

# METABOLISMO ENERGÉTICO

Prof. Kennedy Ramos

## UNIDADE 07: Respiração Celular: Ciclo de Krebs

### 2) Ciclo do Ácido Cítrico ou de Krebs

#### Oxidação do Ácido Pirúvico

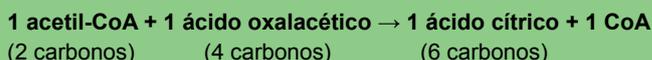
As moléculas de ácido pirúvico resultantes da degradação da glicose penetram no interior das mitocôndrias, onde ocorrerá a respiração propriamente dita.

Cada ácido pirúvico reage com uma molécula da substância conhecida como **coenzima A**, originando três tipos de produtos: **acetil-coenzima A**, **gás carbônico** e **hidrogênios**.

O  $\text{CO}_2$  é liberado e os hidrogênios são capturados por uma molécula de  $\text{NADH}_2$  formadas nessa reação. Estas participarão como veremos mais tarde, da cadeia respiratória.

Exemplificando o Ciclo de Krebs, teremos...

Em seguida, cada molécula de acetil-CoA reage com uma molécula de ácido oxalacético, resultando em citrato (ácido cítrico) e coenzima A, conforme mostra a equação abaixo.



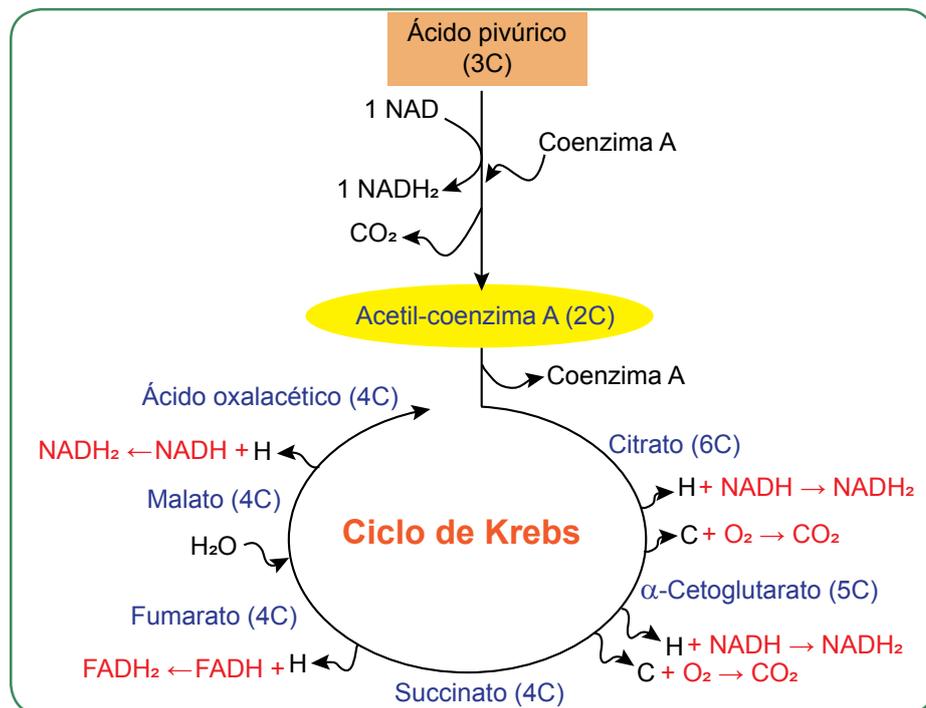
Analisando a participação da coenzima A na reação acima, vemos que ela reaparece intacta no final. Tudo se passa, portanto, como se a CoA tivesse contribuído para anexar um grupo acetil ao ácido oxalacético, sintetizando o ácido cítrico.

Cada ácido cítrico passará, em seguida, por uma via metabólica cíclica, denominada **ciclo do ácido cítrico** ou **ciclo de Krebs**, durante o qual se transforma sucessivamente em outros compostos.

Analisando em conjunto as reações do ciclo de Krebs, percebemos que tudo se passa como se as porções correspondentes ao grupo acetil, anteriormente transferidas

pela CoA, fossem expelidas de cada citrato, na forma de duas moléculas de  $\text{CO}_2$  e quatro hidrogênios. Um citrato, sem os átomos expelidos, transforma-se novamente em ácido oxalacético.

Os oito hidrogênios liberados no ciclo de Krebs reagem com duas substânciasceptoras de hidrogênio, o  $\text{NAD}$  e o  $\text{FAD}$ , que os conduzirão até as cadeias respiratórias, onde fornecerão energia para a síntese de  $\text{ATP}$ . No próprio ciclo ocorre, para cada acetil que reage, a formação de uma molécula de  $\text{ATP}$ .





## ATIVIDADES PROPOSTAS



**01. (Udesc)** Um importante fenômeno na obtenção de energia é o Ciclo de Krebs, também denominado de ciclo do ácido cítrico ou ciclo dos ácidos tricarbóxicos. Com relação a este ciclo, analise as proposições.

- I. O ácido pirúvico no início do ciclo provém da quebra da molécula de glicose (glicólise).
- II. Este ciclo ocorre no citoplasma tanto das células de organismos procariontes quanto nas dos eucariontes.
- III. Oceptor final dos hidrogênios liberados neste ciclo, quando realizado na respiração aeróbica, é o oxigênio.
- IV. Nas células musculares este ciclo pode ocorrer tanto no interior das mitocôndrias como no citoplasma da célula.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as alternativas I e III são verdadeiras.
- b) Somente as alternativas I e II são verdadeiras.
- c) Somente as alternativas II e III são verdadeiras.
- d) Somente as alternativas II e IV são verdadeiras.
- e) Somente as alternativas III e IV são verdadeiras.



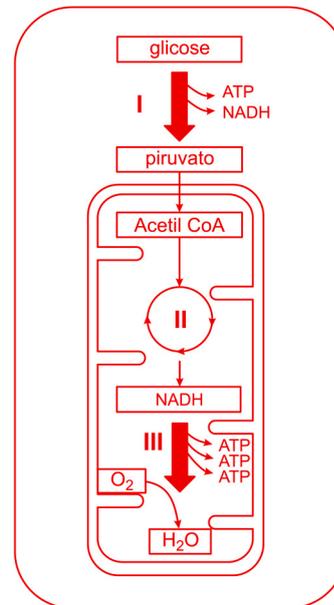
**02. (Acafe)** Sobre o processo de obtenção de energia pelos seres vivos é correto afirmar, exceto:

- a) A respiração anaeróbica é o processo de extração de energia de compostos orgânicos sem a utilização do  $O_2$  comoceptor final de elétrons.
- b) A respiração aeróbica compreende três fases, que ocorrem no interior das mitocôndrias: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória.
- c) A quebra da glicose através da fermentação produz 2 ATPs como saldo energético.
- d) Ao contrário da fermentação alcoólica, a fermentação láctica não produz  $CO_2$ .



**03. (Cesgranrio)** A glicose, uma vez dentro da célula, entrará numa via catabólica geradora de energia que, entre outros subprodutos, gerará  $CO_2$ .

Considere o desenho esquemático a seguir, representando uma célula eucariótica e as diferentes etapas da quebra da glicose identificadas como I, II e III e subsequente produção de energia:



É (São) etapa(s) que gera(m) a produção de  $CO_2$ :

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



**04. (Uepb)** Os principais processos pelos quais ocorre liberação da energia armazenada nas ligações químicas dos compostos orgânicos são a fermentação e a respiração aeróbica. Sobre esses processos podemos afirmar:

I. Os dois processos acima citados iniciam-se com a glicólise, ou seja, com a degradação da molécula de glicose em duas moléculas de piruvato. Nesse processo cada molécula de glicose libera energia para formar duas moléculas de ATP.

II. Por meio da fermentação, a glicose é parcialmente degradada na ausência, ou presença de oxigênio, originando substâncias mais simples, como o ácido láctico, o ácido acético e o álcool etílico, produtos respectivamente da fermentação láctica, acética e alcoólica. Nesses processos, há saldo de apenas duas moléculas de ATP.

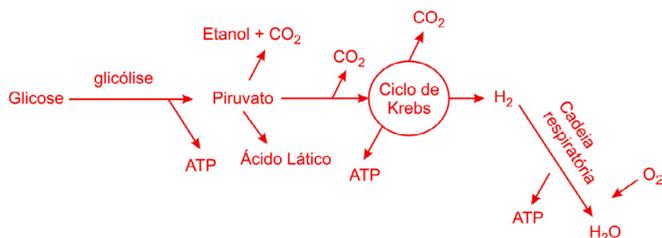
III. Nos procariontes, a glicólise e o ciclo de Krebs ocorrem no citoplasma, e a cadeia respiratória ocorre associada à face da membrana plasmática voltada para o citoplasma. Já nos eucariontes, a glicólise ocorre no citosol, e toda a fase aeróbica ocorre no interior das mitocôndrias.

Assinale a alternativa que apresenta a(s) proposição(ões) correta(s).

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



05. (Uern) Analise o esquema a seguir, que simplifica as etapas da respiração aeróbica a partir da glicólise.



Assinale a alternativa que esta em **DESACORDO** com o processo de respiração celular:

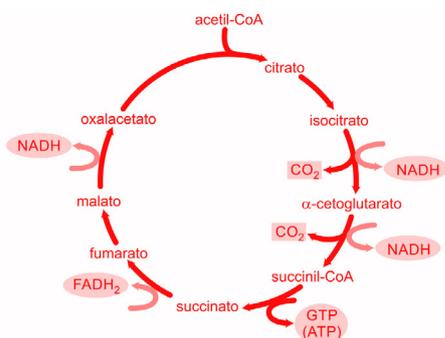
- a) Nos procariontes, a glicólise ocorre no citoplasma e a cadeia respiratória, na membrana plasmática voltada ao citoplasma.
- b) Nas etapas da respiração, a glicólise e o ciclo de Krebs fazem parte da fase anaeróbica e a cadeia respiratória, da fase aeróbica da respiração celular.
- c) O ciclo de Krebs é importante para liberar todo gás carbônico e a cadeia respiratória é responsável pela formação da maioria dos ATP's do processo respiratório.
- d) Durante intensa atividade física, e mesmo sem oxigênio, muitas células musculares e esqueléticas realizam a glicólise, desviando o metabolismo para a fermentação láctica.



ATIVIDADES ENEM



06. (MODELO ENEM) O ciclo de Krebs, que ocorre no interior das mitocôndrias, é um conjunto de reações químicas aeróbicas fundamental no processo de produção de energia para a célula eucarionte. Ele pode ser representado pelo seguinte esquema:



Admita um ciclo de Krebs que, após a entrada de uma única molécula de acetil-CoA, ocorra normalmente até a etapa de produção do fumarato.

Ao final da passagem dos produtos desse ciclo pela cadeia respiratória, a quantidade total de energia produzida, expressa em adenosinas trifosfato (ATP), será igual a:

- a) 3.
- b) 4.
- c) 9.
- d) 12.
- e) 14.



07. (MODELO ENEM) A respiração celular é um pode ser aeróbica ou anaeróbica. Relativo à produção e consumo de energia pela célula, pode-se inferir que

- a) o processo que permite às células utilizarem o CO<sub>2</sub> como oxidante das moléculas orgânicas é a respiração celular.
- b) lipídios representam o combustível preferido das células, mas na falta deste composto as células utilizam glicose ou até mesmo proteínas como fonte de energia.
- c) elétrons H<sup>+</sup> são capturados durante a glicólise e o ciclo de Krebs para a produção do ácido cítrico, que representa a molécula inicial no processo de respiração.
- d) no organismo humano, a fibra muscular estriada pode realizar o processo de fermentação, que é um processo anaeróbio de produção de ATP.
- e) a fonte imediata que permite a síntese de ATP na fosforilação oxidativa é a transferência de fosfatos de alta energia provenientes do ciclo de Krebs.



08. (MODELO ENEM) A respiração celular pode ser dividida em 3 etapas (glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória) enquanto que a fotossíntese pode ser dividida em 2 etapas (fase clara e ciclo de calvin).

Qual das alternativas a seguir está com relação ao ciclo de Krebs (ciclo do ácido cítrico) e ao ciclo de Calvin (fases escuras)?

- a) Ambos produzem ATP e NADH.
- b) Ambos são capazes de produzir oxigênio.
- c) Ambos ocorrem no citoplasma celular.
- d) Ambos necessitam de NADH em suas reações enzimáticas.
- e) Ambos utilizam enzimas localizadas na matriz de organelas.



**09. (MODELO ENEM) Sabe-se que um indivíduo da espécie humana não pode ficar sem realizar respiração sistêmica por muito tempo, sob pena de sofrer lesões cerebrais. Assinale a alternativa que descreve corretamente o processo metabólico celular que ocorre neste caso.**

- a) Na ausência de oxigênio molecular, as células iniciam um processo não fermentativo de respiração aeróbica.
- b) O gás carbônico produzido na respiração se acumula provocando diminuição do pH celular.
- c) O oxigênio molecular é consumido, e sua diminuição causa aumento do pH celular.
- d) O oxigênio molecular começa a se transformar em ácido carbônico, diminuindo o pH celular.
- e) Na ausência de oxigênio molecular, a célula passa a fazer digestão aeróbica para gerar energia.



**10. (MODELO ENEM) A produção de adenosina trifosfato (ATP) nas células eucarióticas animais acontece, essencialmente, nas cristas mitocondriais, em função de uma cadeia de proteínas transportadoras de elétrons, a cadeia respiratória. O número de moléculas de ATP produzidas nas mitocôndrias é diretamente proporcional ao número de moléculas de:**

- a) glicose e gás oxigênio que atravessam as membranas mitocondriais.
- b) gás oxigênio consumido no ciclo de Krebs, etapa anterior à cadeia respiratória.
- c) glicose oxidada no citoplasma celular, na etapa da glicólise.
- d) gás carbônico produzido na cadeia transportadora de elétrons.
- e) água produzida a partir do consumo de gás oxigênio.



## GABARITOS

### QUESTÃO 01: Gabarito: [A]

#### Comentário:

[II] e [IV] estão incorretas, pois o Ciclo de Krebs ocorre, exclusivamente, na matriz das mitocôndrias em células eucarióticas e no citoplasma de células procarióticas.

### QUESTÃO 02: Gabarito: [B]

**Comentário:** A glicólise é um processo que ocorre no hialoplasma da célula, enquanto os processos denominados ciclo de Krebs e cadeia respiratória são realizados no interior da mitocôndria.

### QUESTÃO 03: Gabarito: [B]

**Comentário:** A respiração celular tem lugar nas mitocôndrias. No entanto, das três etapas em que geralmente divide-se todo o processo, a primeira delas (etapa I do esquema) dá-se no citoplasma e denomina-se glicólise. Essa consiste numa série de reações nas quais uma molécula de glicose (6 carbonos) é convertida em duas de piruvato (3 carbonos), existindo o consumo de duas moléculas de ATP e a formação de quatro.

### Questão 04: Gabarito: [A]

### Questão 05: Gabarito: [B]

**Comentário:** A respiração é um processo que utiliza o gás oxigênio como acceptor final. Dividida em três fases: Glicólise, Ciclo de Krebs e Cadeia Respiratória. Portanto, são processos aeróbios. A glicólise pode ser considerada anaeróbia, mas são reações de fermentação.

### Questão 06: Gabarito: [C]

**Comentário:** Na cadeia respiratória, os rendimentos energéticos do NADH e do FADH são, respectivamente, 3 e 2 ATPs. Dessa forma, o rendimento total será de  $2\text{NADH} = 6\text{ ATP} + 1\text{FADH} = 2\text{ ATP} + 1\text{GTP} (1\text{ATP}) = 9\text{ ATPs}$ .

### Questão 07: Gabarito: [D]

**Comentário:** O tecido muscular estriado esquelético, que é preso à musculatura, realiza o processo de fermentação, processo que não utiliza o gás oxigênio para a produção de ATP quando este gás se encontra em disponibilidade baixa para a realização do processo de respiração celular. Tanto na fermentação como na respiração celular o combustível utilizado é a glicose. O processo inicial para a respiração é a quebra da glicose em duas moléculas de ácido pirúvico, que libera uma pequena parte do ATP produzido na respiração celular..

### Questão 08: Gabarito: [E]

**Comentário:** O ciclo de Krebs é a etapa da respiração celular aeróbia que ocorre na matriz mitocondrial e se inicia com uma reação entre o ácido pirúvico produzido na glicólise e a coenzima A (CoA). Nessa reação é produzida uma molécula de acetilcoenzima A e uma molécula de gás carbônico. Seguem-se então uma série de nove reações subsequentes para que, ao final delas, a CoA seja

recuperada intacta para participar novamente do ciclo. O ciclo de Calvin-Benson é a fase escura (não necessita de luz) da fotossíntese e ocorre no estroma do cloroplasto. É nessa fase que o dióxido de carbono combina-se com o bifosfato de rubulose (RuBP), formando 2 moléculas de 3-fosfoglicerato (carboidrato com três carbonos). Essa reação é catalizada pela enzima rubisco presente na matriz do cloroplasto.

### Questão 09: Gabarito:[B]

**Comentário:** Durante a respiração sistêmica, ocorre consumo de  $O_2$  e liberação de  $CO_2$  produzido durante a respiração celular. Caso haja interrupção da respiração sistêmica por algum tempo, o  $CO_2$  acumula-se e transforma-se em ácido carbônico, diminuindo o pH celular. Quando ocorre falta de oxigênio, a célula começa a realizar um processo de fermentação anaeróbica, produzindo ácido láctico.

### Questão 10: Gabarito: [E]

**Comentário:** O número de moléculas de ATP produzidas nas mitocôndrias é diretamente proporcional ao número de moléculas de água produzida a partir da reação de prótons ( $H^+$ ) com o oxigênio consumido na respiração celular aeróbica.

## REFERENCIAL TEÓRICO

ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS; WALTER, P.; Fundamentos da Biologia Celular. Porto Alegre: Artmed, 3ed. 2011.

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

ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS; WALTER, P.; Biologia Molecular da Célula. Porto Alegre: Artmed, 5ed. 2008.

COOPER G.M. & HAUSMAN R.E. A Célula: uma abordagem molecular. 3ed. Porto Alegre, Artmed, 2007.

JUNQUEIRA L.C.U., CARNEIRO J. Biologia Celular e Molecular. 6ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2005.

JUNIOR, C.S.; SASSON, S.; JUNIOR, N.C. Biologia VOL 1 – 9º Ed. São Paulo, Saraiva, 2010.

JUNIOR, C.S.; SASSON, S.; JUNIOR, N.C. Biologia VOL 2 – 9º Ed. São Paulo, Saraiva, 2010

LOPES, S.; ROSSO, S.; BIO volume 2. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 1: Biologia das Células 2. Ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 1: Biologia das Células 2. Ed. São Paulo: Moderna, 2010.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 2: Biologia dos Organismos 3. Ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 2: Biologia dos Organismos 3. Ed. São Paulo: Moderna, 2010.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F.; Biologia,