. Sobre as enzimas do corpo humano, é correto afirmar:

- Apresentam capacidade de suportar grandes variações de pH, solubilidade e temperatura sem perder as suas características funcionais.
- Em geral, uma mesma enzima pode apresentar diferentes aplicações, trabalhando com um grande número de substratos. Essa flexibilidade é dada pela capacidade das enzimas em alterar a sua conformação de acordo com o substrato.
- As enzimas apresentam alta especificidade com o seu respectivo substrato, devido às características químico-estruturais do sítio de ligação geradas pela estrutura tridimensional da própria enzima.
- As enzimas apresentam a característica de sinalizarem e desencadearem respostas fisiológicas a partir do seu reconhecimento por um receptor. Em geral são produzidas em algum tecido específico, diferente daquele onde se desencadeia a resposta.
- As enzimas apresentam a capacidade de serem reguladas somente pelos produtos diretamente formados pela sua atividade, em um processo denominado retroalimentação negativa.

20. (ENEM 2ª APLICAÇÃO 2010) Alguns fatores podem alterar a rapidez das reações químicas. A seguir, destacam-se três exemplos no contexto da preparação e da conservação de alimentos:

- A maioria dos produtos alimentícios se conserva por muito mais tempo quando submetidos à refrigeração. Esse procedimento diminui a rapidez das reações que contribuem para a degradação de certos alimentos.
- Um procedimento muito comum utilizado em práticas de culinária é o corte dos alimentos para acelerar o seu cozimento, caso não se tenha uma panela de pressão.
- Na preparação de iogurtes, adicionam-se ao leite bactérias produtoras de enzimas que aceleram as reações envolvendo açúcares e proteínas lácteas.

Com base no texto, quais são os fatores que influenciam a rapidez das transformações químicas relacionadas aos exemplos 1, 2 e 3, respectivamente?

- a) Temperatura, superfície de contato e concentração.
- b) Concentração, superfície de contato e catalisadores.
- c) Temperatura, superfície de contato e catalisadores.
- d) Superfície de contato, temperatura e concentração.
- e) Temperatura, concentração e catalisadores.

GABARITOS E PADRÕES DE RESPOSTAS**EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM**

- 01.
- 02.
- 03.
- 04.
- 05.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO**01. [D]**

Se a reação química ocorrer a 36°C (temperatura ótima), a energia de ativação dos reagentes da reação enzimática será menor e, conseqüentemente, a velocidade da reação será maior.

02. [E]

Cada enzima apresenta um pH ótimo para a sua ação catalítica. A temperatura pode afetar a formação do complexo enzima-substrato.

03. [B]

Variações anormais de algumas condições podem fazer as moléculas proteicas perderem sua configuração original, processo chamado de desnaturação, que inibe sua atividade; a estrutura tridimensional das proteínas pode ser afetada por fatores como temperatura, acidez, concentração de sais etc.

04. [D]

O rubisco é uma proteína, constituída por aminoácidos (I), especializada em catalisar reações, denominada de enzima. Na fotossíntese, a inativação do rubisco impedirá o ciclo de Calvin (II), pois atua na fixação de carbono.

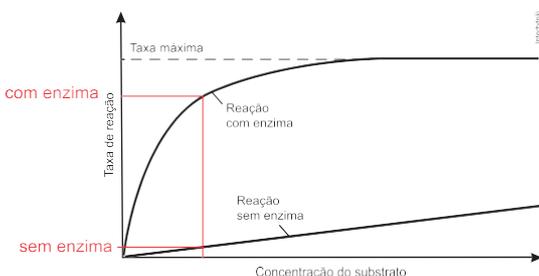
05. [D]

O aumento do pH causa a diminuição da atividade enzimática.

06. [A]

[A] Correta. A velocidade da reação enzimática se estabiliza quando todas as moléculas de enzimas estão unidas ao substrato sob o qual atuam.

[B] Incorreta. Numa mesma concentração de substrato, a taxa de reação será maior com enzima do que sem a presença dela.



[C] Incorreta. A enzima atua como um catalisador, ou seja, aumenta a velocidade de reação, diminuindo sua energia de ativação.

[D] Incorreta. Pela análise do gráfico pode-se observar que com o aumento do substrato aumenta-se a taxa de reação até um determinado limite onde ela se manterá constante.

[E] Incorreta. Pela análise do gráfico observa-se que a concentração aumenta a taxa de reação até a taxa máxima.

07. [A]

A catalase é uma enzima intracelular que decompõe o peróxido de hidrogênio (água oxigenada), formando moléculas de água e oxigênio, matando as bactérias anaeróbicas estritas, mas sem efeito

para as bactérias aeróbicas. Os peroxissomos são organelas citoplasmáticas que armazenam enzimas, como a catalase, que catalisam a decomposição do peróxido de hidrogênio.

08. [B]

A máxima eficiência da ação da enzima no processo de desengomagem é obtido, segundo os gráficos fornecidos, a e 50°C e pH ácido. As amilases aceleram a hidrólise de polissacarídeos.

09. [A]

[III] Falsa. As enzimas não sofrem a perda de aminoácidos após as reações que catalisam.

10. [C]

As enzimas são catalisadores biológicos de natureza proteica, capazes de acelerar reações bioquímicas diminuindo a energia de ativação necessária para que a reação ocorra.

11. [C]

O aumento da temperatura, até o ótimo, dobra ou triplica a velocidade de uma reação catalisada por enzimas. Do ponto ótimo em diante, a velocidade da reação diminui devido ao processo de desnaturação sofrido pelas proteínas catalisadoras.

12. [C]

As enzimas são catalisadores biológicos de natureza proteica.

13. [A]

Gabarito Oficial: [D]

Gabarito Lásaro Henrique: [A]

Em geral, o aquecimento aumenta as taxas de uma reação catalisada por enzima, porque sob temperaturas mais altas, uma maior proporção das moléculas do reagente tem energia cinética suficiente para prover energia de ativação da reação. No entanto, as enzimas apresentam uma temperatura ótima para o funcionamento. Temperaturas que ultrapassem essa temperatura ótima podem alterar a estrutura terciária, e as enzimas se tornam desnaturadas e perdem sua função. Algumas enzimas desnaturam ligeiramente acima da temperatura do corpo humano, enquanto outras são estáveis mesmo nos pontos de ebulição ou de congelamento da água.

14. [B]

As enzimas são proteínas que funcionam como catalisadores biológicos. Elas diminuem a energia de ativação necessária à conversão dos reagentes em produtos.

15. [B]

As reações bioquímicas exergônicas ocorrem após os reagentes receberem energia de ativação.

16. [D]

As enzimas são catalisadores biológicos de natureza proteica. Elas diminuem a energia de ativação necessária para que ocorra uma reação bioquímica. Essas proteínas podem acelerar reações reversíveis sem reagir com os substratos ou produtos da reação. As enzimas podem ser reutilizadas durante certo tempo.

17. [D]

As condições mais eficientes para prolongar a longevidade dos frutos, através da redução da atividade enzimática, seriam: redução do pH de 4 para 2 e diminuição da temperatura de 40 °C para 20 °C.

18. [E]

Não há qualquer inconsistência entre o esquema e as afirmativas propostas.

19. [C]

As enzimas são catalisadores de natureza proteica. São específicas, podendo acelerar reações reversíveis envolvendo determinado tipo de substrato. A especificidade enzimática é determinada por sua forma tridimensional. A atividade enzimática é influenciada por fatores ambientais como o pH e a temperatura do meio em que atuam.

20. [C]

São fatores que aceleram a velocidade das reações químicas: