

A low-angle, close-up photograph of a person's legs running on a paved road. The person is wearing grey socks and black and grey running shoes. The road has a yellow dashed line in the center. The background shows a sunset or sunrise with a cloudy sky and distant hills. The overall mood is energetic and focused.

# BIOQUÍMICA METABÓLICA

## EM QUADROS E FLUXOGRAMAS

Renato Massaharu Hassunuma • Patrícia Carvalho Garcia • Sandra Heloísa Nunes Messias

canal6 editora

A photograph of a person's legs running on a paved road. The person is wearing grey athletic shoes and white socks. The road has a yellow dashed line down the center. The background shows a hazy, sunset or sunrise sky over a landscape with low hills.

# BIOQUÍMICA METABÓLICA

## EM QUADROS E FLUXOGRAMAS

Prof. Dr. Renato Massaharu Hassunuma  
*Professor Titular do Curso de Biomedicina da  
Universidade Paulista – UNIP, Câmpus Bauru*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Carvalho Garcia  
*Coordenadora Auxiliar do Curso de Biomedicina da  
Universidade Paulista – UNIP, Câmpus Bauru*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sandra Heloísa Nunes Messias  
*Coordenadora Geral do Curso de Biomedicina da  
Universidade Paulista – UNIP*

1<sup>a</sup> Edição / 2025  
Bauru, SP

© Renato Massaharu Hassunuma.

**Conselho Editorial**

BIOMÉDICO ESP. FELIPE PIRES DE CAMPOS AVERSA

*Especialista em Inovações Diagnósticas e Terapêuticas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/Botucatu*

ENF. ESP. FÁBIO APARECIDO DA SILVA

*Especialista em Enfermagem em UTI Neonatal e em Ginecologia e Obstetrícia pela Faculdade de São Marcos – FACSM.*

**Capa e Design**

PROF. DR. RENATO MASSAHARU HASSUNUMA

**Créditos da foto da capa, folha de rosto, páginas capitulares e contracapa**

Fonte: Kinkate A. Low angle photography man walking on asphalt road [Internet]. 2017 May 24 [acesso 15 jan 2025]. Disponível em: <https://www.pexels.com/photo/low-angle-photography-man-walking-on-asphalt-road-421160/>. Figura registrada como: *Free to use. Attribution is not required.*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (CIP)  
(BENITEZ Catalogação Ass. Editorial, MS, Brasil)

---

H353b Hassunuma, Renato Massaharu  
1.ed. Bioquímica metabólica em quadros e fluxogramas [livro eletrônico] /  
Renato Massaharu Hassunuma, Patrícia Carvalho Garcia, Sandra Heloísa  
Nunes Messias. – 1ª ed. – Bauru, SP : Canal 6, 2025.  
PDF.

Bibliografia.

ISBN 978-85-7917-680-7

DOI 10.52050/9788579176807

1. Bioquímica. 2. Metabolismo. I. Garcia, Patrícia Carvalho. II.  
Messias, Sandra Heloísa Nunes. III. Título.

02-2025/12

CDD 572

---

Índice para catálogo sistemático:

1. Bioquímica 572

Aline Grazielle Benitez – Bibliotecária - CRB-1/3129

## Lista de abreviaturas e símbolos

 : reação irreversível

 : reação reversível

 : linha tracejada preta ou vermelha indica representação simplificada de uma reação

⊕ : enzima regulatória ou marcapasso

[ ]: concentração

(-): ação inibitória

(+): ação ativadora

(e<sup>-</sup>): elétron

(número): número de moléculas consideradas

Acil-CoA: acil-coenzima A

ACP: proteína transportadora de acila

ADP: adenosina difosfato

Ala: alanina

AMP: adenosina monofosfato

AMPc: adenosina monofosfato cíclico

Arg: arginina

Asn: asparagina

Asp: aspartato ou ácido aspártico

ATP: adenosina trifosfato

b: citocromo b

b heme b<sub>L</sub>: grupo heme b<sub>L</sub> do citocromo b

b heme b<sub>H</sub>: grupo heme b<sub>H</sub> do citocromo b

c: citocromo c

c<sub>1</sub>: citocromo c<sub>1</sub>

Ca<sup>2+</sup>: íon cálcio

Cis: cisteína

CMP: monofosfato de citidina

CO: monóxido de carbono

CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono

CoA: coenzima A

Cu<sub>A</sub>/Cu<sub>A</sub>: centro cobre A-cobre A

dTMP: monofosfato de timidina

E1: malonil/acetil-CoA-ACP transferase

E1, E2 e E3: enzimas citossólicas que participam da degradação intracelular de proteínas

E2: β-cetoacil-ACP sintase

E3: β-cetoacil-ACP redutase

E4: β-hidroxiacil-ACP desidratase

E5: enoil-ACP redutase

E6: tioesterase

FAD: flavina adenina dinucleotídeo no estado oxidado

FADH<sub>2</sub>: flavina adenina dinucleotídeo no estado reduzido

Fe<sup>2+</sup>: íon ferro

Fe-S: centro ferro enxofre

Fe<sup>2+</sup>-S: centro ferro enxofre no estado reduzido

Fe<sup>3+</sup>-S: centro ferro enxofre no estado oxidado

Fen: fenilalanina

FMN: flavina mononucleotídeo no estado oxidado

FMNH<sub>2</sub>: flavina mononucleotídeo no estado reduzido

GDP: guanosina difosfato

Gli: glicina

Gln: glutamina

Glu: glutamato ou ácido glutâmico

GMP: monofosfato de guanosina

GTP: guanosina trifosfato

H<sup>+</sup>: íon hidrogênio  
H<sub>2</sub>O: água  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: peróxido de hidrogênio  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: íon bicarbonato  
heme a: grupo heme a  
heme a<sub>3</sub>-Cu<sub>B</sub>: grupo heme a<sub>3</sub>-cobre B  
HS-CoA: coenzima A, sendo que esta abreviatura destaca o grupamento tiol (-SH)  
HDL: lipoproteína de alta densidade (colesterol bom)  
His: histidina  
HMG-CoA: 3-hidroxi-3-metilglutaril-coenzima A  
IDL: lipoproteína de densidade intermediária  
Ile: isoleucina  
IMP: monofosfato de inosina  
LDL: lipoproteína de baixa densidade (colesterol ruim)  
Leu: leucina  
Lis: lisina  
Met: metionina  
Mg<sup>2+</sup>: íon magnésio  
NAD<sup>+</sup>: nicotinamida adenina dinucleotídeo no estado oxidado  
NADH: nicotinamida adenina dinucleotídeo no estado reduzido  
NADP<sup>+</sup>: nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato no estado oxidado  
NADPH: nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato no estado reduzido  
NDP: ADP ou GDP  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: íon amônio  
NTP: ATP ou GTP  
O<sub>2</sub>: dióxigênio  
Pi: fosfato inorgânico  
PPi: pirofosfato

Pro: prolina  
PRPP: fosforribosil-pirofosfato  
PTH: paratormônio  
Q: coenzima Q no estado oxidado  
QH<sub>2</sub>: coenzima Q no estado reduzido  
RNA: ácido ribonucleico  
Ser: serina  
T3 e T4: hormônios tireoidianos  
Tir: tirosina  
Tre: treonina  
Trp: triptofano  
UMP: monofosfato de uridina  
UV: ultravioleta  
Val: valina  
VLDL: lipoproteína de muito baixa densidade  
XMP: monofosfato de xantosina

## **Agradecimentos**

Agradecemos as valiosas contribuições na revisão deste material realizadas pelo **Biomédico Esp. Felipe Pires de Campos Aversa e o Enf. Esp. Fábio Aparecido da Silva.**

*Prof. Dr. Renato Massaharu Hassunuma,  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Carvalho Garcia e  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sandra Heloísa Nunes Messias.*

## **Apresentação**

Este livro foi desenvolvido com o objetivo de ensinar e revisar conceitos de Bioquímica Metabólica por meio de quadros e fluxogramas. O material revisita conteúdos apresentados anteriormente nos livros Metabolismo dos Carboidratos, Metabolismo dos Lipídios, Metabolismo das Proteínas e Metabolismo dos Ácidos Nucleicos. Informamos também que este livro pode ser complementado com o Dicionário Visual de Bioquímica Estrutural, onde estão apresentadas as estruturas bioquímicas de diferentes compostos químicos mencionados nesta obra.

Todos estes livros mencionados foram publicados pela Canal 6 Editora e estão disponíveis para download gratuito no site da editora.

Vale mencionar também que esta publicação é uma produção científica do **GP15 - Grupo de Pesquisa em Informática em Saúde**. Para mais informações sobre o GP15, acesse o Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil Lattes/CNPq, disponível no *link*: <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/5285181734512763>.

*Prof. Dr. Renato Massaharu Hassunuma.*

## Sumário

### Parte I: Metabolismo dos carboidratos

1. Digestão do amido .....	12
2. Digestão de dissacarídeos .....	13
3. Glicólise .....	14
4. Descarboxilação oxidativa .....	15
5. Ciclo do ácido cítrico, dos ácidos tricarboxílicos ou de Krebs .....	16
6. Cadeia respiratória ou transportadora de elétrons .....	17
7. Fosforilação oxidativa .....	18
8. Glicólise anaeróbica ou fermentação .....	19
8.1 Fermentação láctica .....	19
8.2 Fermentação alcoólica .....	19
8.3 Fermentação acética .....	19
9. Via das pentoses fosfato .....	20
10. Glicogenólise .....	21
11. Glicogênese ou glicogenogênese .....	22
12. Gliconeogênese .....	23
13. Via glicose-lactato-glicose ou ciclo de Cori .....	24
14. Glicogenoses ou doenças de armazenamento do glicogênio .....	25
Referências e sugestões de leitura .....	26

### Parte II: Metabolismo dos lipídios

1. Digestão dos lipídios .....	31
2. Distribuição dos lipídios I .....	32
3. Distribuição dos lipídios II .....	33
4. Lipólise dos triacilgliceróis .....	34
5. Lipólise dos ácidos graxos saturados I .....	35
6. Lipólise dos ácidos graxos saturados II: via da beta-oxidação ou ciclo de Lynen .....	36
7. Lipólise dos ácidos graxos insaturados .....	37

8. Cetogênese .....	38
9. Via de utilização dos corpos cetônicos .....	39
10. Lipogênese .....	40
11. Síntese de glicerol 3-fosfato .....	41
12. Síntese de triacilgliceróis .....	42
13. Colesterogênese .....	43
14. Ciclo do ácido araquidônico .....	44
Referências e sugestões de leitura .....	45

### Parte III: Metabolismo das proteínas

1. Código genético .....	48
2. Digestão das proteínas .....	49
3. Proteólise intracelular via ubiquitina-proteossomos .....	50
4. Degradação dos aminoácidos I: remoção do grupo amino .....	51
5. Transporte do glutamato e íon amônio .....	52
6. Ciclo da ureia, da ornitina ou de Krebs-Henseleit .....	53
7. Degradação dos aminoácidos II: degradação da cadeia carbônica .....	54
8. Síntese de creatina e fosfocreatina .....	55
9. Síntese do grupo heme I: síntese do $\delta$ -aminolevulinato .....	56
10. Síntese do grupo heme II .....	57
11. Degradação do grupo heme .....	58
12. Doenças associadas ao metabolismo do grupo heme .....	59
13. Classificação das icterícias .....	60
Referências e sugestões de leitura .....	61

### Parte IV: Metabolismo dos ácidos nucleicos

1. Digestão dos ácidos nucleicos .....	64
2. Via de novo das purinas I: síntese do IMP .....	65

3. Via de novo das purinas II .....	66
4. Via de recuperação ou de salvamento das purinas .....	67
5. Via de novo das pirimidinas .....	68
6. Síntese de desoxirribonucleotídeos .....	69
7. Degradação de purinas .....	70
8. Degradação de pirimidinas .....	71
Referências e sugestões de leitura .....	72

**Parte V: Vitaminas e minerais**

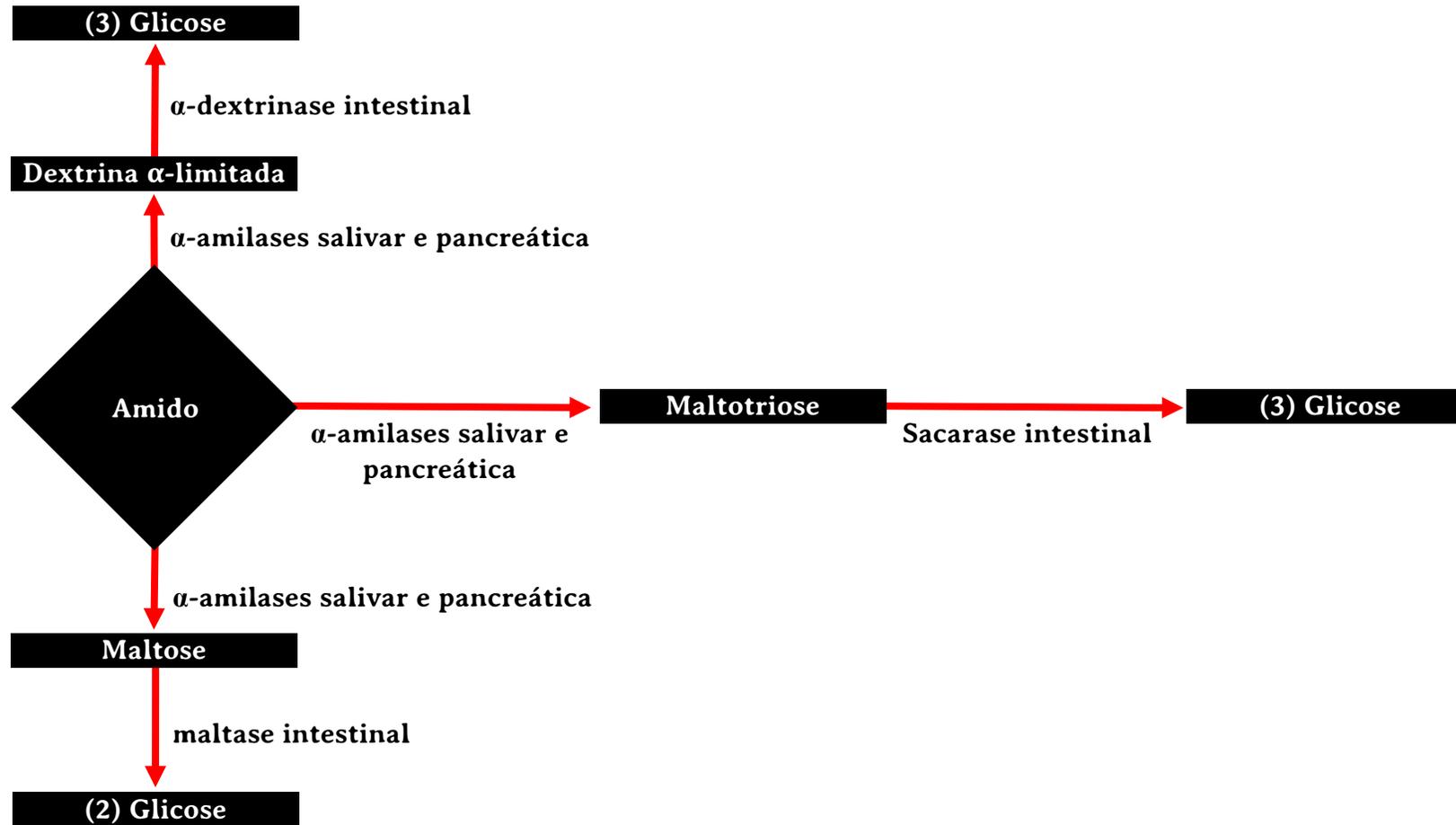
1. Vitaminas lipossolúveis .....	74
2. Síntese da forma ativa da vitamina D .....	75
3. Vitaminas hidrossolúveis I .....	76
4. Vitaminas hidrossolúveis II .....	77
5. Macrominerais .....	78
6. Microminerais .....	79
Referências e sugestões de leitura .....	80

A low-angle, rear-view shot of a person's legs running on a paved road. The runner is wearing grey socks and black and white running shoes. The road has a yellow dashed line down the center. The background shows a sunset sky with soft, golden light and distant hills. A dark grey horizontal band is overlaid on the left side of the image, containing the title text.

PARTE I  
METABOLISMO DOS  
CARBOIDRATOS

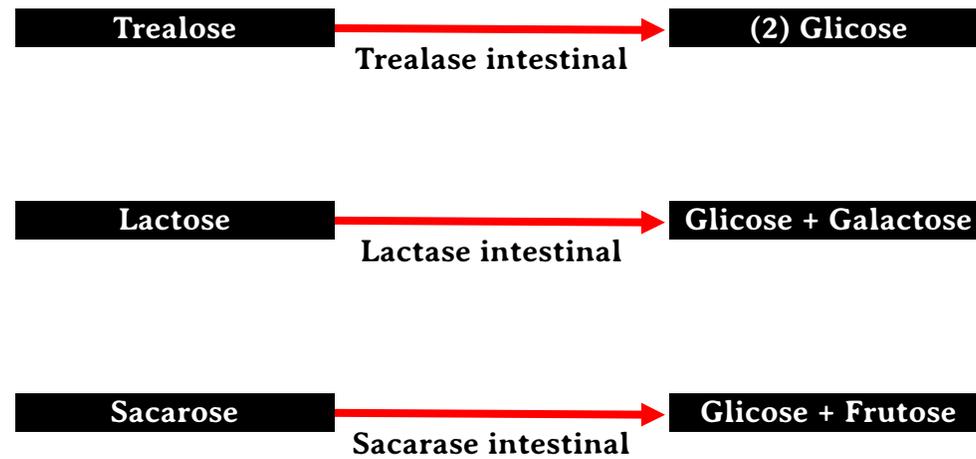
**1. Digestão do amido**

**Local onde ocorre:** interior do tubo digestório



## 2. Digestão de dissacarídeos

**Local onde ocorre:** interior do tubo digestório

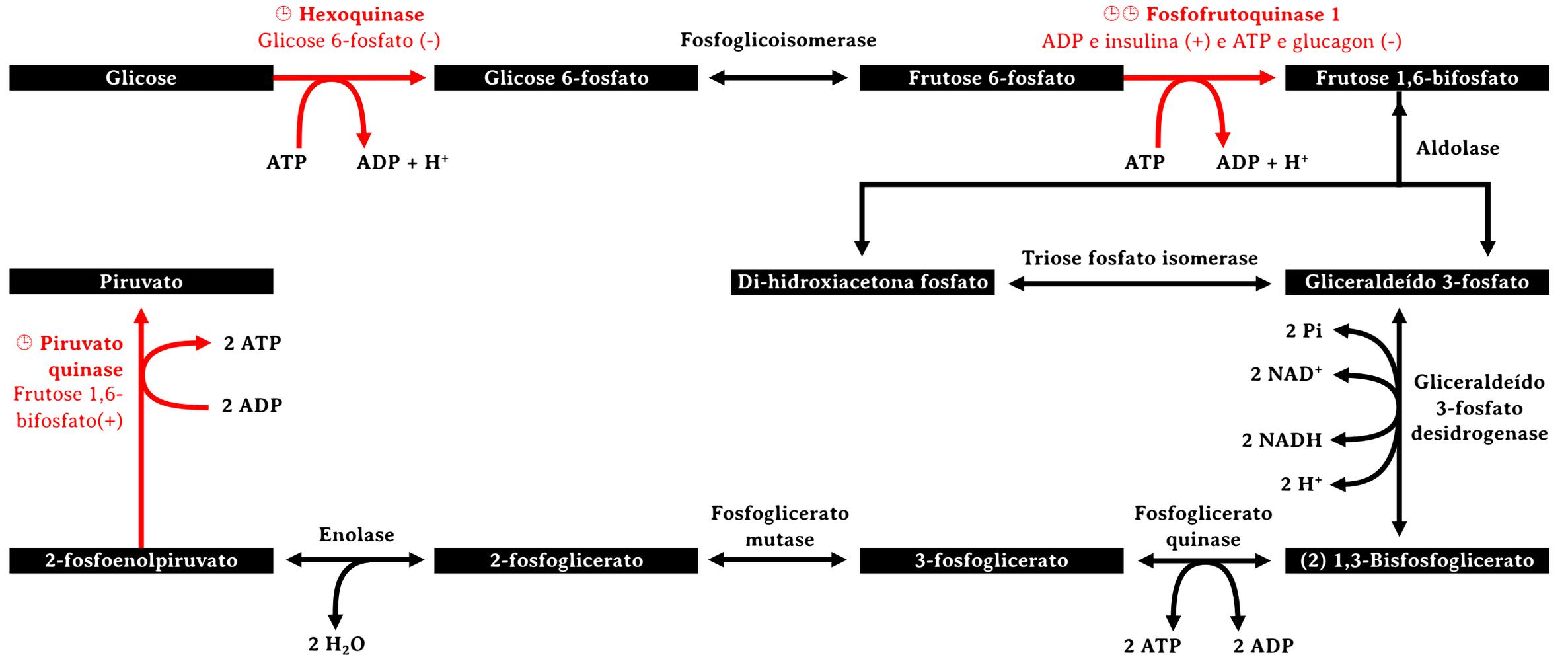


### 3. Glicólise

Local onde ocorre: citosol

Equação geral:  $\text{Glicose} + 2 \text{ ADP} + 2 \text{ Pi} + 2 \text{ NAD}^+ \rightarrow 2 \text{ Piruvato} + 2 \text{ ATP} + 2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ NADH} + 2 \text{ H}^+$

Rendimento energético: 2 ATP + 2 NADH

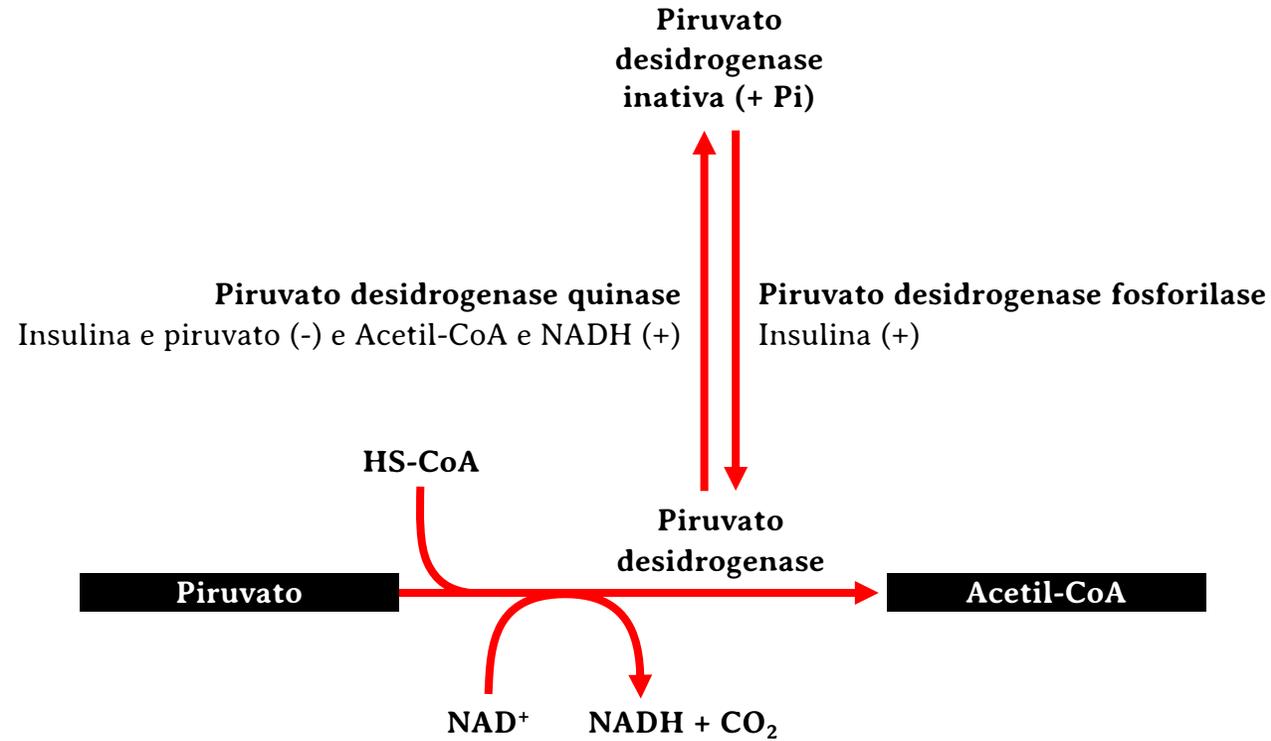


**4. Descarboxilação oxidativa**

**Local onde ocorre:** início no citosol e término na matriz mitocondrial.

**Equação geral:** Piruvato + CoA + NAD<sup>+</sup> → Acetil-CoA + NADH + CO<sub>2</sub>

**Rendimento energético:** 1 NADH

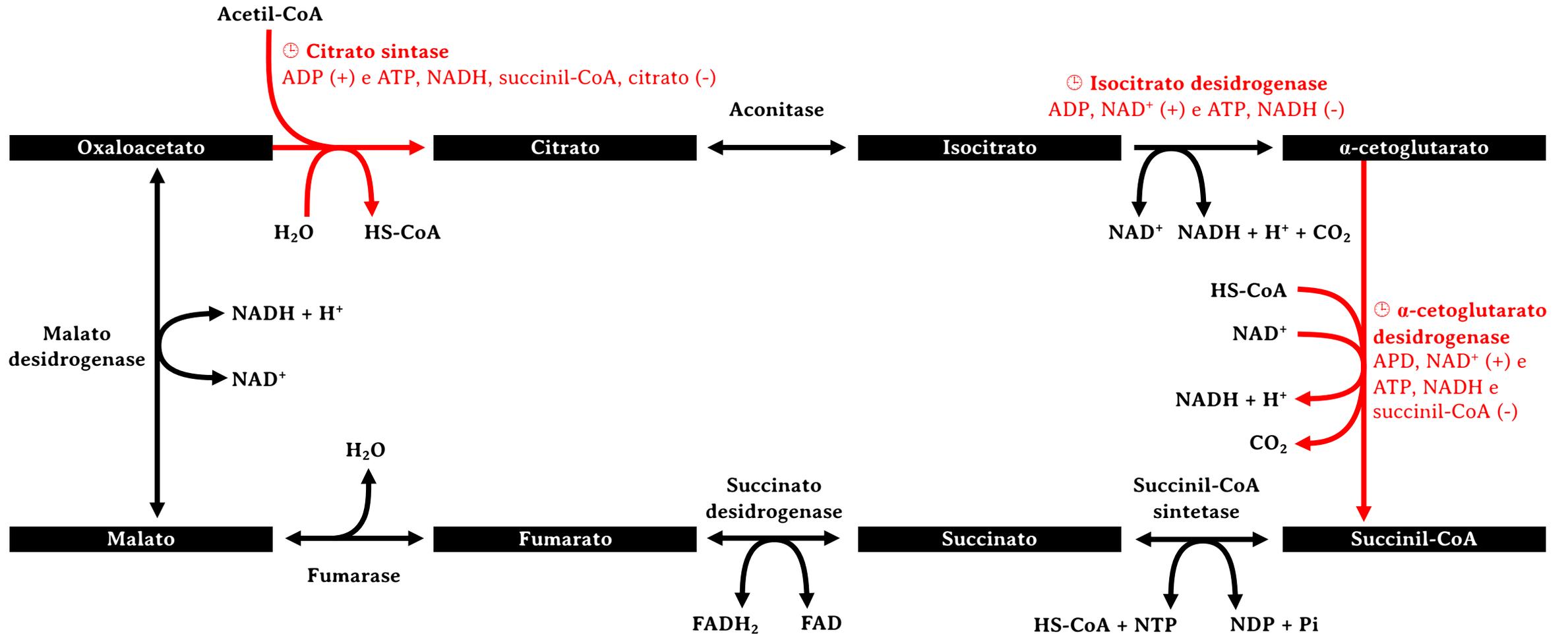


**5. Ciclo do ácido cítrico, dos ácidos tricarboxílicos ou de Krebs**

**Local onde ocorre:** matriz mitocondrial

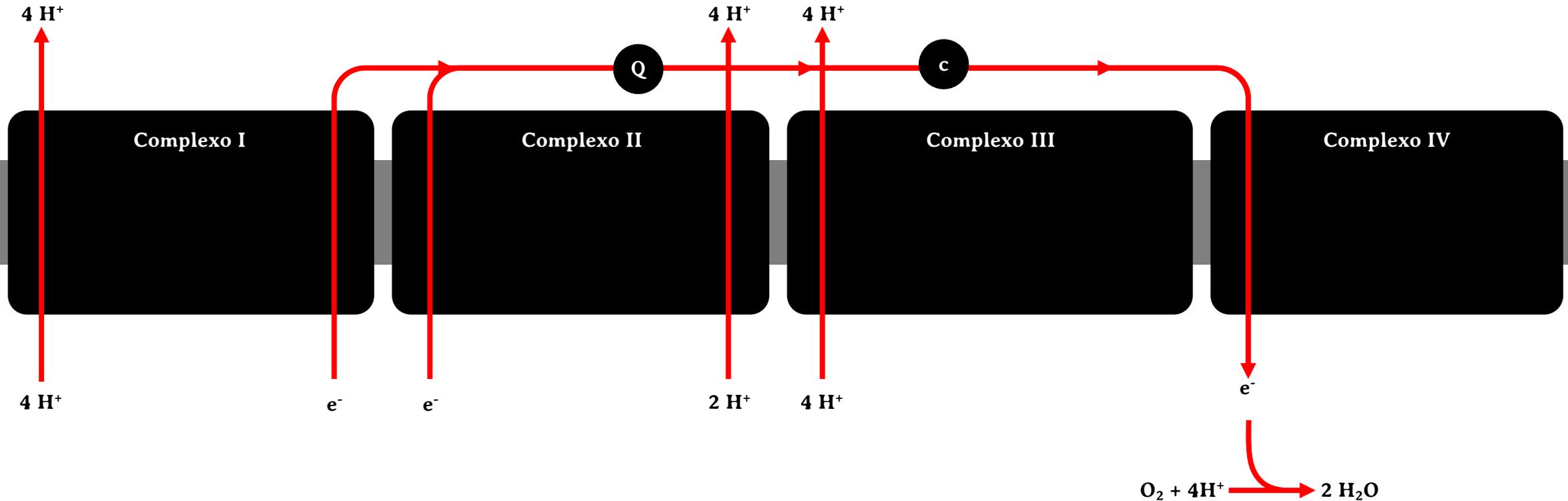
**Equação geral:**  $\text{Acetil-CoA} + 3 \text{NAD}^+ + \text{FAD} + \text{NDP (ADP ou GDP)} + \text{Pi} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CoA} + 3 \text{NADH} + 3 \text{H}^+ + \text{FADH}_2 + \text{NTP (ATP ou GTP)} + 2 \text{CO}_2$

**Rendimento energético:**  $2 \text{NTP} + 6 \text{NADH} + 2 \text{FADH}_2$

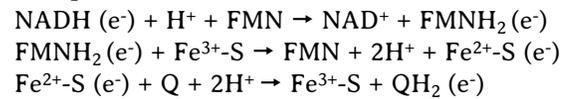


**6. Cadeia respiratória ou transportadora de elétrons**

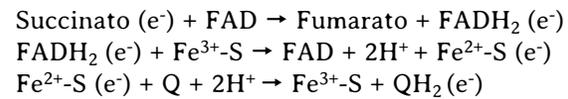
**Local onde ocorre:** membrana mitocondrial interna



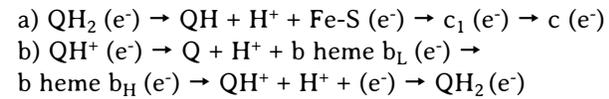
**Complexo I:**



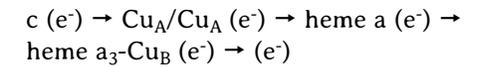
**Complexo II:**



**Complexo III:**



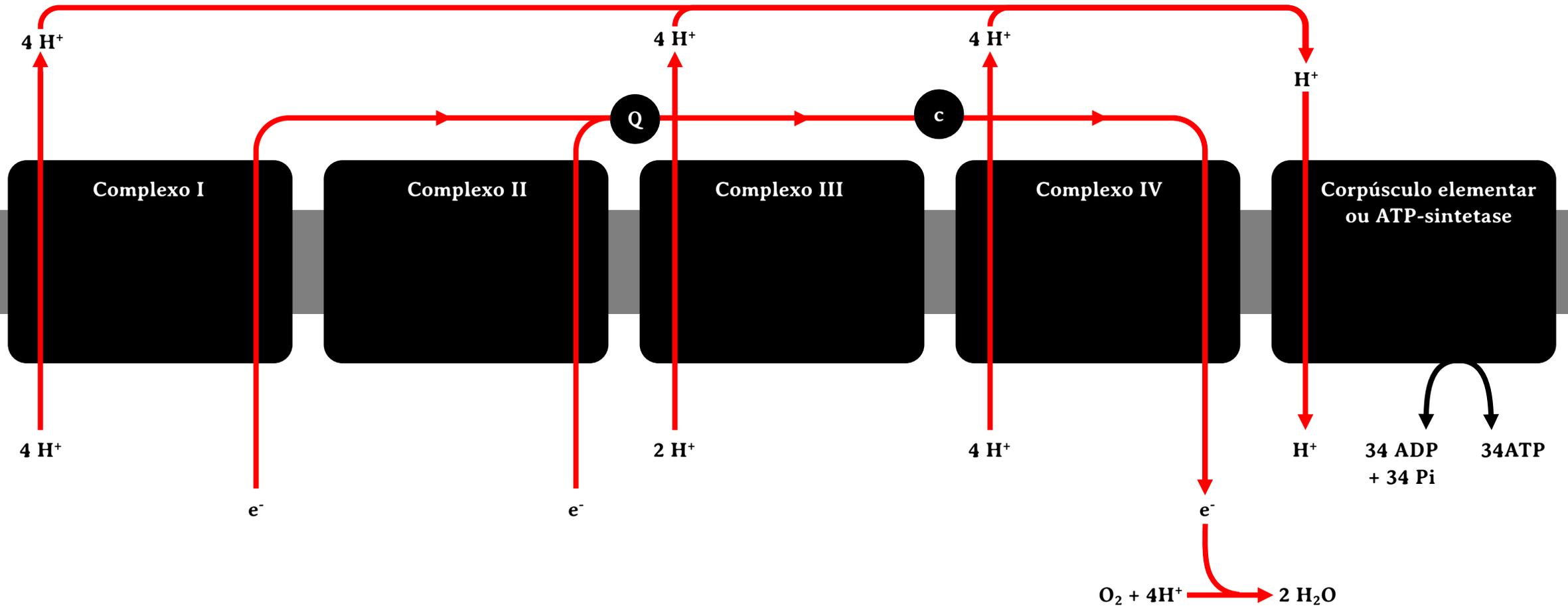
**Complexo IV:**



**7. Fosforilação oxidativa**

**Local onde ocorre:** membrana mitocondrial interna

**Rendimento energético:** 34 ATP

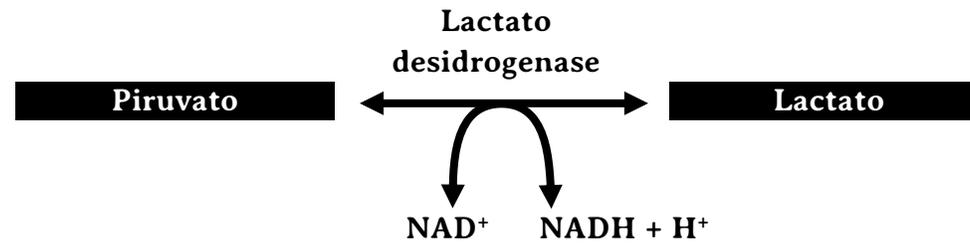


## 8. Glicólise anaeróbica ou fermentação

**Conceito:** via alternativa de utilização do piruvato

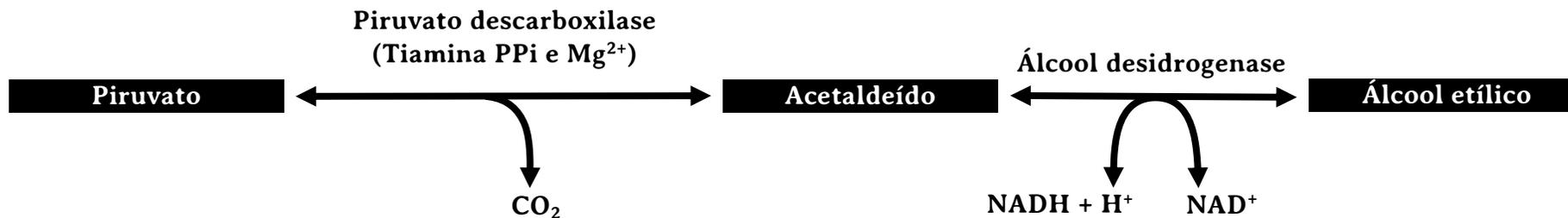
### 8.1. Fermentação láctica

**Local onde ocorre:** algumas espécies de bactérias, hemácias, células musculares em condições de oxigenação insuficiente e na produção de alguns tipos de derivados do leite



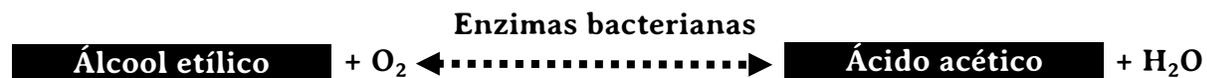
### 8.2 Fermentação alcoólica

**Local onde ocorre:** em alguns tipos de bactérias e leveduras, bem como na produção de pães e vinhos



### 8.3 Fermentação acética

**Local onde ocorre:** em acetobactérias da família *Pseudomonocae*, bem como na produção de vinagre e ácido acético industrial; e na fermentação intestinal que ocorre em indivíduos com intolerância à lactose



**9. Via das pentoses fosfato**

**Conceito:** via alternativa da oxidação da glicose, que ocorre em situações de altos índices glicêmicos. Ocorre a produção de NADPH utilizada na síntese de ácidos graxos e esteroides

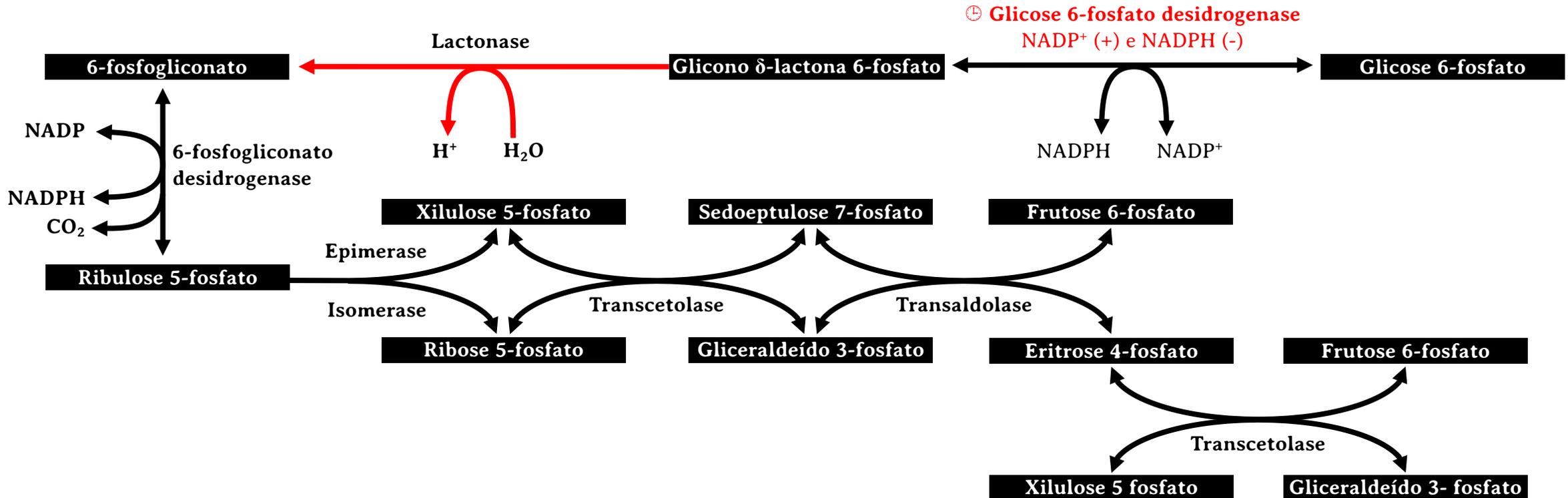
**Local onde ocorre:** citosol

**Fases da via:** fase oxidativa (da glicose 6-fosfato até a ribulose 5-fosfato) e não oxidativa (a partir da ribulose 5-fosfato)

**Equação geral:** Glicose 6-fosfato + 2 NADP<sup>+</sup> + H<sub>2</sub>O → Ribose 5-fosfato + 2 NADPH + CO<sub>2</sub> + H<sup>+</sup>

**Rendimento energético:** 2 NADPH

**Produto principal:** ribose 5-fosfato, que corresponde à pentose do RNA e de coenzimas como NAD, NADP, FAD, FMN, HS-CoA, ATP, GTP



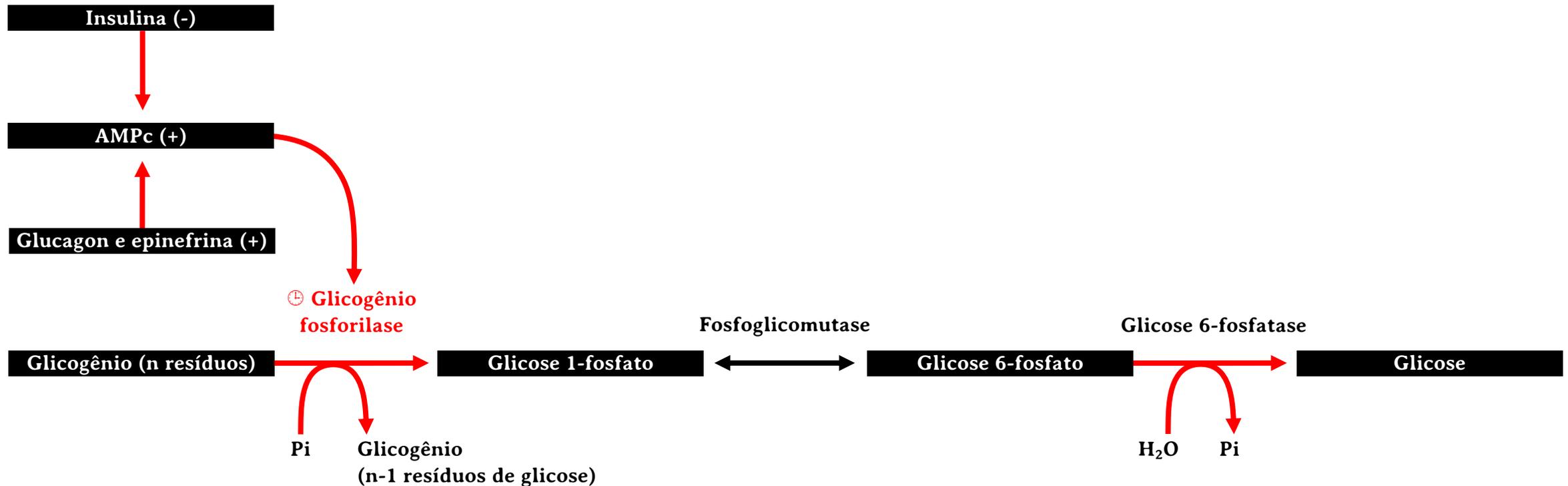
### 10. Glicogenólise

**Conceito:** degradação do glicogênio

**Local onde ocorre:** citosol de células hepáticas (manutenção da glicemia) e de células musculares (provimento de energia)

**Equação geral:** Glicogênio (n resíduos de glicose) → Glicogênio (n-1 resíduos de glicose) + Glicose

**Desramificação:** ocorre pela ação das enzimas glicosiltransferase (que remove os últimos 2º, 3º e 4º resíduos de uma ramificação) e α-1,6 glicosidase (remove o último resíduo de uma ramificação). Estas enzimas não estão representadas no fluxograma abaixo



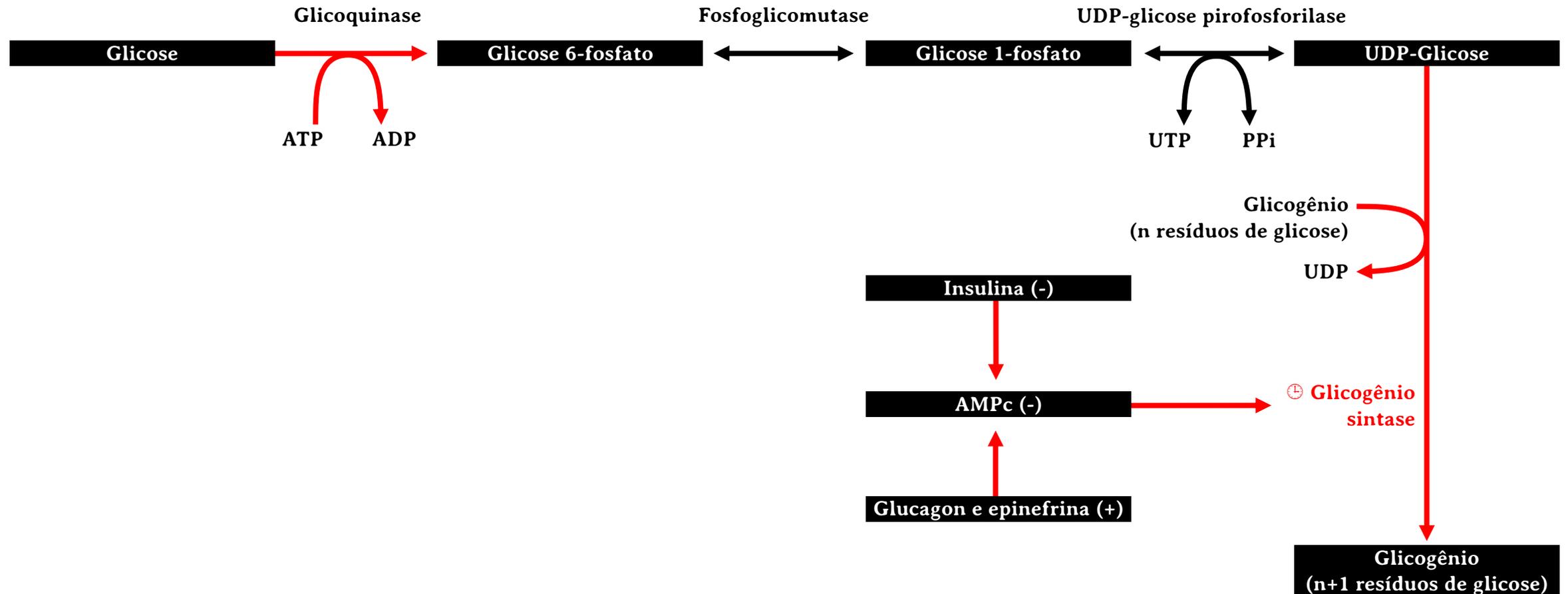
**11. Glicogênese ou glicogenogênese**

**Conceito:** síntese de glicogênio

**Local onde ocorre:** citosol

**Equação geral:** Glicogênio (n resíduos de glicose) + Glicose → Glicogênio (n+1 resíduos de glicose)

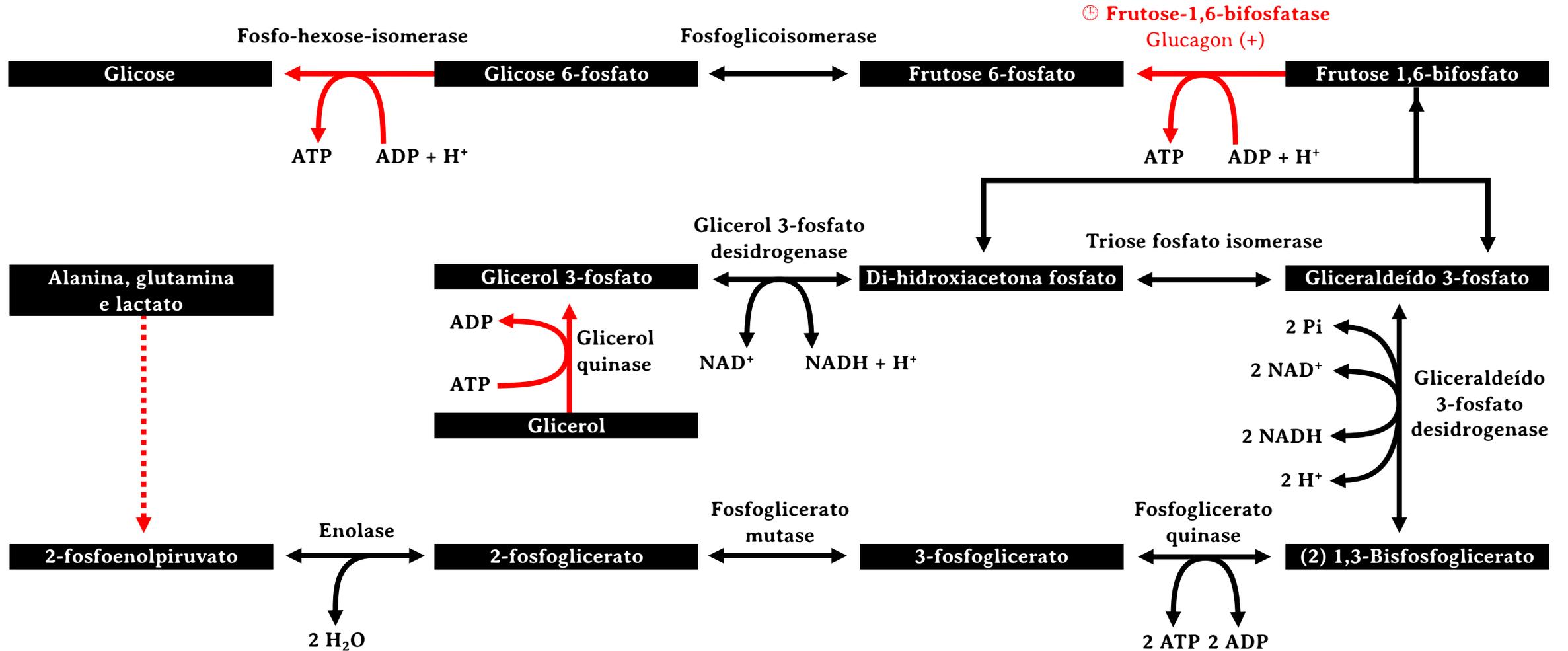
**Ramificação:** ocorre pela ação da enzima ramificadora (que transfere os últimos 6 a 7 resíduos de glicose para uma parte mais interna do glicogênio), sendo que esta não está representada abaixo



### 12. Gliconeogênese

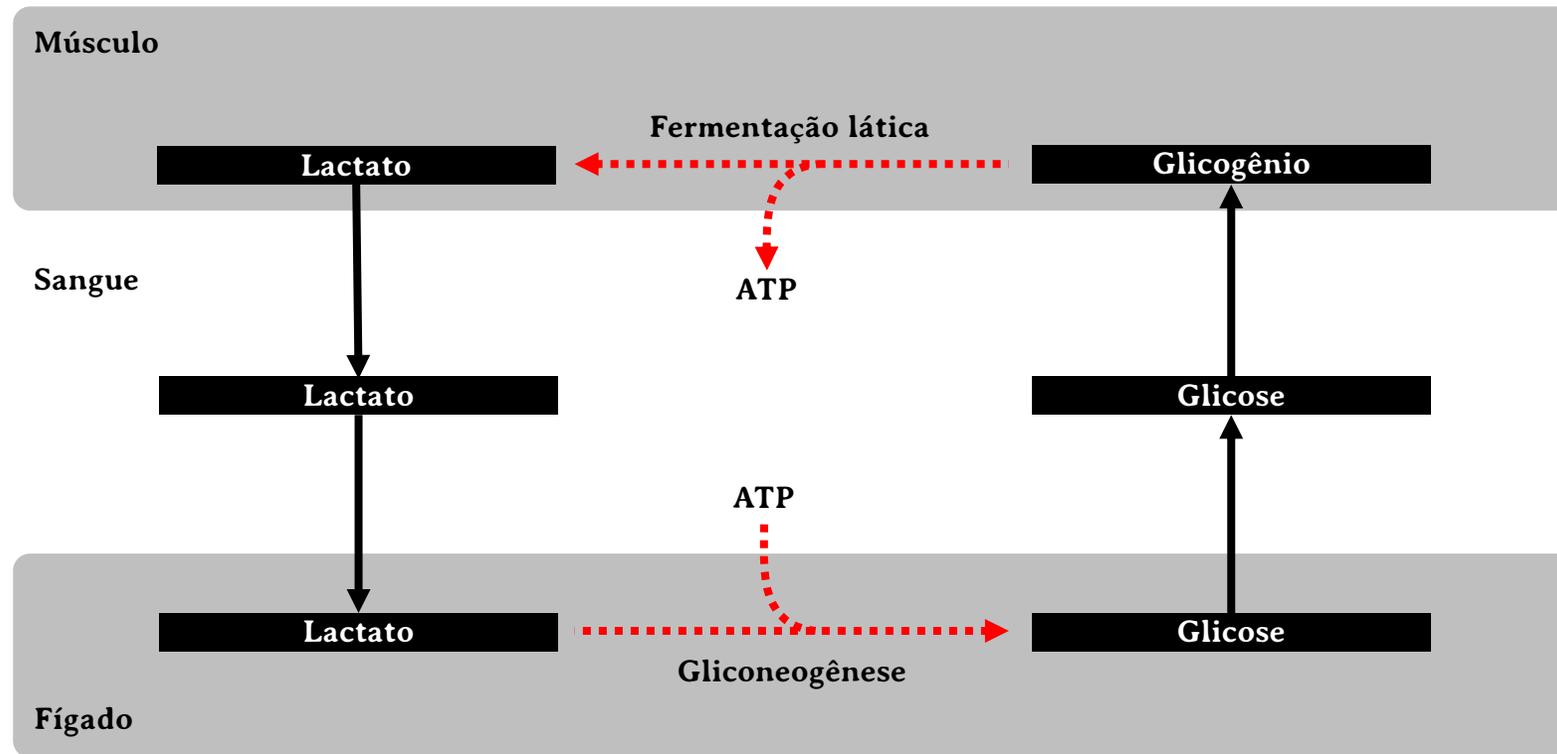
**Conceito:** síntese de glicose a partir de compostos não anglicanos, ou seja, não carboidratos

**Local onde ocorre:** citosol



**13. Via glicose-lactato-glicose ou ciclo de Cori**

**Conceito e locais onde ocorre:** conversão da glicose em lactato, produzido em tecidos musculares durante um período de privação de oxigênio, seguida da conversão do lactato em glicose no fígado



**14. Glicogenoses ou doenças de armazenamento do glicogênio**

**Conceito:** distúrbios do metabolismo de carboidratos que decorrem de defeitos em enzimas envolvidas no metabolismo do glicogênio

Tipo	Doença	Enzima deficiente	Via metabólica envolvida	Consequências
I	Von Gierke	Glicose-6-fosfatase	Glicogenólise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acúmulo de glicogênio hepático</li> <li>• Hepatomegalia</li> <li>• Inabilidade de corrigir a glicemia em jejum</li> </ul>
II	Pompe	$\alpha$ -1,4 glicosidase	Glicogenólise lisossomal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acúmulo de glicogênio generalizado</li> <li>• Insuficiência cardiorrespiratório</li> <li>• Fatal</li> </ul>
III	Cori	Enzima desramificadora	Glicogenólise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acúmulo de glicogênio com ramificações curtas</li> <li>• Hipoglicemia</li> <li>• Hepatomegalia</li> </ul>
IV	Andersen	Enzima ramificadora	Glicogênese	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acúmulo de glicogênio com cadeias longas não ramificadas</li> <li>• Fatal</li> </ul>
V	McArdle	Glicogênio fosforilase muscular	Glicogenólise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acúmulo de glicogênio muscular</li> <li>• Incapacidade de atividades físicas intensas</li> </ul>
VI	Hers	Glicogênio fosforilase hepática	Glicogenólise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semelhantes à I, porém menos intensas</li> </ul>
VII	Tarui	Fosfofrutoquinase-1 muscular e de hemácias	Glicólise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semelhantes à I, além de anemia hemolítica</li> </ul>

**Referências e sugestões de leitura**

- Baynes JW. Armazenamento e síntese de carboidratos no fígado e no músculo. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 13; p. 155-71.
- Baynes JW. Metabolismo anaeróbico da glicose nos eritrócitos. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 12; p. 143-54.
- Baynes JW. Metabolismo oxidativo de lipídios no fígado e no músculo. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 15; p. 185-93.
- Bender DA, Mayes PA. Glicólise e oxidação do piruvato. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 17; p. 168-75.
- Bender DA, Mayes PA. Gliconeogênese e o controle da glicemia. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 19; p. 185-95.
- Bender DA, Mayes PA. Metabolismo do glicogênio. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 18; p. 176-84.
- Bender DA, Mayes PA. O ciclo do ácido cítrico: a via central do metabolismo de carboidratos, de lipídeos e de aminoácidos. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 16; p. 161-7.
- Bender DA, Mayes PA. Via das pentoses-fosfato e outras vias do metabolismo das heoxes. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 20; p. 196-209.
- Campbell MK, Farrell SO. Bioquímica. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning; 2017. Capítulo 17. Glicólise; p. 481-510.
- Campbell MK, Farrell SO. Bioquímica. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning; 2017. Capítulo 18. Mecanismos de armazenamento e controle no metabolismo de carboidratos; p. 511-38.
- Campbell MK, Farrell SO. Bioquímica. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning; 2017. Capítulo 19. Ciclo do ácido cítrico; p. 539-68.

- Campbell MK, Farrell SO. Bioquímica. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning; 2017. Capítulo 20. Transporte de elétrons e fosforilação oxidativa; p. 569-92.
- Campos LS. Entender a Bioquímica. 5ª ed. Lisboa: Escolar Editora; 2009. Capítulo 4. Glúcidos: estruturas e metabolismo. Aspectos da regulação metabólica; p. 241-350.
- Constanzo LS. Fisiologia. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2014. Capítulo 8. Fisiologia gastrointestinal; p. 329-82.
- Goodsell D. Citric acid cycle [Internet]. 2012 [acesso em: 09 set 2023]. Disponível em: <http://pdb101.rcsb.org/motm/154>.
- Goodsell D. Glycolytic enzymes [Internet]. 2004 [acesso em: 09 set 2023]. Disponível em: <http://pdb101.rcsb.org/motm/50>.
- Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 8. Glicólise; p. 91-108.
- Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 9. Ciclo do ácido cítrico; p. 109-16.
- Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 10. Gliconeogênese; p. 117-24.
- Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 11. Metabolismo do glicogênio; p. 125-36.
- Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 13. Via das pentoses-fosfato e NADPH; p. 145-56.
- Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 5. Enzimas; p. 54-81.
- Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 9. Metabolismo de carboidratos: glicólise e formação de acetil-CoA; p. 117-27.
- Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 10. Ciclo de Krebs; p. 128-33.
- Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 11. Cadeia de transporte de elétrons e fosforilação oxidativa; p. 134-60.
- Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 12. Metabolismo de carboidratos: via das pentoses fosfato; p. 161-65.

- Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 13. Metabolismo de carboidratos: glicogênio, amido, sacarose e lactose; p. 166-74.
- Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 14. Gliconeogênese; p. 175-80.
- Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 20. Regulação das vias metabólicas principais; p. 286-310.
- Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 10. Digestão e absorção; p. 145-64.
- Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 11. Metabolismo da glicose; p. 165-90.
- Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 12. Metabolismo do glicogênio e gliconeogênese; p. 191-213.
- Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 13. Ciclo do ácido cítrico; p. 215-28.
- Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 14. Fosforilação oxidativa; p. 229-51.
- Nelson C, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 14. Glicólise, gliconeogênese e a via das pentoses-fosfato; p. 543-85.
- Nelson C, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 16. Ciclo do ácido cítrico; p. 633-65.
- Nelson C, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 19. Fosforilação oxidativa e fotofosforilação; p. 731-46.
- Riegel RE. Bioquímica. 4ª ed. São Leopoldo: Editora Unisinos; 2006. Capítulo 5. Metabolismo dos carboidratos; p. 93-141.
- Rizzon LA. Fermentação acética [Internet]. dez. 2006 [acesso 09 set 2023]. Disponível em:  
<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinagre/SistemaProducaoVinagre/fermentacao.htm>.
- Stillway LW. O ciclo do ácido tricarboxílico. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 14; p. 173-84.
- Voet D, Voet JG. Bioquímica. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2013. Capítulo 17, Glicólise; p. 593-637.

Voet D, Voet JG. Bioquímica. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2013. Capítulo 21, O ciclo do ácido cítrico; p. 789-822.

Voet D, Voet JG. Bioquímica. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2013. Capítulo 22, Transporte de elétrons e fosforilação oxidativa; p. 823-70.

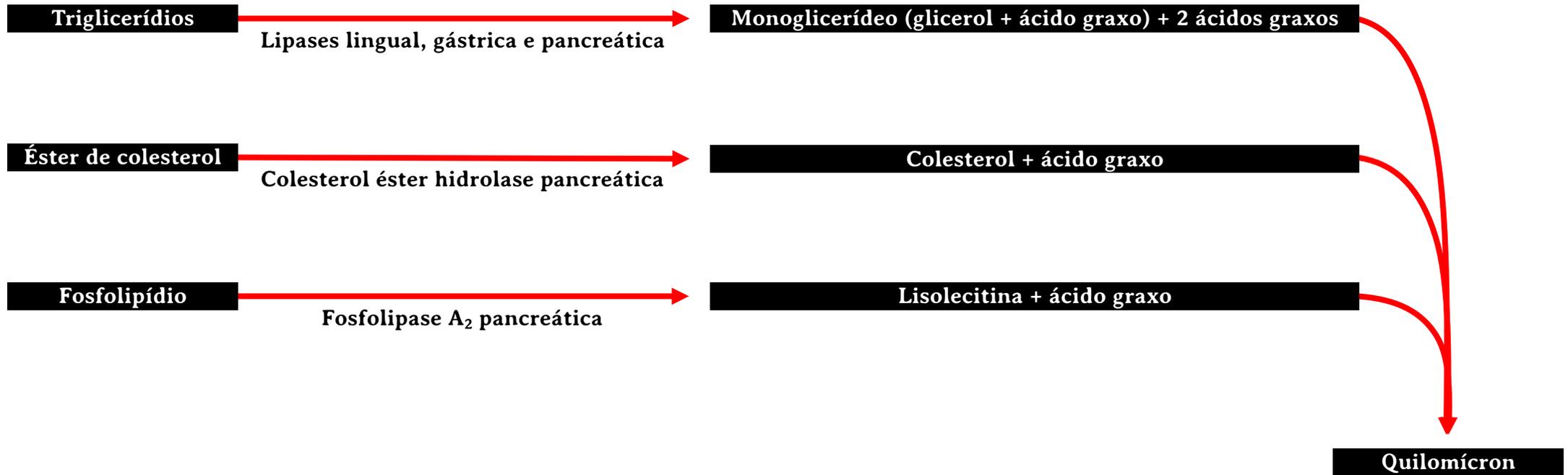
Voet D, Voet JG. Bioquímica. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2013. Capítulo 23, Outras rotas para o metabolismo de carboidratos; p. 871-900.

A low-angle, rear-view shot of a person's legs running on a paved road. The runner is wearing grey socks and black and white running shoes. The road has a yellow dashed line down the center. The background shows a horizon with hills under a cloudy sky at sunset or sunrise, with warm light filtering through the clouds. A dark grey horizontal band is overlaid on the left side of the image, containing the title text.

PARTE II  
METABOLISMO DOS  
LIPÍDIOS

### 1. Digestão dos lipídios

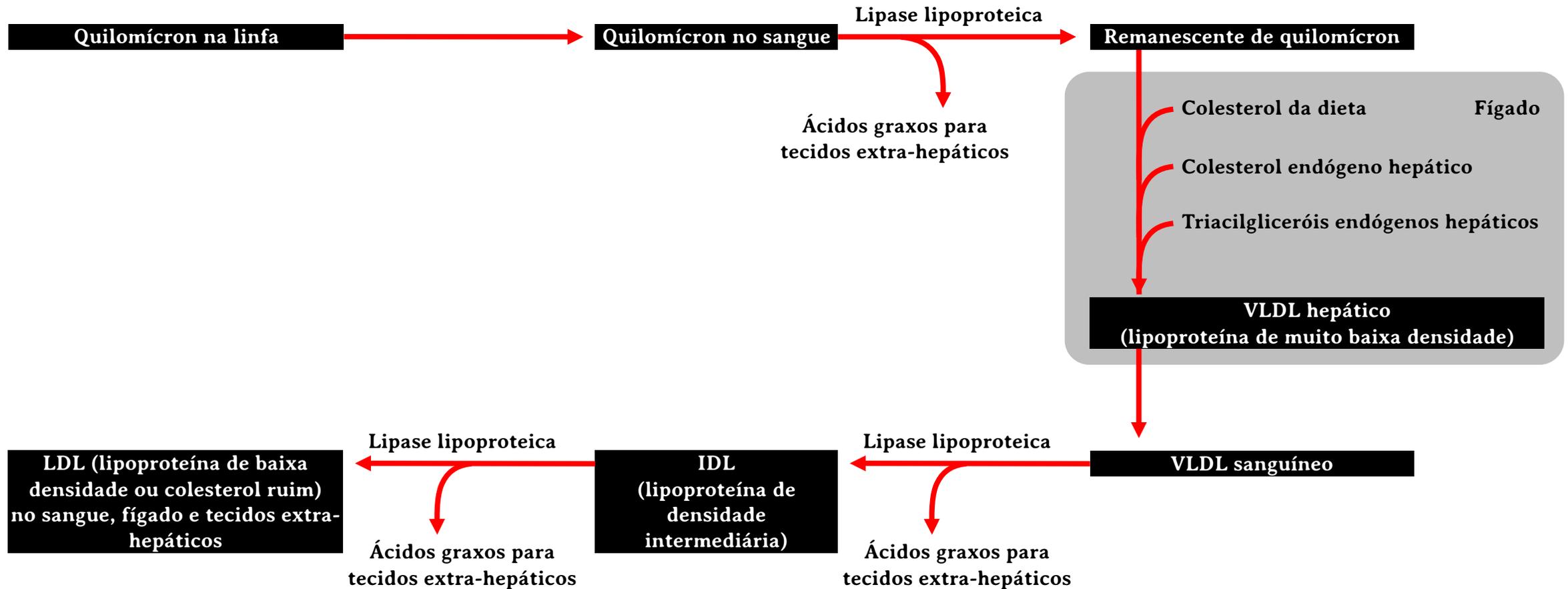
**Local onde ocorre:** interior do tubo digestório



**2. Distribuição dos lipídios I**

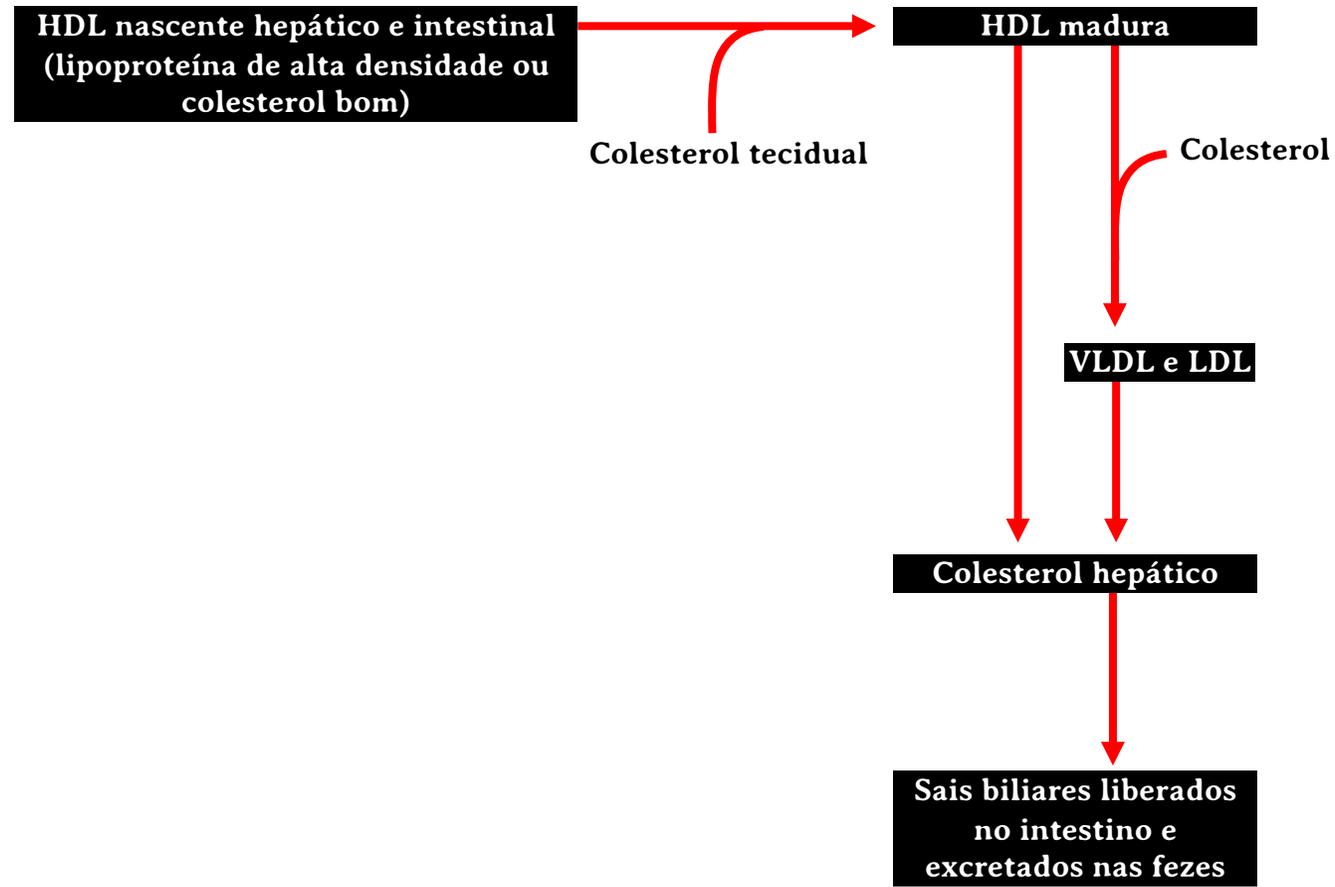
**Conceito:** ocorre por meio de lipoproteínas plasmáticas, que correspondem a partículas esféricas com núcleo central de lipídios apolares, circundados por lipídios anfipáticos associados a proteínas denominadas apolipoproteínas

**Local onde ocorre:** linfa, sangue, tecidos hepáticos e extra-hepáticos



### 3. Distribuição dos lipídios II

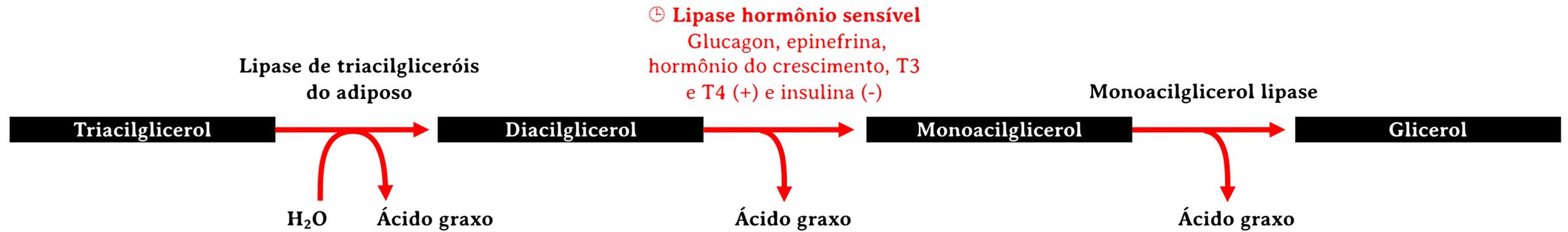
**Local onde ocorre:** linfa, sangue, tecidos hepáticos e extra-hepáticos



#### 4. Lipólise dos triacilgliceróis

**Local onde ocorre:** citosol

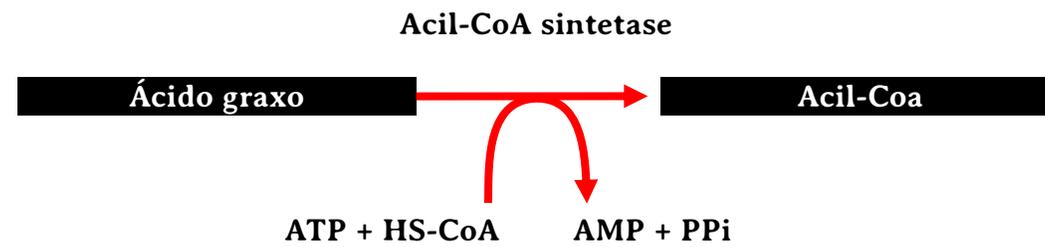
**Outras informações:** o glicerol produzido na lipólise pode ser utilizado na gliconeogênese para produção de glicose



### 5. Lipólise dos ácidos graxos saturados I

**Local onde ocorre:** citosol

**Outras informações:** a acil-CoA é transportada para a matriz mitocondrial com a participação de uma molécula de carnitina (vitamina B11)

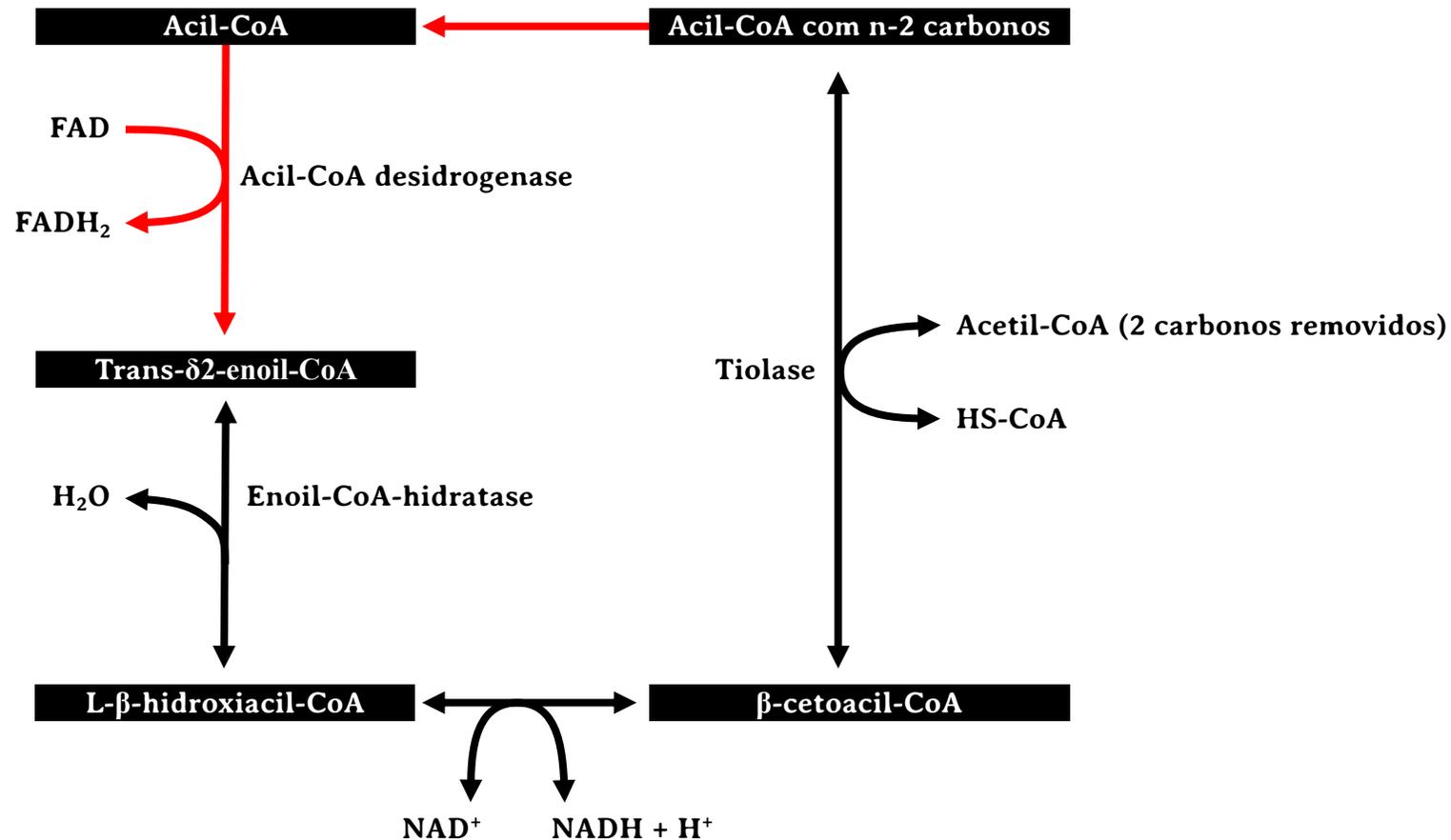


**6. Lipólise dos ácidos graxos saturados II: via da beta-oxidação ou ciclo de Lynen**

**Local onde ocorre:** matriz mitocondrial

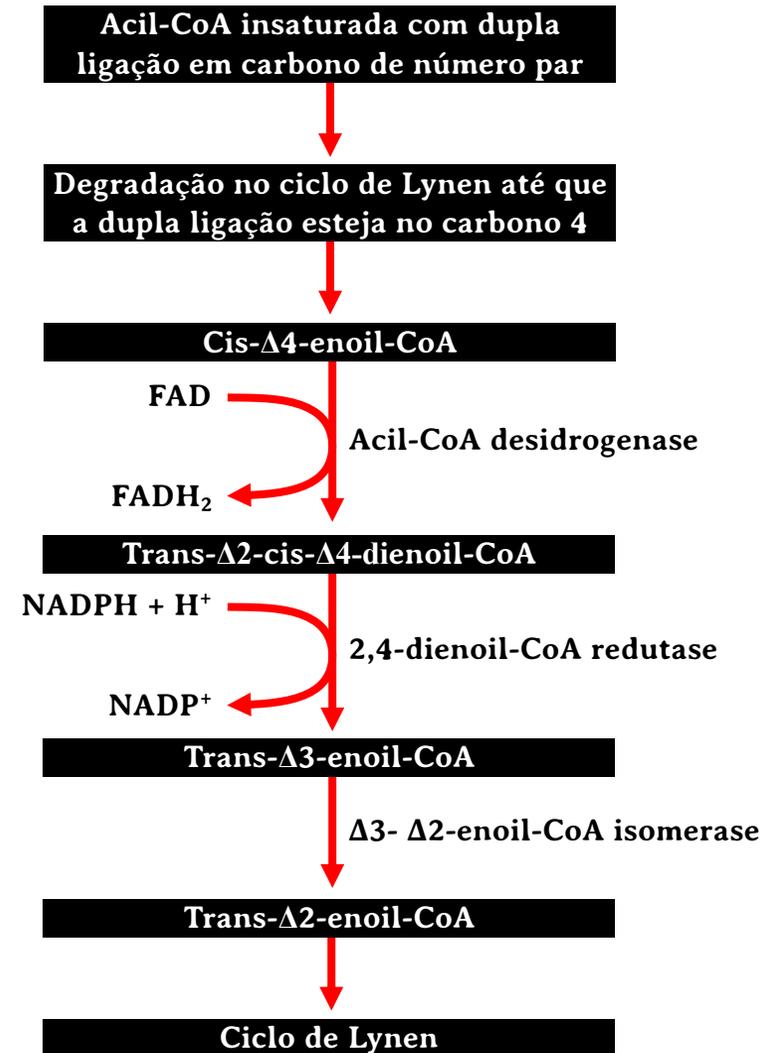
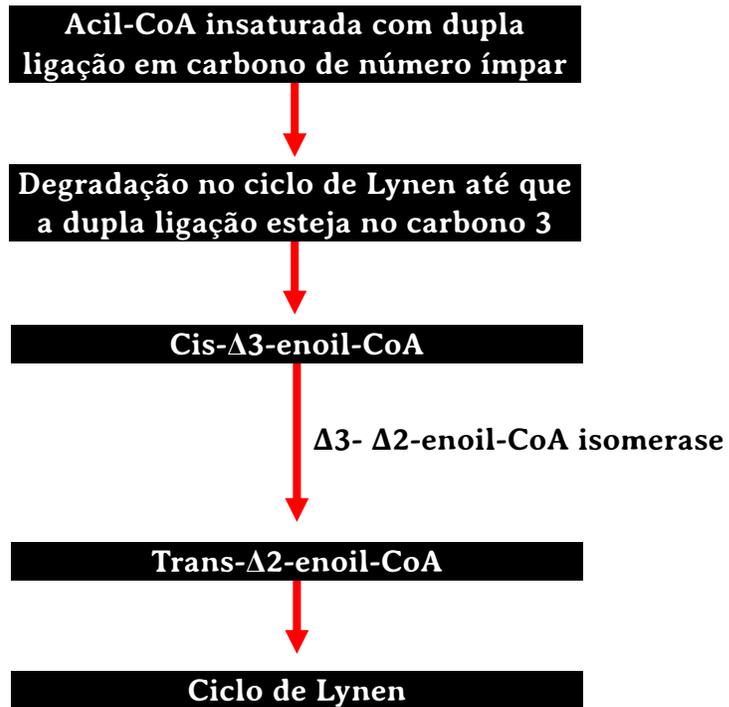
**Equação geral:**  $\text{Acil-CoA} + \text{FAD} + \text{H}_2\text{O} + \text{NAD}^+ + \text{HS-CoA} \rightarrow \text{Acil-CoA com n-2 carbonos} + \text{FADH}_2 + \text{NADH} + \text{H}^+ + \text{Acetil-CoA}$

**Outras informações:** a acetil-CoA, gerada como produto deste ciclo, pode ser utilizada posteriormente também no ciclo de Krebs para produção de energia



**7. Lipólise dos ácidos graxos insaturados**

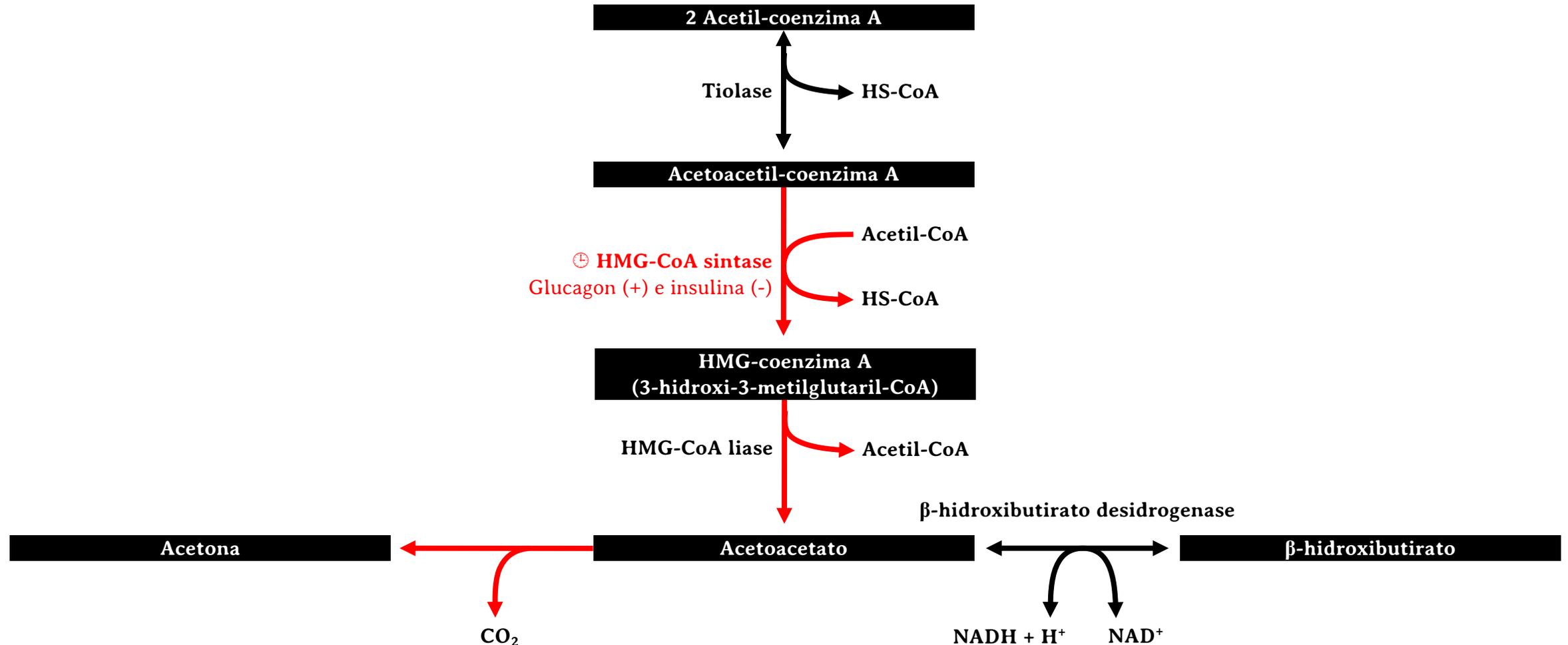
Local onde ocorre: matriz mitocondrial



### 8. Cetogênese

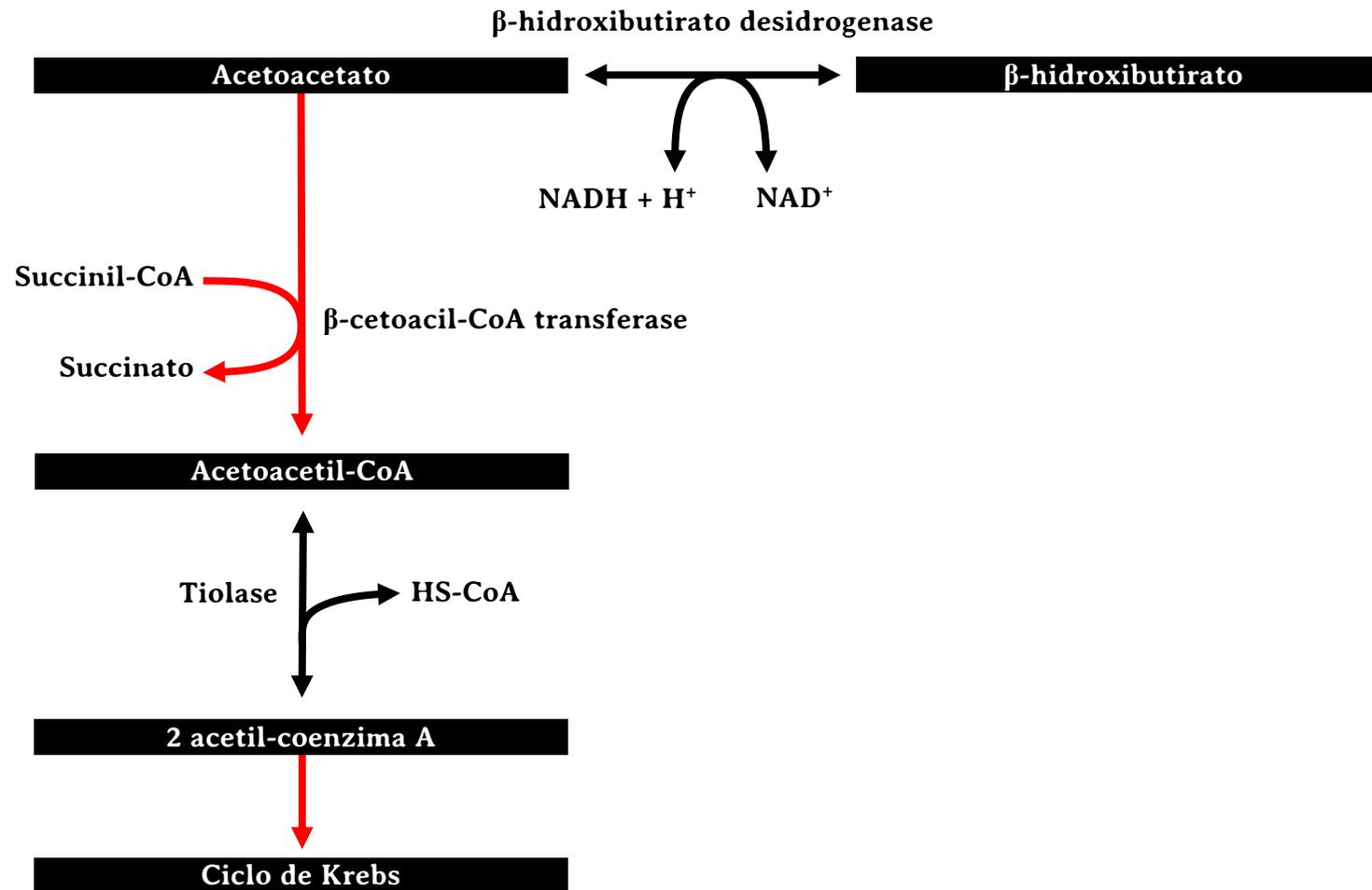
**Conceito:** via de produção de corpos cetônicos, a partir da acetil-CoA que provém da lipólise da via da beta-oxidação

**Local onde ocorre:** citosol de células hepáticas para disponibilizar energia para coração, cérebro e músculos em períodos de jejum, privação de oxigênio muscular ou quadro diabético



### 9. Via de utilização dos corpos cetônicos

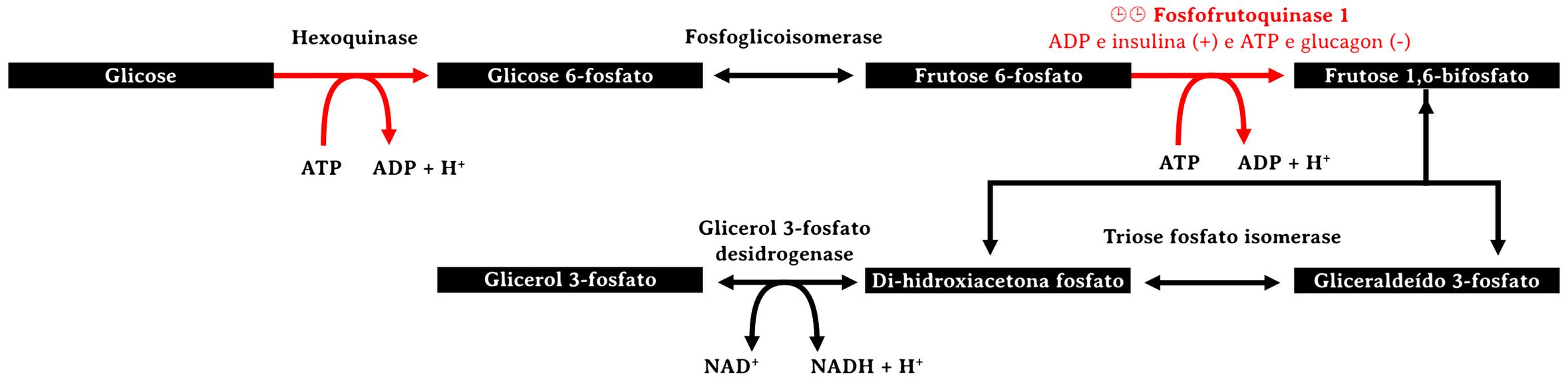
**Local onde ocorre:** células do coração, cérebro e músculos em períodos de jejum, privação de oxigênio muscular ou quadro diabético





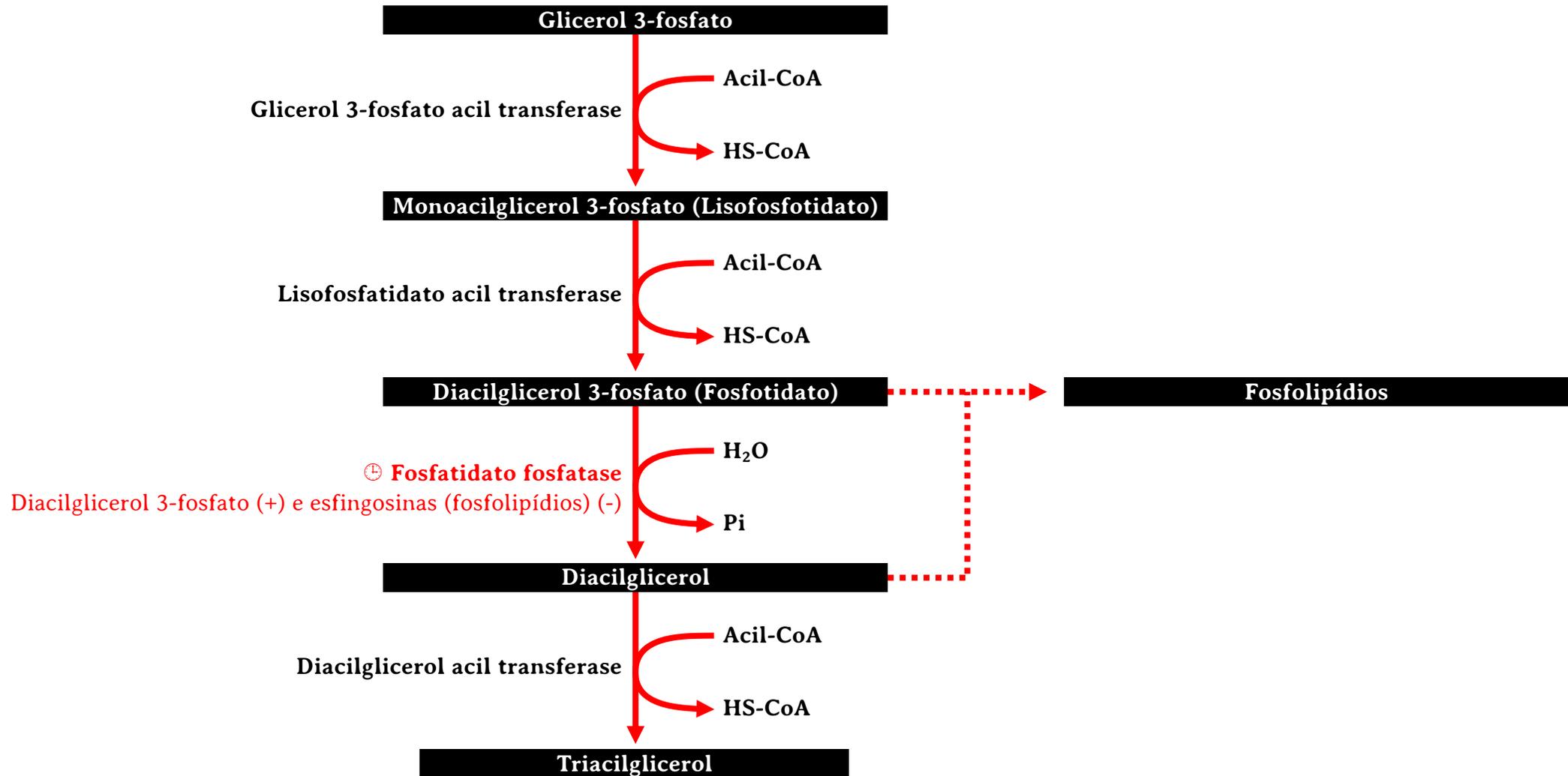
**11. Síntese de glicerol 3-fosfato**

Local onde ocorre: citosol



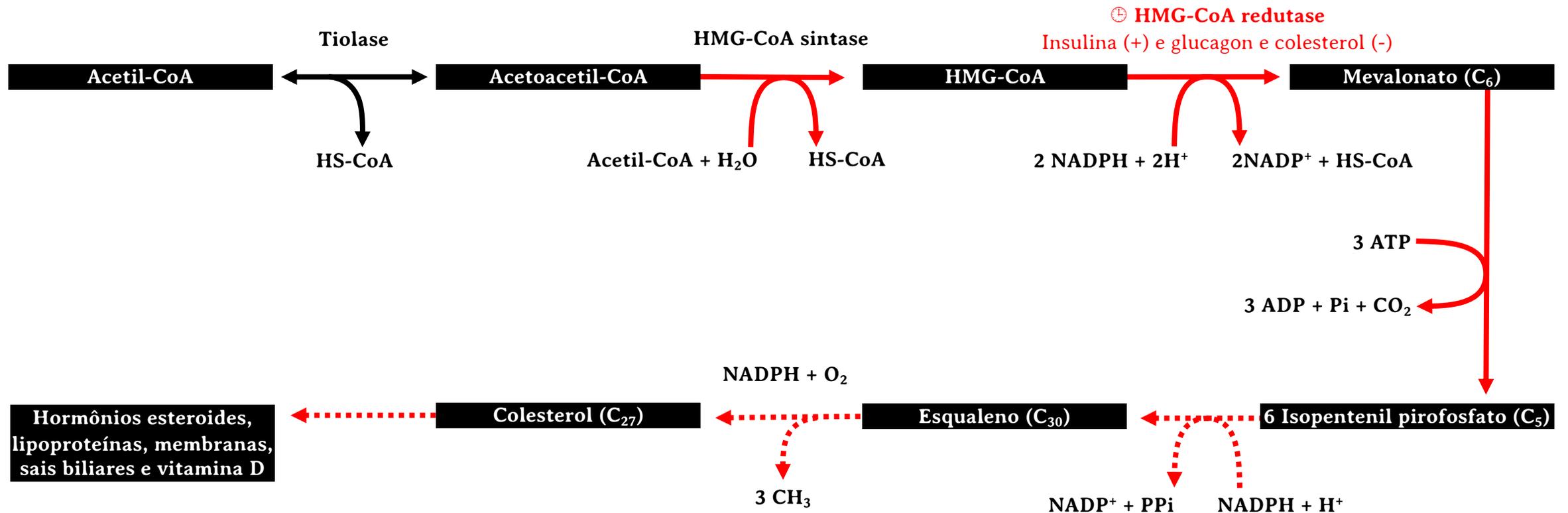
### 12. Síntese de triacilgliceróis

**Local onde ocorre:** retículo endoplasmático liso, citoplasma e em gotículas de lipídios



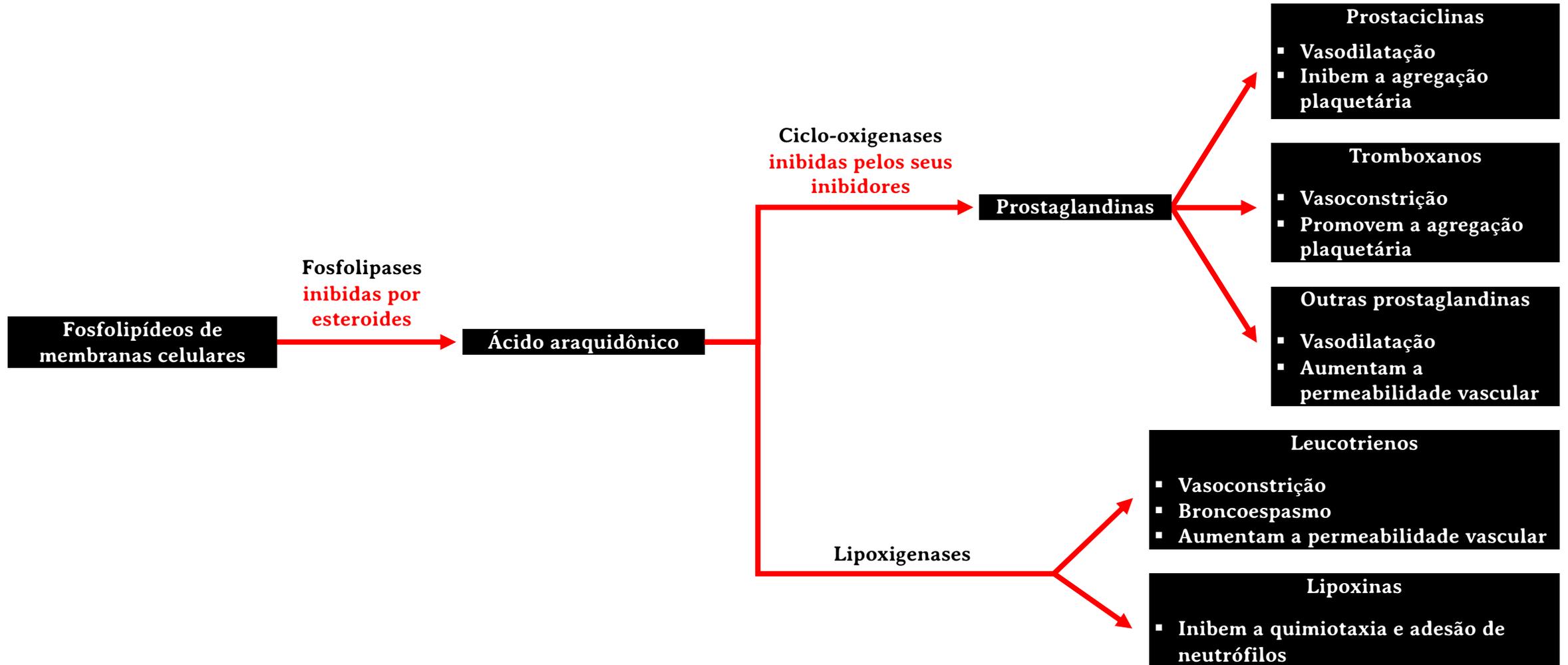
### 13. Colesterogênese

Local onde ocorre: citosol e retículo endoplasmático liso



### 14. Ciclo do ácido araquidônico

Local onde ocorre: tecidos durante o processo inflamatório



**Referências e Sugestões de Leitura**

- Baynes JW. Metabolismo oxidativo de lipídios no fígado e no músculo. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 15; p. 185-93.
- Botham KM, Mayes PA. Biossíntese de ácidos graxos e eicosanoides. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 23; p. 232-44.
- Botham KM, Mayes PA. Metabolismo de acilgliceróis e esfingolipídeos. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 24; p. 245-52.
- Botham KM, Mayes PA. Oxidação dos ácidos graxos: cetogênese. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 22; p. 223-31.
- Botham KM, Mayes PA. Síntese, transporte e excreção do colesterol. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 26; p. 266-79.
- Botham KM, Mayes PA. Transporte e armazenamento de lipídeos. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 25; p. 253-65.
- Campbell MK, Farrell SO. Bioquímica. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning; 2017. Capítulo 21. Metabolismo dos lipídeos; p. 593-630.
- Constanzo LS. Fisiologia. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2014. Capítulo 8. Fisiologia gastrointestinal; p. 329-82.
- Dominiczak MH. Lipoproteínas e transporte de lipídios. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 18; p. 219-35.
- Dominiczak MH, Wallace AM. Biossíntese de colesterol e esteroides. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 17; p. 205-18.
- Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 15. Metabolismo dos lipídeos da dieta; p. 173-80.
- Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 16. Metabolismo dos ácidos graxos e dos triacilgliceróis; p. 181-200.

Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 17. Metabolismo dos lipídeos complexos; p. 201-18.

Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 18. Colesterol e metabolismo dos esteroides; p. 219-44.

Kulkarni UV, Broom I. Biosíntese e armazenamento de ácidos graxos. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 16; p. 195-203.

Kumar V, Abbas AK, Fausto N, Aster JC. Robbins e Cotran, bases patológicas das doenças. 8ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 2. Inflamação aguda e crônica; p. 43-77.

Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 16. Metabolismo dos lipídeos; p. 196-220.

Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 20. Regulação das vias metabólicas principais; p. 286-310.

Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 15. Metabolismo dos ácidos graxos; p. 253-85.

Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 16. Fosfolipídeos, eisocanoídeos, esteroides; p. 287-323.

Nelson C, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 17. Catabolismo de ácidos graxos; p. 667-93.

Nelson C, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 21. Biossíntese de lipídeos; p. 833-80.

Riegel RE. Bioquímica. 4ª ed. São Leopoldo: Editora Unisinos; 2006. Capítulo 7. Bioquímica dos lipídios; p. 185-250.

Voet D, Voet JG. Bioquímica. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2013. Capítulo 25, Metabolismo dos lipídeos; p. 940-1018.

A low-angle, close-up shot of a person's legs running on a paved road. The person is wearing grey socks and black and white running shoes. The road has a yellow dashed line down the center. The background shows a sunset or sunrise with a cloudy sky and distant hills. The overall mood is energetic and focused.

PARTE III  
METABOLISMO DAS  
PROTEÍNAS

**1. Código genético**

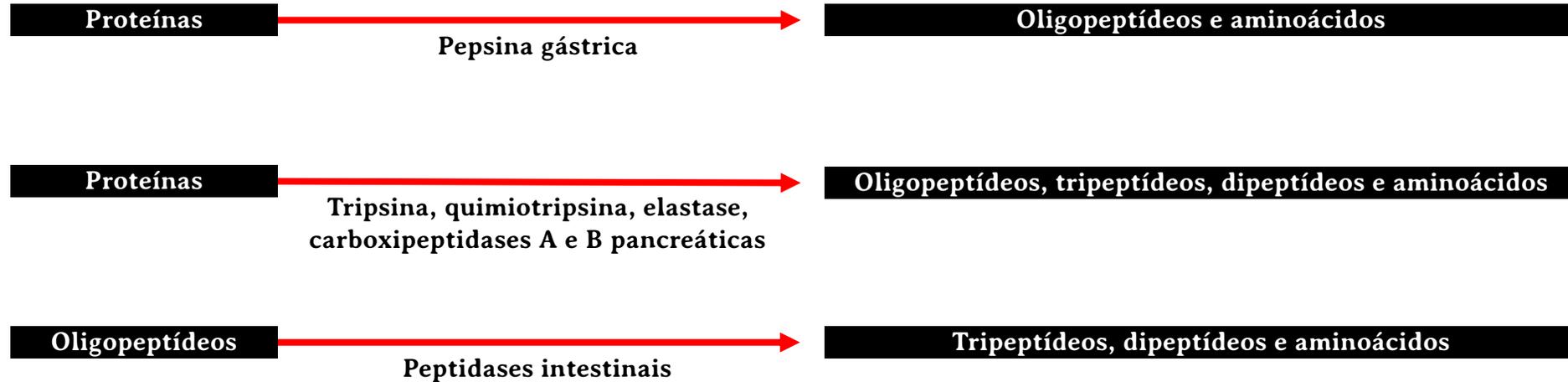
**Conceito:** lista de códons que codificam os aminoácidos

		2ª base				
		U	C	A	G	
1ª base	U	UUU: Fenilalanina (Fen/Phe/F)	UCU: Serina (Ser/S)	UAU: Tirosina (Tir/Tyr/Y)	UGU: Cisteína (Cis/Cys/C)	U
		UUC: Fenilalanina (Fen/Phe/F)	UCC: Serina (Ser/S)	UAC: Tirosina (Tir/Tyr/Y)	UGC: Cisteína (Cis/Cys/C)	C
		UUA: Leucina (Leu/L)	UCA: Serina (Ser/S)	UAA: Códon de parada "Ocre"	UGA: Códon de parada "Opala"	A
		UUG: Leucina (Leu/L)	UCG: Serina (Ser/S)	UAG: Códon de parada "Âmbar"	UGG: Triptofano (Trp/W)	G
	C	CUU: Leucina (Leu/L)	CCU: Prolina (Pro/P)	CAU: Histidina (His/H)	CGU: Arginina (Arg/R)	U
		CUC: Leucina (Leu/L)	CCC: Prolina (Pro/P)	CAC: Histidina (His/H)	CGC: Arginina (Arg/R)	C
		CUA: Leucina (Leu/L)	CCA: Prolina (Pro/P)	CAA: Glutamina (Gln/Q)	CGA: Arginina (Arg/R)	A
		CUG: Leucina (Leu/L)	CCG: Prolina (Pro/P)	CAG: Glutamina (Gln/Q)	CGG: Arginina (Arg/R)	G
	A	AUU: Isoleucina (Ile/I)	ACU: Treonina(Tre/Thr/T)	AAU: Asparagina (Asn/N)	AGU: Serina (Ser/S)	U
		AUC: Isoleucina (Ile/I)	ACC: Treonina(Tre/Thr/T)	AAC: Asparagina (Asn/N)	AGC: Serina (Ser/S)	C
		AUA: Isoleucina (Ile/I)	ACA: Treonina(Tre/Thr/T)	AAA: Lisina (Lis/Lys/K)	AGA: Arginina (Arg/R)	A
		AUG: Metionina (Met/M) Códon de iniciação	ACG: Treonina(Tre/Thr/T)	AAG: Lisina (Lis/Lys/K)	AGG: Arginina (Arg/R)	G
	G	GUU: Valina (Val/V)	GCU: Alanina (Ala/A)	GAU: Ácido aspártico (Asp/D)	GGU: Glicina (Gly/G)	U
		GUC: Valina (Val/V)	GCC: Alanina (Ala/A)	GAC: Ácido aspártico (Asp/D)	GGC: Glicina (Gly/G)	C
		GUA: Valina (Val/V)	GCA: Alanina (Ala/A)	GAA: Ácido glutâmico (Glu/E)	GGA: Glicina (Gly/G)	A
		GUG: Valina (Val/V)	GCG: Alanina (Ala/A)	GAG: Ácido glutâmico (Glu/E)	GGG: Glicina (Gly/G)	G

3ª base

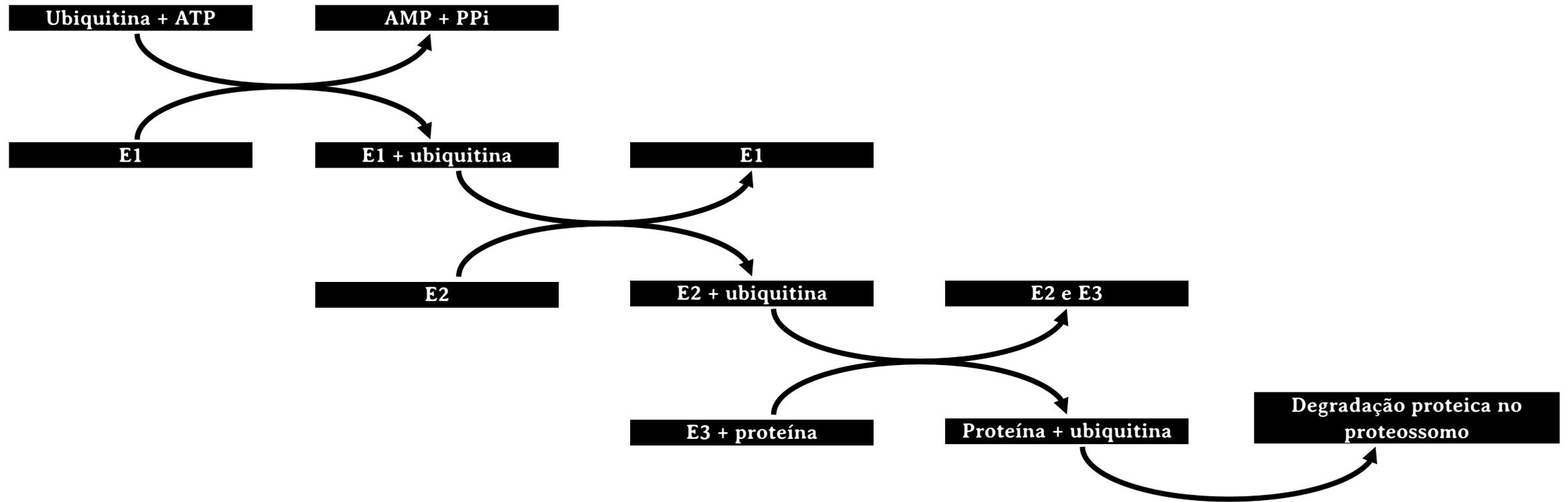
## 2. Digestão das proteínas

**Local onde ocorre:** interior do tubo digestório, sendo que as células intestinais conseguem absorver tripeptídeos, dipeptídeos e aminoácidos. Porém, os tripeptídeos e dipeptídeos são digeridos no interior da célula intestinal por peptidases e apenas os aminoácidos chegam à corrente sanguínea



**3. Proteólise intracelular via ubiquitina-proteossomos**

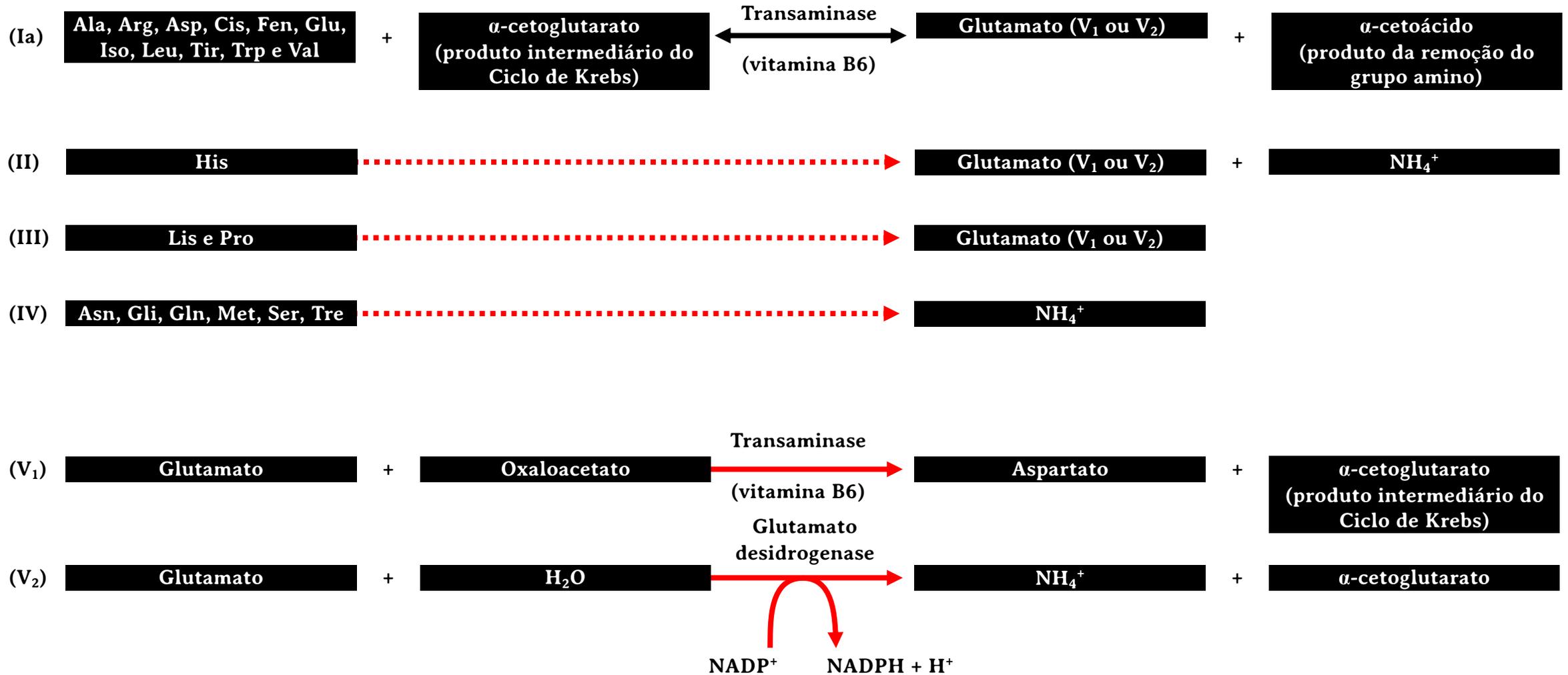
Local onde ocorre: citosol



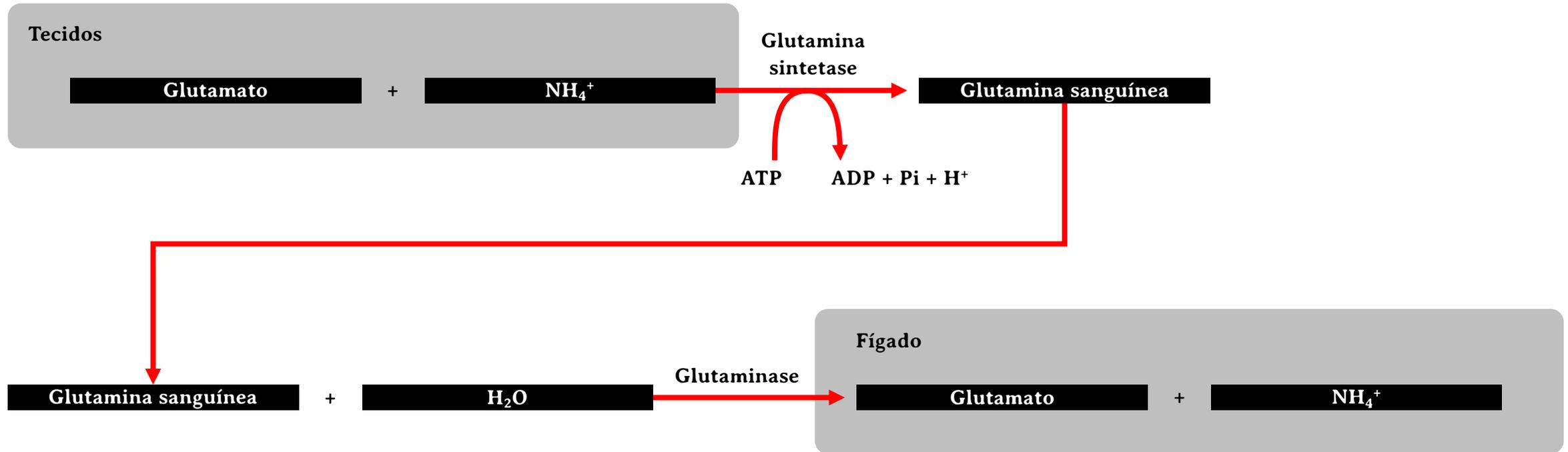
**4. Degradação dos aminoácidos I: remoção do grupo amino**

**Local onde ocorre:** citosol e mitocôndrias

**Observações:** a transaminase catalisa reação de transaminação, enquanto a glutamato desidrogenase catalisa um reação de desaminação



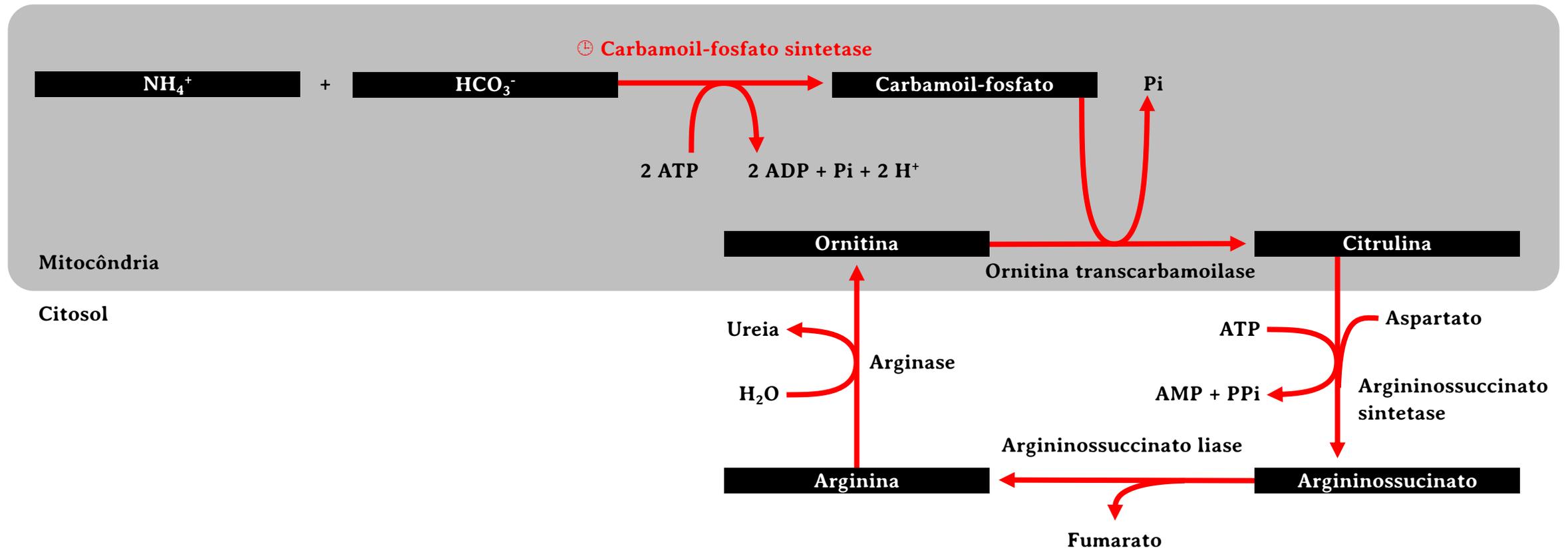
**5. Transporte do glutamato e íon amônio**  
**Local onde ocorre:** tecidos, sangue e fígado



**6. Ciclo da ureia, da ornitina ou de Krebs-Henseleit**

**Local onde ocorre:** parte na matriz mitocondrial e parte no citosol de células hepáticas. Posteriormente, a ureia produzida é eliminada no sangue, filtrada nos rins e eliminada na urina

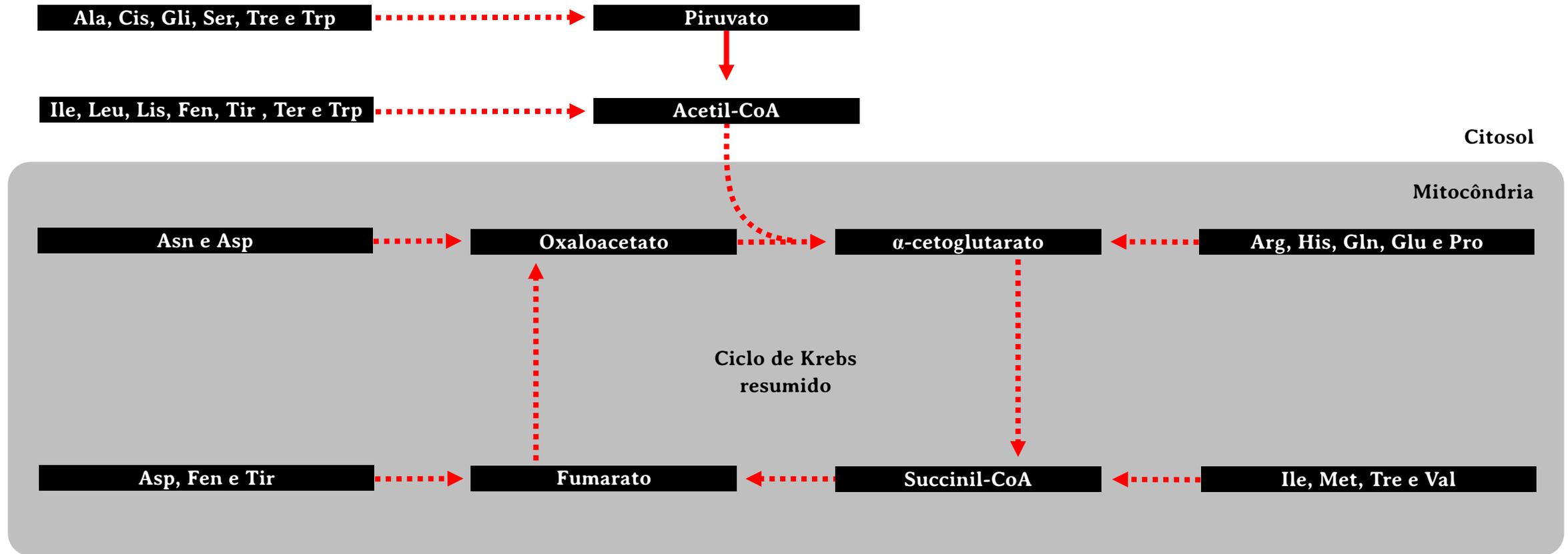
**Equação geral:**  $\text{NH}_4^+$  (tóxico) +  $\text{HCO}_3^-$  + Aspartato +  $\text{H}_2\text{O}$  + 3 ATP  $\rightarrow$  Ureia (atóxico) + Fumarato + 2 ADP + 2 Pi +  $2\text{H}^+$  + AMP + PPI



**7. Degradação dos aminoácidos II: degradação da cadeia carbônica**

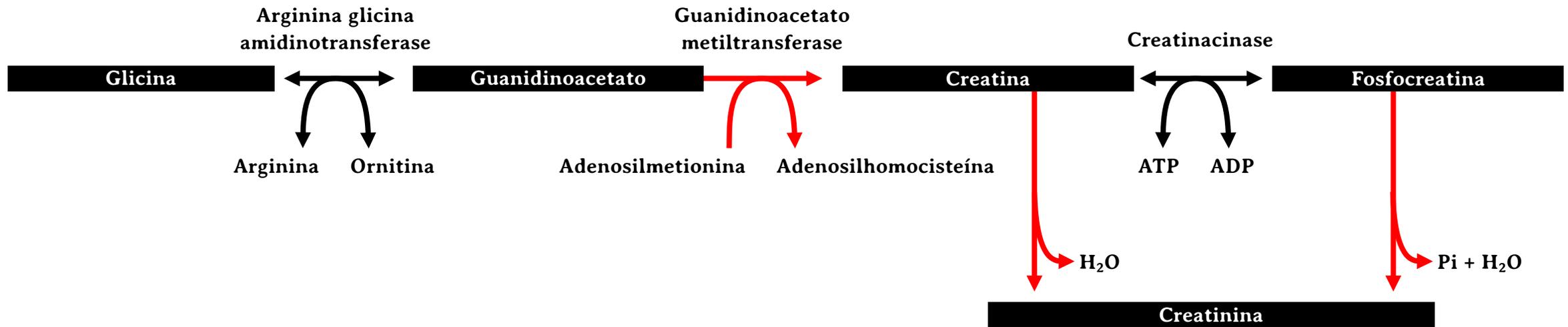
**Conceito:** corresponde à degradação da cadeia carbônica na forma de  $\alpha$ -cetoácido, após a remoção do grupo amino do aminoácido

**Local onde ocorre:** matriz mitocondrial e citosol



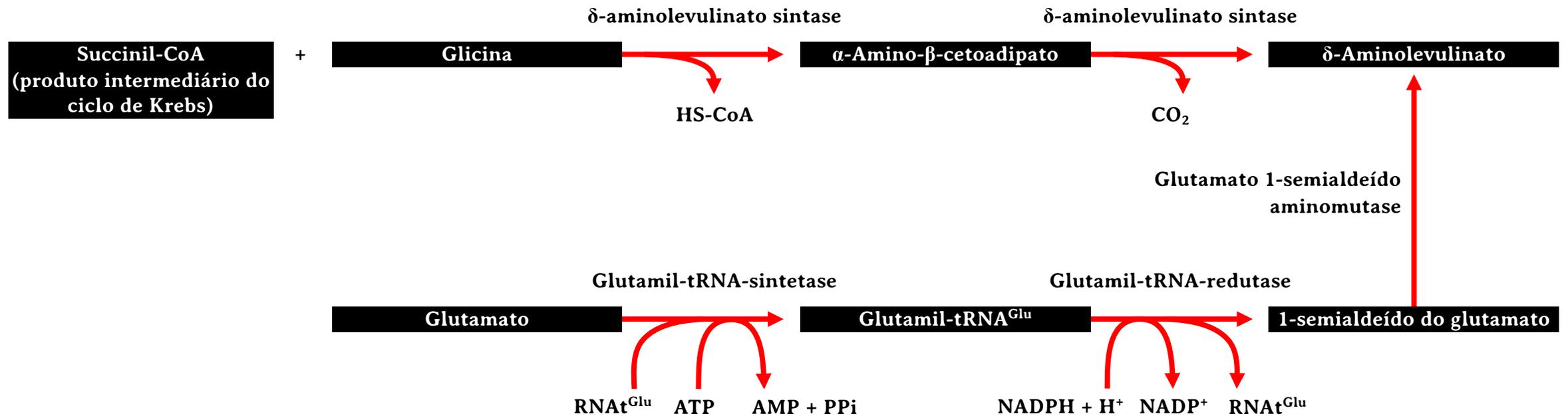
**8. Síntese de creatina e fosfocreatina**

**Local onde ocorre:** fígado, pâncreas e rins, sendo 95% transportados para os músculos e 5% para outros órgãos como coração, cérebro, espermatozoides e retina



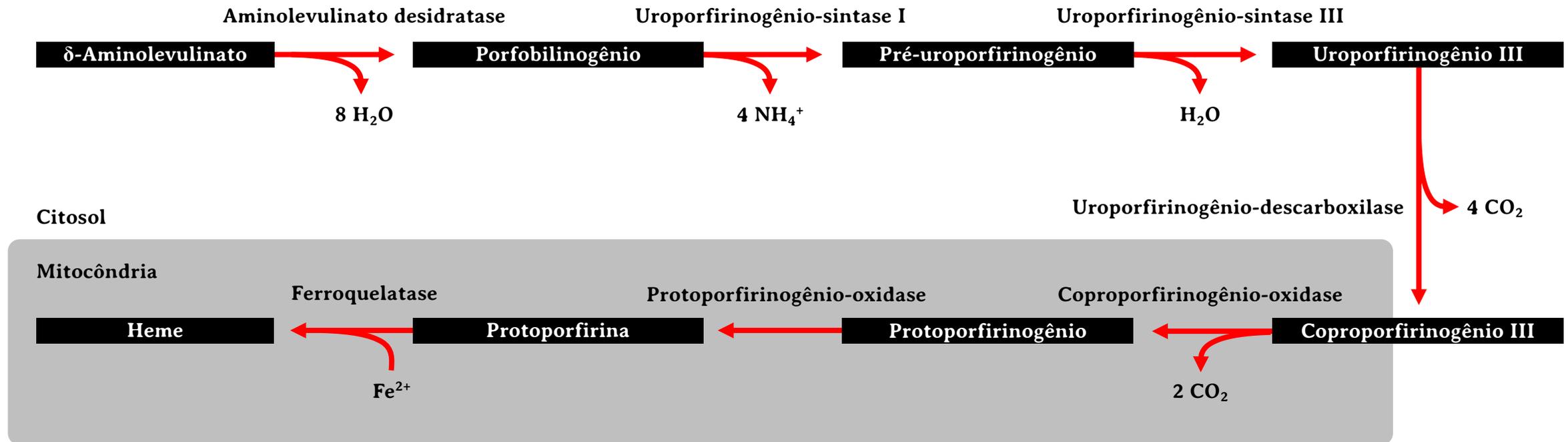
**9. Síntese do grupo heme I: síntese do  $\delta$ -aminolevulinato**

**Local onde ocorre:** matriz mitocondrial



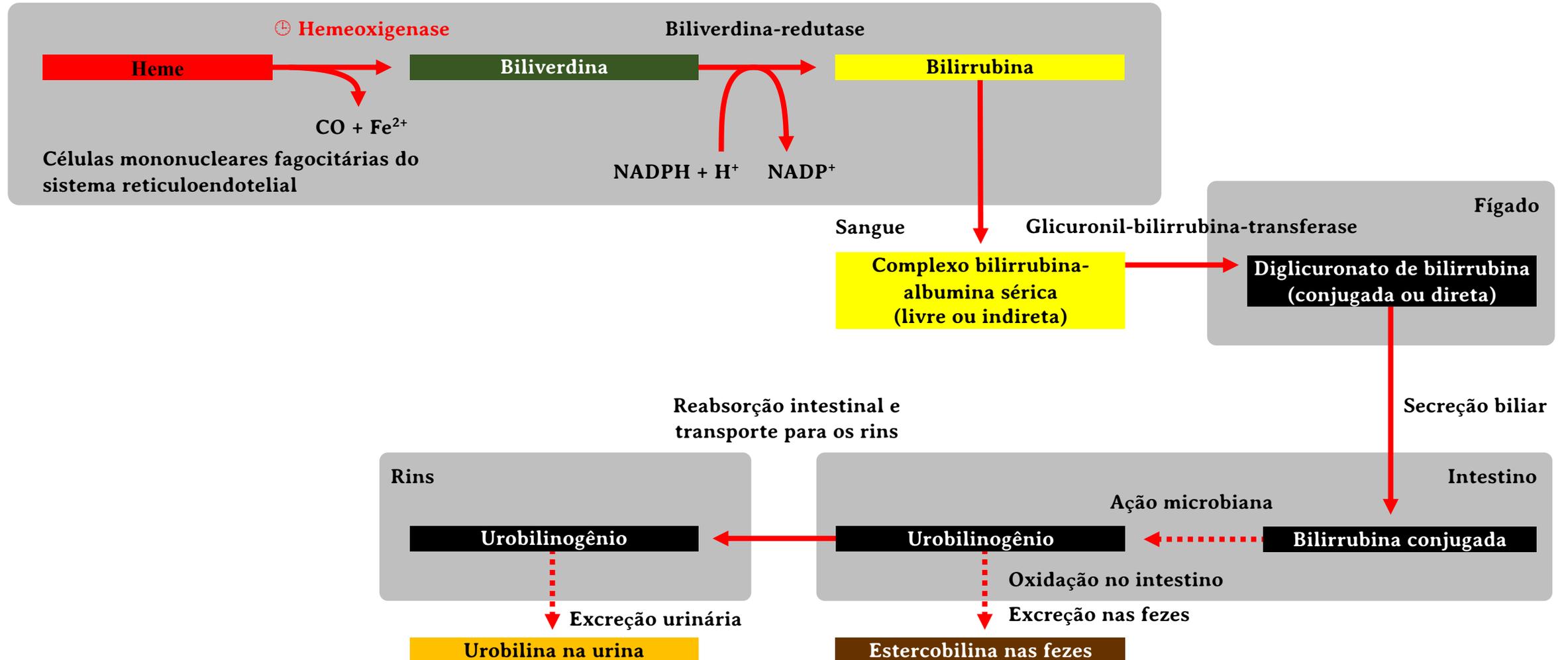
**10. Síntese do grupo heme II**

**Local onde ocorre:** citosol e matriz mitocondrial



### 11. Degradação do grupo heme

**Local onde ocorre:** célula mononuclear fagocitária até a produção da bilirrubina, sangue, fígado, intestino e excreção na urina e fezes



## 12. Doenças associadas ao metabolismo do grupo heme

Doença	Classe	Enzima envolvida	Manifestações clínicas	Resultados laboratoriais
Anemia sideroblástica ligada ao X ou protoporfiria ligada ao cromossomo X	Eritropoiética	$\delta$ -aminolevulinato sintase	Anemia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixas contagens de hemácias</li> <li>Níveis diminuídos de hemoglobina</li> </ul>
Deficiência de ALA-desidratase	Hepática	Aminolevulinato desidratase	Dor abdominal, sintomas neuropsiquiátricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Níveis urinários elevados de ALA e coproporfirina III</li> </ul>
Porfiria intermitente aguda	Hepática	Uroporfirinogênio-sintase I	Dor abdominal, sintomas neuropsiquiátricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Níveis urinários elevados de ALA e de porfobilinogênio</li> </ul>
Porfiria eritropoiética congênita	Eritropoiética	Uroporfirinogênio-sintase III	Fotossensibilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Níveis urinários, fecais e eritrocitários elevados de uroporfirinas</li> </ul>
Porfiria cutânea tardia	Hepática	Uroporfirinogênio-desacarboxilase	Fotossensibilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Níveis urinários elevados de uroporfirina</li> </ul>
Coproporfiria hereditária	Hepática	Coproporfirinogênio-oxidase	Dor abdominal, sintomas neuropsiquiátricos e fotossensibilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Níveis urinários elevados de ALA, porfobilinogênio e coproporfirina III</li> <li>Níveis fecais elevados de coproporfirina III</li> </ul>
Porfiria variegata	Hepática	Protoporfirinogênio-oxidase	Dor abdominal, sintomas neuropsiquiátricos e fotossensibilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Níveis urinários elevados de ALA, porfobilinogênio e coproporfirina III</li> <li>Níveis fecais elevados de protoporfirina IX</li> </ul>
Protoporfiria	Eritropoiética	Ferroquelatase	Fotossensibilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Níveis fecais e eritrocitários elevados de protoporfirina IX</li> </ul>

**13. Classificação das icterícias**

**Conceito:** é a coloração amarelada da pele, das escleras e de outros tecidos causado pelo excesso de bilirrubina circulante. Torna-se visível quando o nível de bilirrubinas se encontra entre 2 e 3 mg/dL (34 a 51  $\mu\text{mol/L}$ )

Tipo de icterícia	Etiologia	Resultados laboratoriais
Neonatal	Anemia hemolítica hereditária, doenças hepáticas, doenças maternas, atraso na eliminação do mecônio	Bilirrubina direta aumentada
Hemolítica	Anemia falciforme, doença hemolítica do recém-nascido, malária	Bilirrubina indireta aumentada
Obstrutiva	Coledocolitíase	Bilirrubina direta aumentada
Hepática	Hepatites, toxinas, drogas	Bilirrubina direta aumentada
Pancreática	Neoplasias pancreáticas, pancreatites	Bilirrubina direta aumentada

**Referências e Sugestões de Leitura**

Campbell MK, Farrell SO. Bioquímica. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning; 2017. Capítulo 23. Metabolismo do nitrogênio; p. 657-88.

Constanzo LS. Fisiologia. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2014. Capítulo 8. Fisiologia gastrointestinal; p. 329-82.

Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 19. Aminoácidos: destino do nitrogênio; p. 245-60.

Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 20. Degradação e síntese dos aminoácidos; p. 261-76.

Rawitch AB. Biossíntese e degradação de aminoácidos. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 19; p. 237-51.

Rodwell VW. Biossíntese dos aminoácidos nutricionalmente não essenciais. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 27; p. 281-6.

Rodwell VW. Catabolismo das proteínas e do nitrogênio dos aminoácidos. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 28; p. 287-96.

Rodwell VW. Catabolismo dos esqueletos de carbono dos aminoácidos. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 29; p. 297-312.

Marzzoco A, Torres BB. Bioquímica básica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017. Capítulo 17. Metabolismo de aminoácidos; p. 221-47.

Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 17. Metabolismo dos aminoácidos; p. 325-62.

Nelson C, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 18. Oxidação de aminoácidos e produção de ureia; p. 695-730.

Nelson C, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 22. Biossíntese de aminoácidos, nucleotídeos e moléculas relacionadas; p. 881-928.

Riegel RE. Bioquímica. 4ª ed. São Leopoldo: Editora Unisinos; 2006. Capítulo 8. Metabolismo das proteínas e dos aminoácidos; p. 251-92.

Rodrigues RC, Hassunuma RM, Garcia PC, Messias SHN. Hemoglobinas: estruturas bioquímicas e propriedades. 1ª ed. Bauru: Canal 6 Editora; 2020.

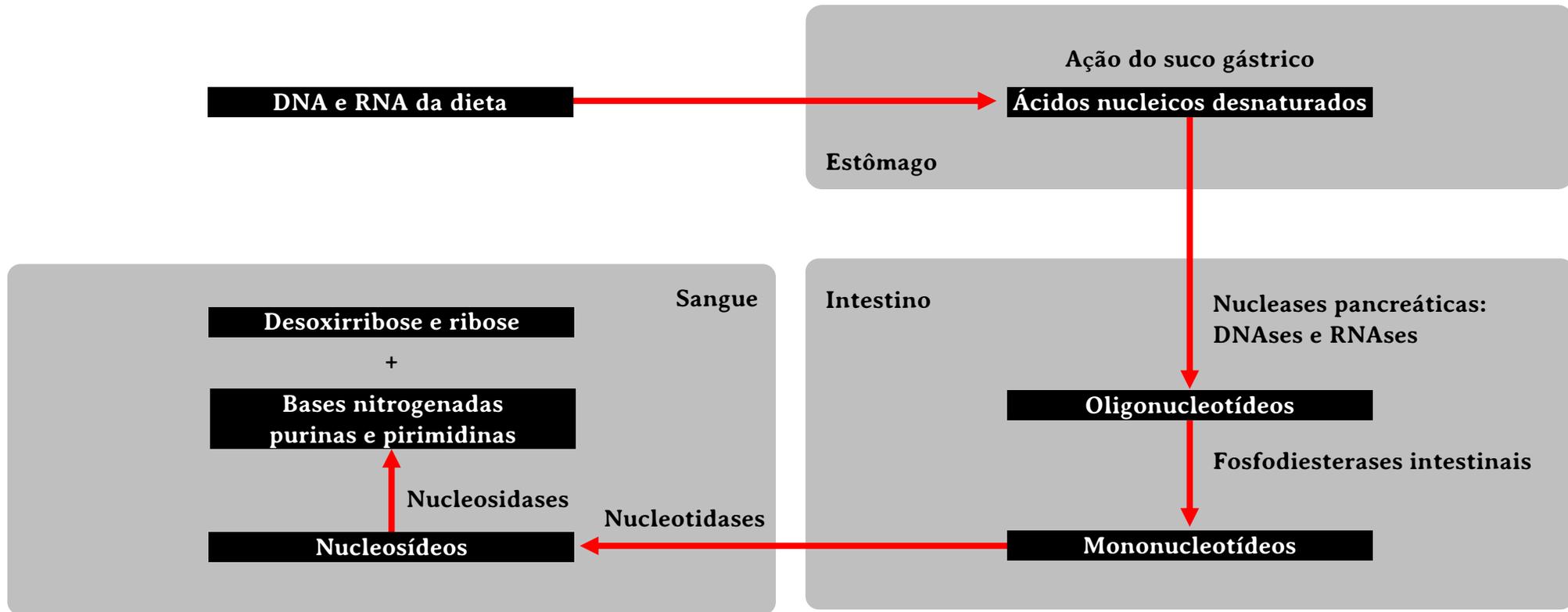
Voet D, Voet JG. Bioquímica. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2013. Capítulo 26, Metabolismo dos aminoácidos; p. 1019-87.

A low-angle, rear-view shot of a person's legs running on a paved road. The runner is wearing grey socks and black and white sneakers. The road has a yellow dashed line down the center. The background shows a sunset sky with soft, golden light and some distant hills. The overall mood is one of endurance and movement.

PARTE IV  
METABOLISMO DOS  
ÁCIDOS NUCLEICOS

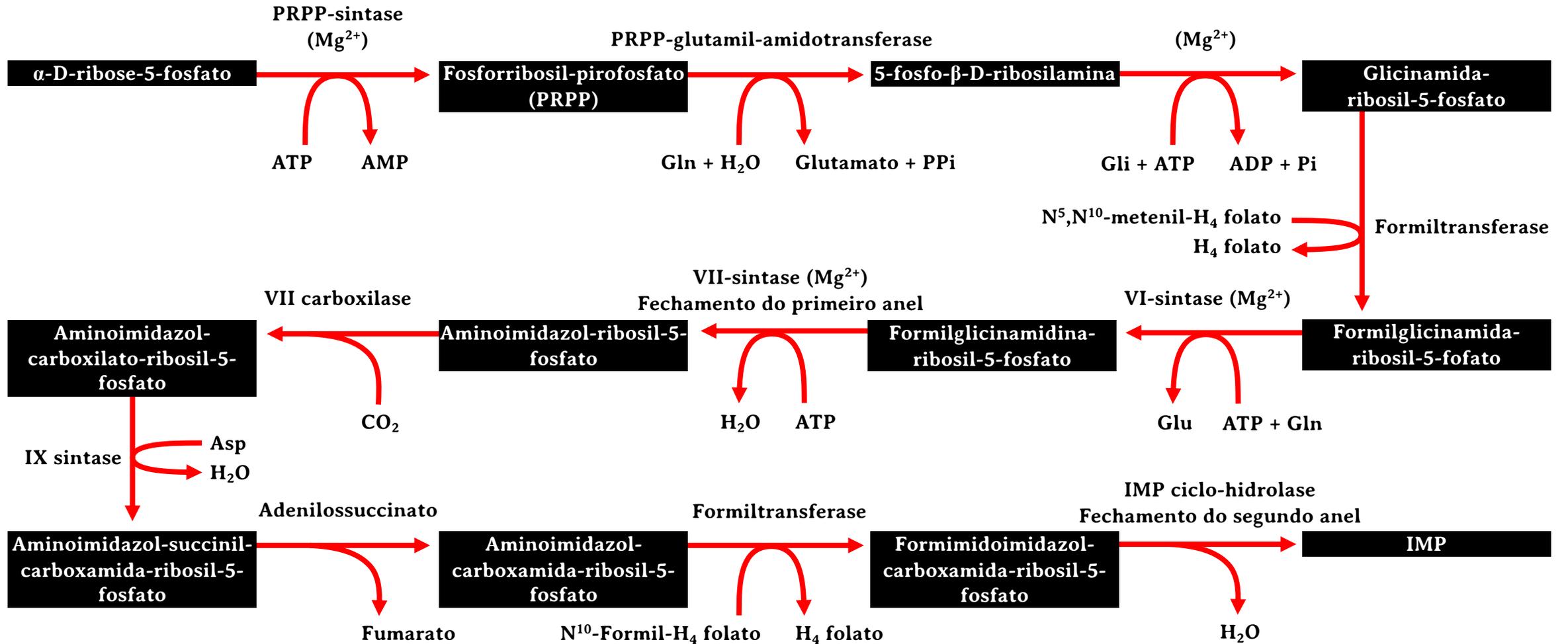
**1. Digestão dos ácidos nucleicos**

**Local onde ocorre:** interior do tubo digestório, sendo que as células intestinais conseguem absorver tripeptídeos, dipeptídeos e aminoácidos. Porém, os tripeptídeos e dipeptídeos são digeridos no interior da célula intestinal por peptidases e apenas os aminoácidos chegam à corrente sanguínea



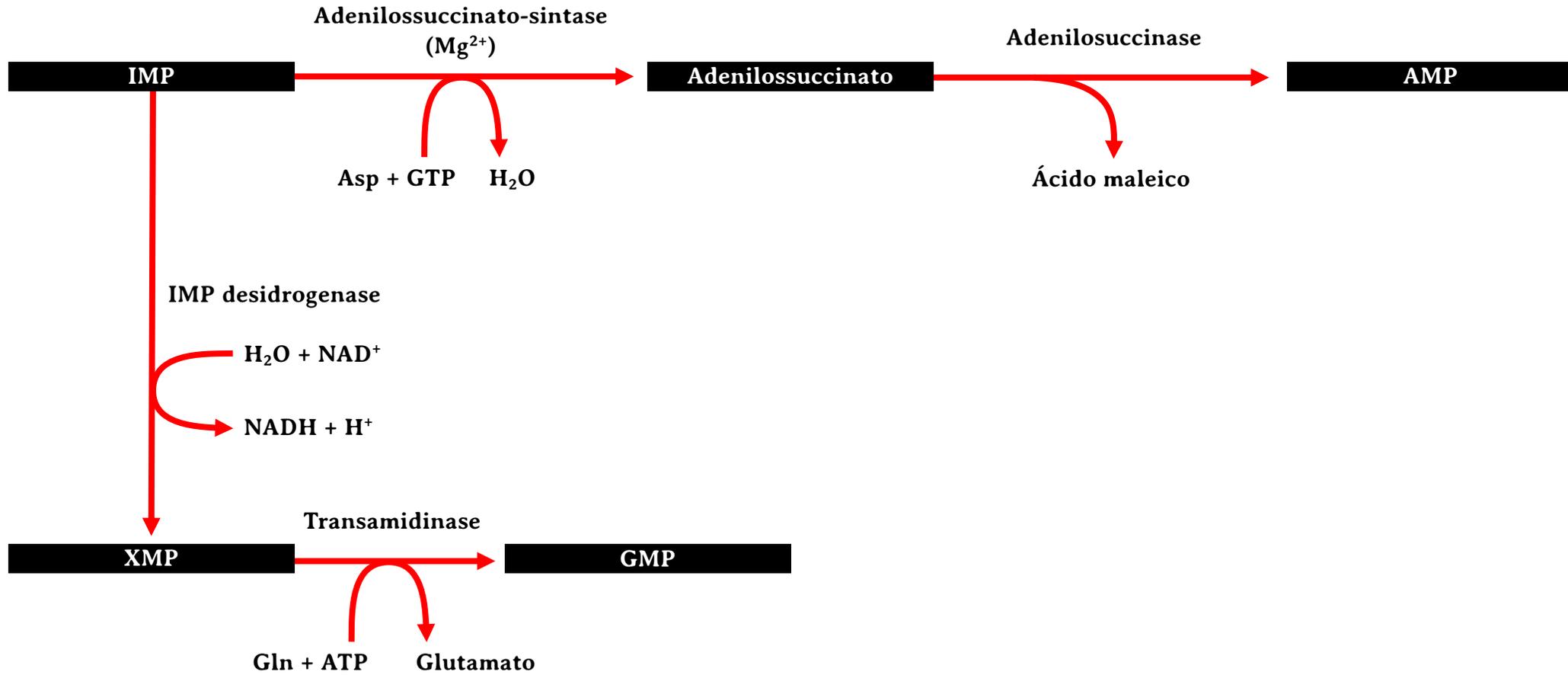
**2. Via de novo das purinas I: síntese do IMP**

**Conceito:** síntese do nucleotídeo IMP a partir de precursores metabólicos



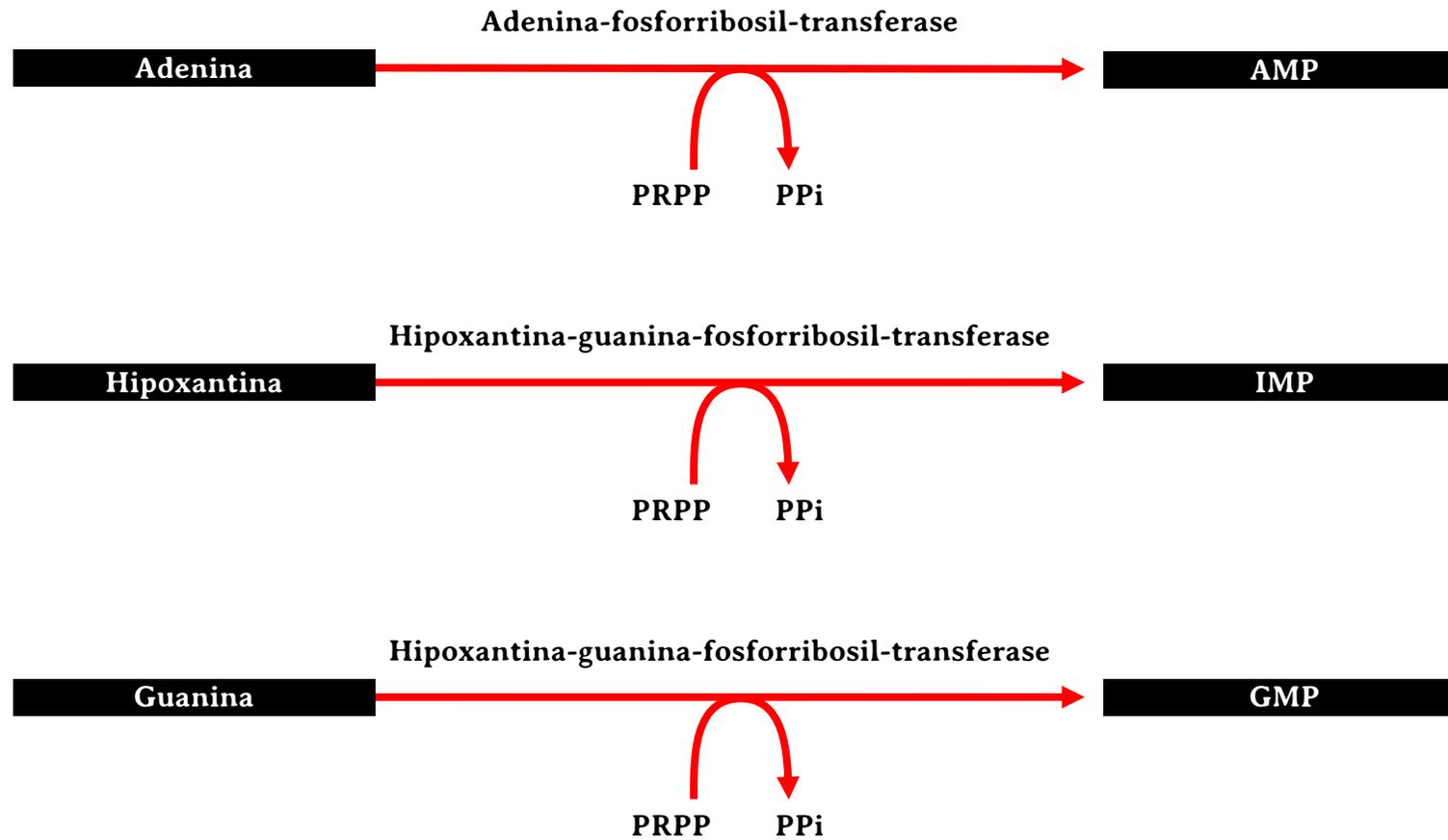
**3. Via de novo das purinas II**

**Conceito:** síntese de ribonucleotídeos, como os de adenina e de guanina, a partir da IMP



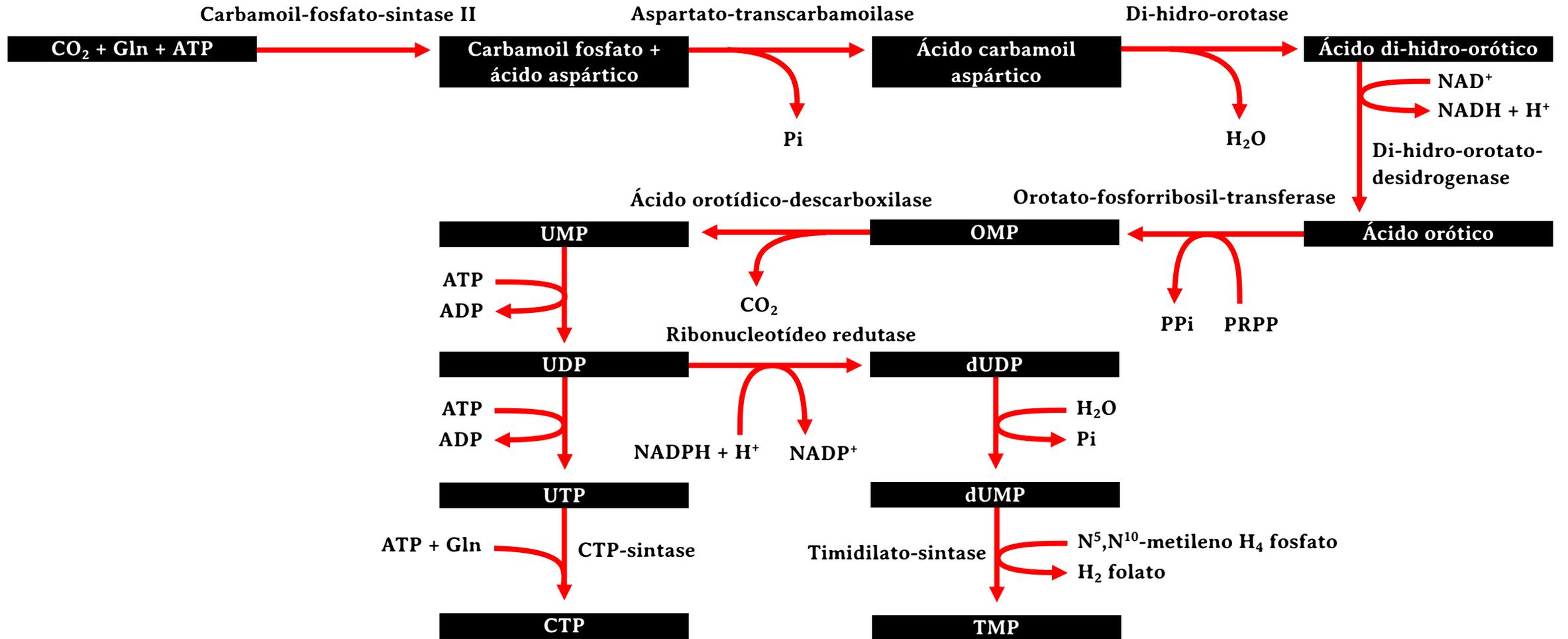
**4. Via de recuperação ou de salvamento das purinas**

**Conceito:** síntese de ribonucleotídeos purinas a partir de bases nitrogenadas geradas a partir da degradação de ácidos nucleicos



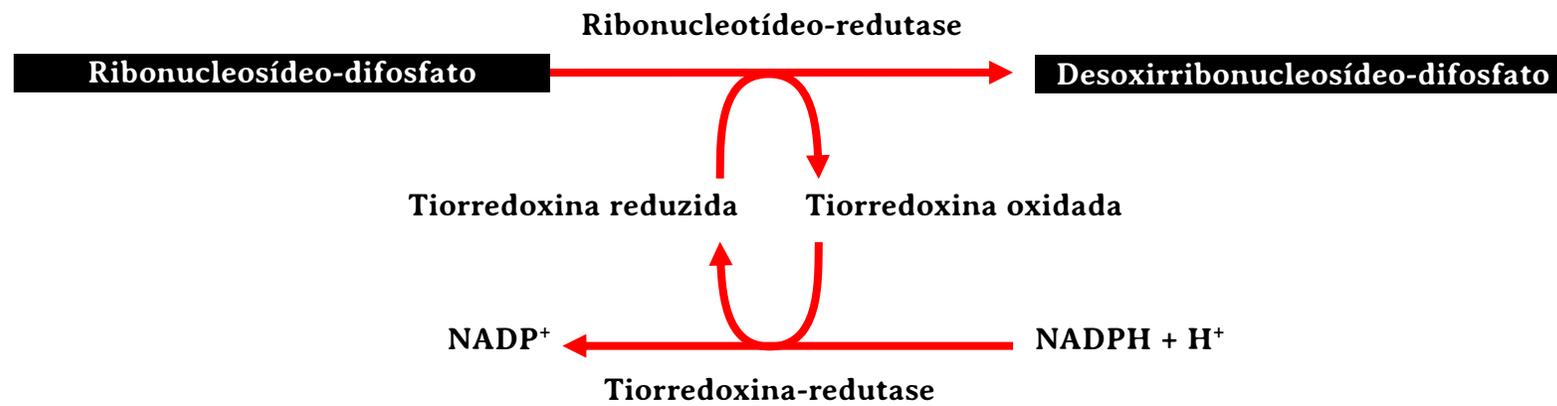
5. Via de novo das pirimidinas

Conceito: síntese do ribonucleotídeo IMP a partir de precursores metabólicos

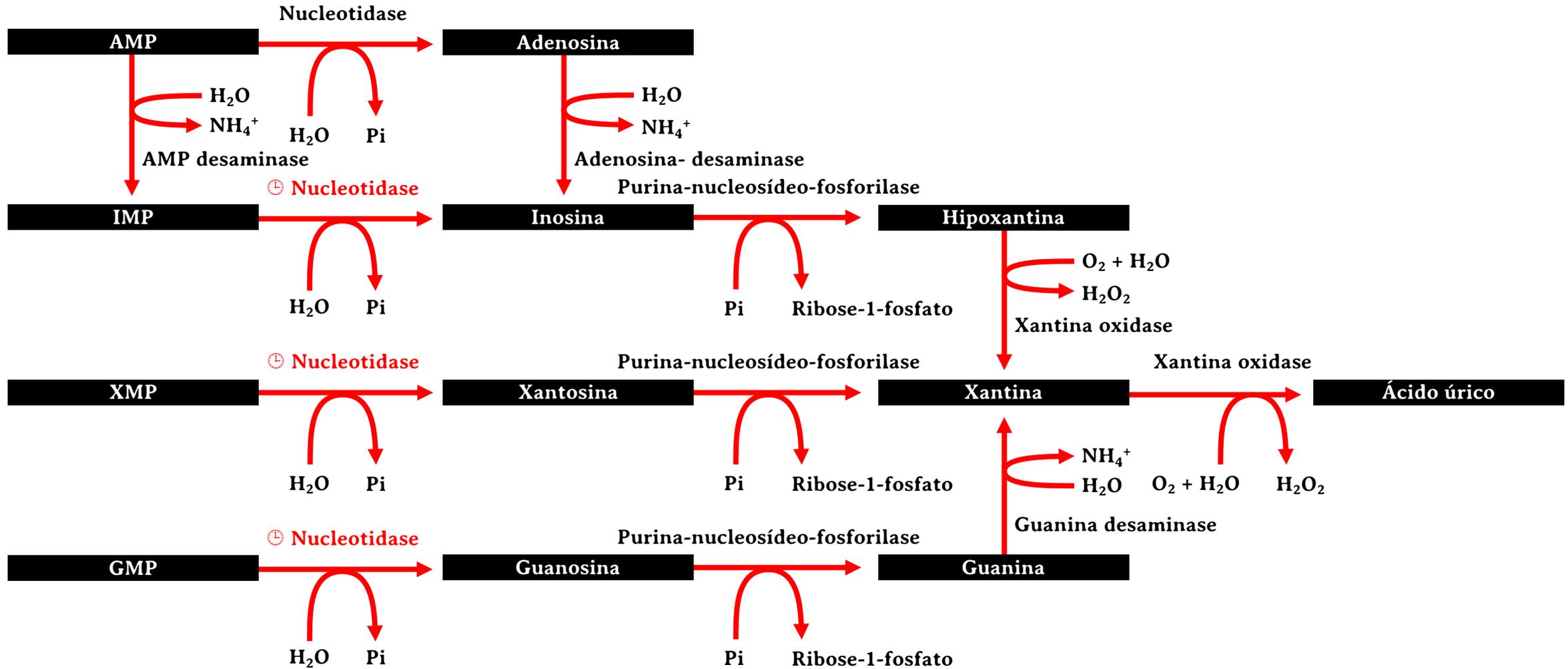


## 6. Síntese de desoxirribonucleotídeos

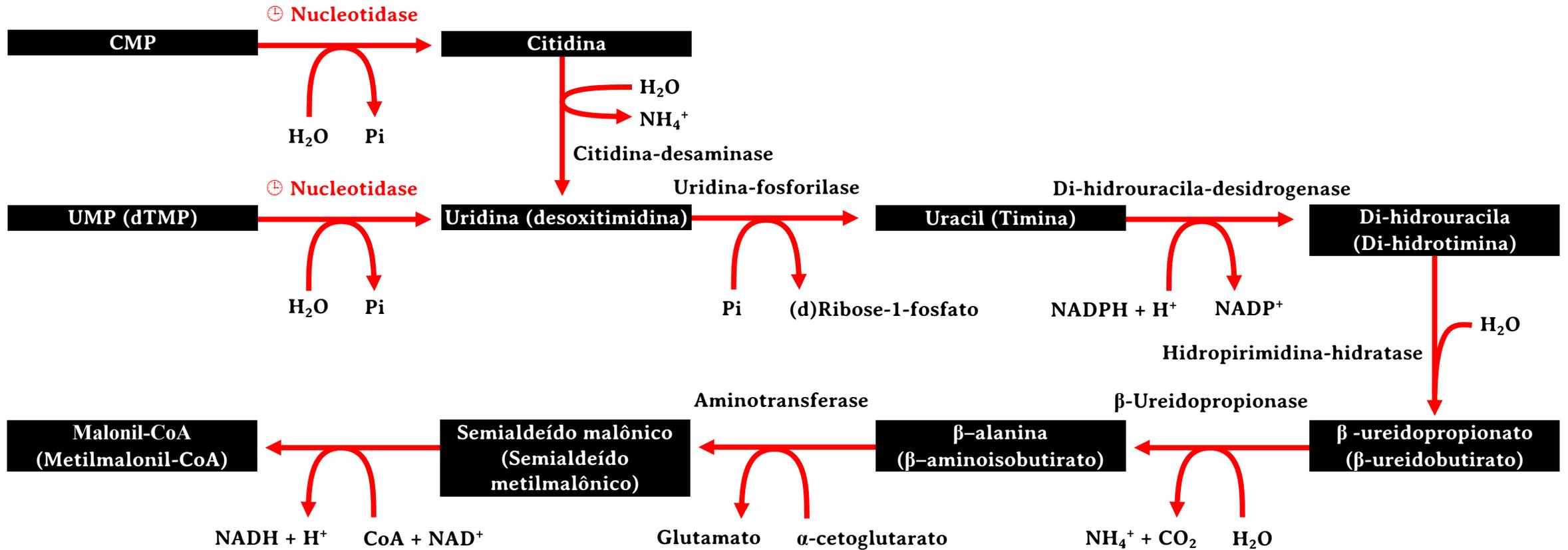
**Conceito:** síntese de desoxirribonucleosídeos a partir de ribonucleosídeos



7. Degradação de purinas



8. Degradação de pirimidinas



**Referências e Sugestões de Leitura**

Campbell MK, Farrell SO. Bioquímica. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning; 2017. Capítulo 23. Metabolismo do nitrogênio; p. 657-88.

Constanzo LS. Fisiologia. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2014. Capítulo 8. Fisiologia gastrointestinal; p. 329-82.

Gugliucci A, Thornburg R. Biossíntese e degradação de nucleotídeos. In: Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica médica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010. Capítulo 30; p. 403-12.

Harvey RA; Ferrier DR. Bioquímica ilustrada. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2012. Capítulo 22. Metabolismo dos nucleotídeos; p. 291-306.

Rodwell VW. Metabolismo do nucleotídeos de purinas e pirimidinas. In: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil PA. Bioquímica ilustrada de Harper. 30ª ed. Porto Alegre: AMGH; 2017. Capítulo 33; p. 347-58.

Motta VT. Bioquímica. 2ª ed. Rio de Janeiro: MedBook; 2011. Capítulo 18. Metabolismo dos nucleotídeos; p. 363-74.

Nelson C, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2014. Capítulo 22. Biossíntese de aminoácidos, nucleotídeos e moléculas relacionadas; p. 881-928.

Voet D, Voet JG. Bioquímica. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2013. Capítulo 28, Metabolismo dos ácidos nucleicos; p. 1107-42.

A low-angle, rear-view shot of a person's legs running on a paved road. The runner is wearing grey socks and black and white running shoes. The road has a yellow dashed line down the center. The background shows a horizon with hills under a cloudy, golden sky, suggesting a sunset or sunrise. The overall mood is energetic and focused.

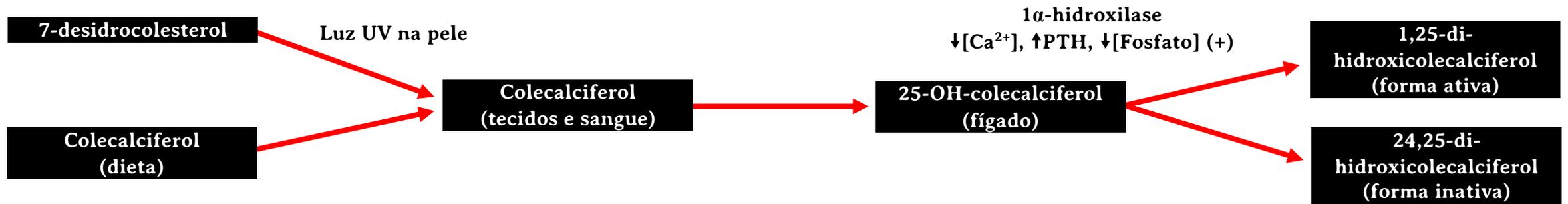
PARTE V  
VITAMINAS E  
MINERAIS

### 1. Vitaminas lipossolúveis

**Conceito:** vitaminas são compostos orgânicos e nutrientes essenciais de que o organismo necessita em pequenas quantidades para o normal funcionamento do seu metabolismo. As vitaminas lipossolúveis dependem da presença de lipídios na dieta, além de bile e suco pancreático

Vitamina	Sinônimo	Exemplos de fontes	Funções	Doenças associadas
A	Retinol	Hortaliças e frutas de cor alaranjada e verde escura	Síntese de pigmentos visuais e manutenção de tecidos epiteliais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cegueira noturna</li> <li>• Xeroftalmia</li> <li>• Problemas de pele</li> <li>• Diminuição da imunidade</li> </ul>
D	Calciferol	Derivados do leite e gema de ovo	Metabolismo de cálcio e fósforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raquitismo em crianças</li> <li>• Osteomalácia em adultos</li> </ul>
E	Tocoferol e tocotrienóis	Óleos vegetais, nozes e sementes	Antioxidante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anemia hemolítica leve</li> <li>• Déficit neurológico não específico</li> </ul>
K	K1 (filoquinona) e K2 (menaquinona)	Hortaliças e chás. A vitamina K2 é produzida também por bactérias do colo	Participa da coagulação sanguínea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hemorragias</li> </ul>

2. Síntese da forma ativa da vitamina D



### 3. Vitaminas hidrossolúveis I

**Conceito:** são vitaminas solúveis em água e, por isso, devem ser consumidas diariamente, ao contrário das lipossolúveis que podem ser armazenadas no tecido adiposo

Vitamina	Sinônimo	Exemplos de fontes	Funções	Doenças associadas
B <sub>1</sub>	Tiamina	Grãos integrais, legumes e porco	Síntese de tiamina pirofosfato, que participa da transferência de grupos aldeídos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beribéri: perda de apetite, fraqueza, dor nos membros, falta de ar e pés e pernas inchados</li> </ul>
B <sub>2</sub>	Riboflavina	Carnes, derivados do leite, grãos enriquecidos e hortaliças	Síntese de FAD e FMN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arriboflavinose: dor de garganta, lesões dos lábios e das mucosas bucais, glossite, conjuntivite, dermatite seborreica e anemia normocítica normocrômica</li> </ul>
B <sub>3</sub>	Niacina	Carnes, grãos e nozes	Síntese de NAD <sup>+</sup> e NADP <sup>+</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pelagra ou doença dos 3Ds: dermatite, diarreia e demência</li> </ul>
B <sub>5</sub>	Ácido pantotênico	Carnes, derivados do leite, frutas, grãos integrais e hortaliças	Síntese de coenzima A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anemia, palidez, fraqueza, fadiga, e, se for grave, falta de ar e tonturas</li> </ul>
B <sub>6</sub>	Piridoxona	Carnes, grãos integrais e hortaliças	Síntese do pirodoxal-fosfato que atua como coenzima em transaminações na remoção do grupo amino durante a degradação de aminoácidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anemia, neuropatia periférica, distúrbios neuropsiquiátricos, problemas de pele, doenças cardiovasculares e problemas de memória</li> </ul>
B <sub>7</sub>	Biotina	Carnes, legumes e hortaliças	Coenzima na síntese de malonil-CoA e na degradação de aminoácidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemas de pele, unhas, cabelos, neurológicos e fadiga</li> </ul>
B <sub>9</sub>	Ácido fólico	Grãos integrais, hortaliças, laranja, legumes e nozes	Síntese do tetra-hidro folato, uma coenzima na síntese de IMP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anemia, fadiga, fraqueza, irritabilidade, problemas de memória e concentração, dor de cabeça, palpitações cardíacas e irritação na língua</li> <li>Durante a gravidez, sua deficiência pode causar parto prematuro e más-formações como a espinha bífida</li> </ul>

#### 4. Vitaminas hidrossolúveis II

**Conceito:** são vitaminas solúveis em água e, por isso, devem ser consumidas diariamente, ao contrário das lipossolúveis que podem ser armazenadas no tecido adiposo

Vitamina	Sinônimo	Exemplos de fontes	Funções	Doenças associadas
B <sub>12</sub>	Cobalamina	Carnes, derivados do leite e ovos	Coenzima que participa da degradação de aminoácidos, isomerização e transferência de grupos metil e produção de células sanguíneas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hipocobalinemia, anemia perniciosa (subtipo da anemia megaloblástica), lesões nervosas</li></ul>
C	Ácido ascórbico	Brócolis, frutas cítricas e tomate	Antioxidante e síntese de colágeno	<ul style="list-style-type: none"><li>• Escorbuto: hematomas, sangramento nas gengivas, fraqueza, fadiga e irritação na pele</li></ul>

**5. Macrominerais**

**Conceito:** são aqueles cuja necessidade é superior a 200 mg por dia

<b>Mineral</b>	<b>Exemplos de fontes</b>	<b>Funções</b>	<b>Doenças associadas</b>
Cálcio	Derivados do leite, hortaliças de cor verde-escura e legumes	Composição de tecidos mineralizados, coagulação sanguínea, funções nervosa e muscular	• Debilidade de crescimento e perda de massa óssea (osteoporose)
Fósforo	Derivados do leite, carnes e grãos	Composição de tecidos mineralizados e síntese de nucleotídeos	• Perda de massa óssea
Enxofre	Carnes	Composição de aminoácidos	• Debilidade de crescimento
Sódio	Sal de cozinha e alimentos salgados	Função nervosa e equilíbrio osmótico	• Cãimbras e perda de apetite
Cloro	Sal de cozinha e alimentos salgados	Síntese do suco gástrico	• Debilidade de crescimento
Potássio	Frutas, carnes, derivados do leite, hortaliças, grãos	Função nervosa	• Fraqueza muscular, náuseas, paralisias e falências cardíacas
Magnésio	Grãos integrais, hortaliças de folhas verdes	Cofator enzimático	• Distúrbios do sistema nervoso

**6. Microminerais**

**Conceito:** são aqueles cuja necessidade é inferior a 200 mg por dia

<b>Mineral</b>	<b>Exemplos de fontes</b>	<b>Funções</b>	<b>Doenças associadas</b>
Ferro	Carnes, ovos, legumes, grãos integrais, hortaliças de folhas verdes	Composição da hemoglobina e outras hemeproteínas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Anemia ferropriva</li></ul>
Flúor	Água fluoretada, chá, frutos do mar	Composição de tecidos mineralizados	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cárie</li></ul>
Iodo	Alimentos de origem marinha, sal iodado	Composição de hormônios tireoidianos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bócio</li></ul>

**Referências e Sugestões de Leitura**

Alberts B, Johnson A, Lewis J, Morgan D, Raff M, Roberts K et al. *Biologia molecular da célula*. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2017. Capítulo 3, Proteínas; p. 109-72.

Constanzo LS. *Fisiologia*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2014. Capítulo 9. Fisiologia endócrina; p. 383-446.

Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB. *Biologia de Campbell*. 10ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2015. Capítulo 41, Nutrição animal; p. 892-914.

Este livro apresenta as principais vias do metabolismo de carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos na forma de fluxogramas que apresentam informações como: esquemas das principais reações químicas com os substratos, as enzimas e os produtos intermediários e finais; locais onde ocorrem; as enzimas regulatórias (incluindo seus inibidores e ativadores); equações gerais; e o rendimento energético. Esta obra apresenta ainda alguns quadros que resumem tópicos importantes relacionados à Bioquímica Metabólica.

