

# 1.1 Energia

Para aprender mais sobre **nutrição esportiva (NE)** e aplicar corretamente o conhecimento em situações que possam surgir em diferentes ambientes (clubes, academias, clínicas etc.), com atletas de níveis variáveis (recreacional, amador, competitivo), é essencial saber sobre metabolismo e bioenergética.

O movimento humano, no dia a dia e nos esportes, é caracterizado como um evento que envolve energia. O estudo científico dos princípios que restringem a troca de energia é conhecido como **termodinâmica ou energética**. De forma ampla, os mesmos princípios que governam eventos envolvendo energia no mundo físico também se aplicam ao mundo biológico. O estudo científico de eventos envolvendo energia no mundo biológico é chamado **bioenergética**.

Para explicar energia no corpo humano, temos que ter duas coisas em mente. Primeiro, a energia não é criada, mas obtida de uma forma e convertida em outra. Segundo, os processos de conversão de energia são relativamente ineficientes, e a maior parte da energia é liberada de forma inutilizável: calor (Brooks et al., 2013).

Neste módulo, vamos desenvolver alguns conceitos básicos ligados à bioenergética, ao metabolismo e à sua aplicação para estimar os requisitos energéticos diários de pessoas ativas e atletas.

## 1.1.1 Metabolismo

Metabolismo engloba todas as reações químicas que acontecem no corpo; isso inclui a degradação de moléculas complexas em estruturas menores, conhecida como **catabolismo**, além da síntese de moléculas complexas baseadas em outras moléculas mais simples e menores, conhecida como **anabolismo**. (Tortora & Derrickson, 2008). Para simplificar, o metabolismo pode ser definido como a soma de todos os processos que acontecem em um organismo vivo (Brooks et al., 2013).

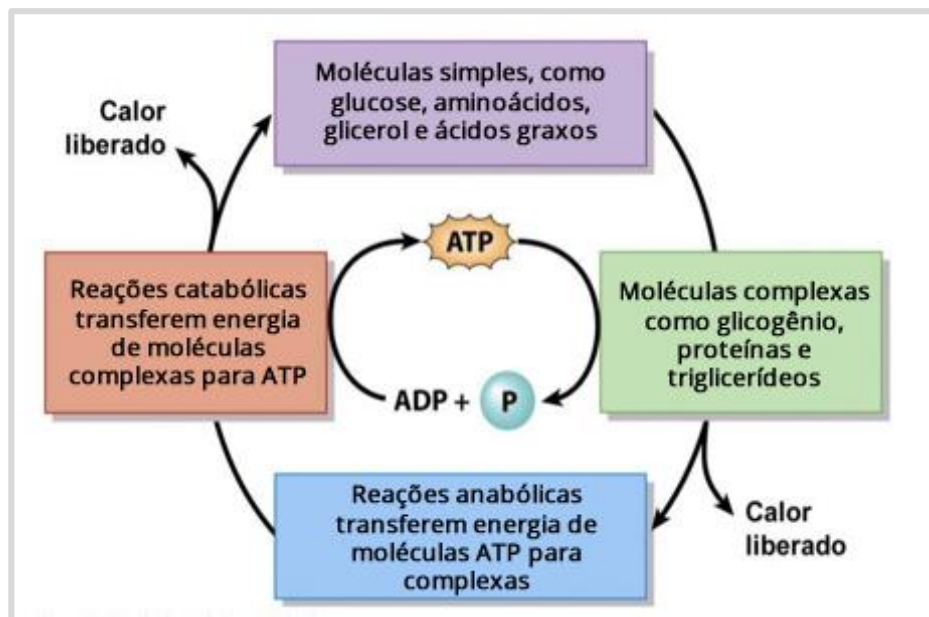
Reações químicas acontecem em um organismo quando ligações químicas são formadas ou destruídas entre substâncias. As enzimas funcionam como catalisadoras que aumentam a velocidade das reações químicas.

**Metabolismo** pode ser considerado um processo que mantém o equilíbrio energético entre reações anabólicas e catabólicas (Tortora & Derrickson, 2008). Durante reações anabólicas, mais energia é consumida do que produzida durante o processo; essa energia vem de reações catabólicas. Consequentemente, as reações catabólicas liberam a energia que está armazenada nas moléculas que foram degradadas. Essa energia é

convertida em trifosfato de adenosina (ATP) e depois é usada para fornecer energia para reações anabólicas (Figura 1).

O calor produzido por essas reações químicas é chamado de **taxa metabólica** e é representada pela taxa de produção de calor. Todas essas reações dependem de reações de oxidação biológica; portanto, avaliar o consumo de oxigênio é uma boa estimativa da taxa de produção de calor ou da taxa metabólica (Brooks et al., 2013).

**Figura 1: A função do trifosfato de adenosina (ATP) na conexão entre reações anabólicas e catabólicas.**



Fonte: Tortora & Derrickson, 2008, p. 507.

Antes de continuarmos a examinar diferentes aspectos da bioenergética, é necessário definir alguns termos importantes (Brook et al., 2013):

- **Energia** = a habilidade de fazer um trabalho
- **Trabalho** = a produção de uma força agindo sobre uma distância. Essa é uma definição mecânica. Dentro das células, é mais comum que seja realizado trabalho biológico (químico ou elétrico) em vez de trabalho mecânico. No entanto, é possível mudar e converter energia de uma forma para a outra.
- **Potência**: taxa de produção de trabalho
- **Sistema**: unidade organizada de forma funcional. Os sistemas podem variar do nível microscópico (mitocôndria) para o nível do corpo inteiro.
- **Turnover**: em um organismo, moléculas de energia são constantemente esgotadas e substituídas. Turnover se refere à taxa de substituição na qual um estado metabólico estável é expresso como a taxa de uso sendo equivalente à taxa de substituição.

## 1.1.2 Produção de Energia Mecânica e Sistemas de Energia

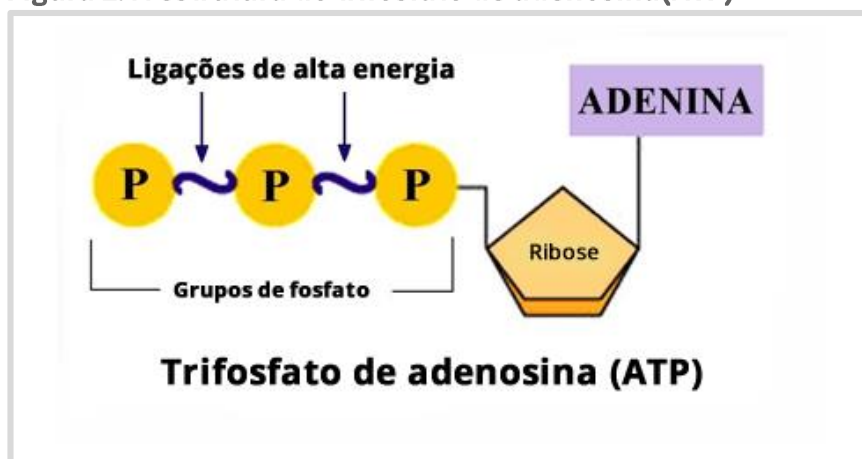
O estudo da energia e dos princípios que controlam sua troca começou no século XIX e se chamava **Termodinâmica**. Hoje um termo mais adequado e mais utilizado é **Energética**. A energia existe em seis formas básicas: térmica, química, mecânica, elétrica, luminosa e atômica.

Máquinas mecânicas convertem energia em calor, o qual é convertido em energia mecânica. Por outro lado, máquinas biológicas (o corpo humano) não são capazes de converter calor em outros tipos de energia. Em sistemas biológicos, o calor é um componente essencial, mas inútil, das reações em que outras formas de trabalho tenham sido realizadas (Brook et al., 2013).

Há mecanismos presentes para converter energia em cada célula. As células precisam de uma substância capaz de receber a energia liberada das múltiplas reações e, ao mesmo tempo, capaz de fornecer energia para reações que precisarem dela. Em nossas células, essa substância é quase sempre **ATP**, por isso é reconhecida como um intermediário energético comum (Brooks et al., 2013).

O ATP pertence ao grupo de nucleotídeos. Sua estrutura é composta por uma base nitrogenada (adenina), uma de açúcar (ribose) e 3 fosfatos (Figura 2), em que o último é normalmente chamado de “fosfato de alta energia”. Essa reação acontece quando o ATP é quebrado em difosfato de adenosina (ADP). Para liberar energia, envolve-se água, motivo pelo qual esses tipos de reações são chamadas de hidrólise (que, por sua vez, significa quebrado ou dividido por água).

**Figura 2: A estrutura do trifosfato de adenosina(ATP)**



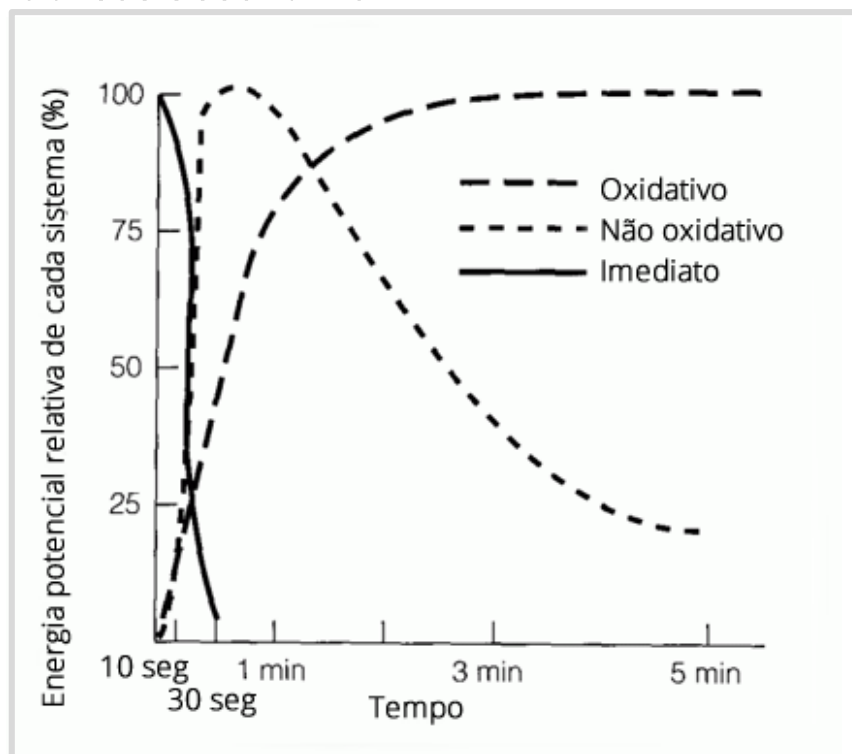
Fonte: [Título da Imagem acima do trifosfato de adenosina]. (s.d.). Retirado de <http://goo.gl/xAK69Z>

Portanto, o ATP pode ser considerado um intermediário químico comum usado para fornecer energia para trabalho muscular e outras formas de trabalho

das células. No entanto, há uma baixa concentração de ATP nas células musculares. Estima-se que a quantidade de ATP só pode fornecer um trabalho muscular de alta intensidade por 2 segundos (Platonov, 2001). De qualquer forma, as células são preparadas para manter uma concentração relativamente constante de ATP celular em taxas de uso diferentes (taxas de turnover); isso é conhecido como **homeostase de ATP** (Brooks et al., 2013).

Os músculos possuem três fontes de energia (ou sistemas de produção de energia) que permitem o apoio de homeostase de ATP: **imediate, não oxidativo, oxidativo**. (Figura 3) (Brooks et al., 2013).

**Figura 3: Sistemas energéticos dos músculos de acordo com a duração do esforço. Representação esquemática de quanto tempo cada sistema pode durar durante o exercício máximo**



Fonte: Brooks, Fahey, e Baldwin, 2013, p. 48.

### Fontes de energia imediatas

Há três componentes principais que compreendem as fontes imediatas da energia muscular. Primeiro, há a reserva de ATP. A reação que quebra o ATP é catalisada pela **enzima ATPase**, que pode ser resumida da seguinte forma:



A segunda fonte imediata de energia celular é **Fosfocreatina (PCr)**, que fornece uma reserva de energia de fosfato para regenerar a ATP consumida durante a contração muscular. A interação entre ADP, PCr e ATP quebrado é

catalisada pela **Enzima de creatina quinase** e pode ser resumida como:



A terceira fonte imediata de energia celular envolve a enzima **Adenilato quinase**, a qual dentro de um músculo é normalmente chamada de **Mioquinase**, e catalisa a seguinte reação:



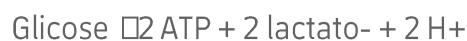
AMP é importante porque sua presença dentro de uma célula muscular é um sinal importante para ativar mecanismos que armazenam ADP e ATP (Brooks et al., 2013).

ATP e PCr, que juntos são chamados normalmente de **fosfagênicos**, são uma reserva de energia muito importante. Estão imediatamente disponíveis, mas não aguentam trabalho por mais do que alguns segundos (5-15 segundos), dependendo de outras fontes de energia para apoio (Brooks et al., 2013).

### **Fontes de energia não oxidativa (glicolíticas)**

Os combustíveis usados para esses sistema de energia são glicose e glicogênio. Os processos nos quais a energia é obtida a partir deles são chamados de **glicólise** e **glicogenólise**, respectivamente.

A glicólise pode ser resumida com a seguinte equação (Brooks et al., 2013):



Quantitativamente, a energia disponível a partir de fontes não oxidativas é superior àquela obtida a partir de fontes imediatas. No entanto, mesmo que a energia obtida por ambas as fontes seja combinada, seria uma pequena fração se comparada com a energia disponível a partir de fontes oxidativas. Portanto, atividades musculares intensas que durem mais do que 30 segundos não podem ser mantidas sem a ajuda do metabolismo oxidativo (Figura 3). Além disso, o metabolismo oxidativo é necessário para recuperar os sistemas imediato e não oxidativo depois de exercícios intensos (Brook et al. 2013).

### **Fontes de energia oxidativa**

Os combustíveis possíveis do sistema de energia oxidativo incluem CHO, gorduras e alguns aminoácidos (AA) (Figura 4). Embora a glicose possa ser usada por mecanismos glicolíticos (ver equação anterior), reações oxidativas permitem a extração de mais energia de uma molécula de glicose:

Glicose + O<sub>2</sub> → 36 ATP + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

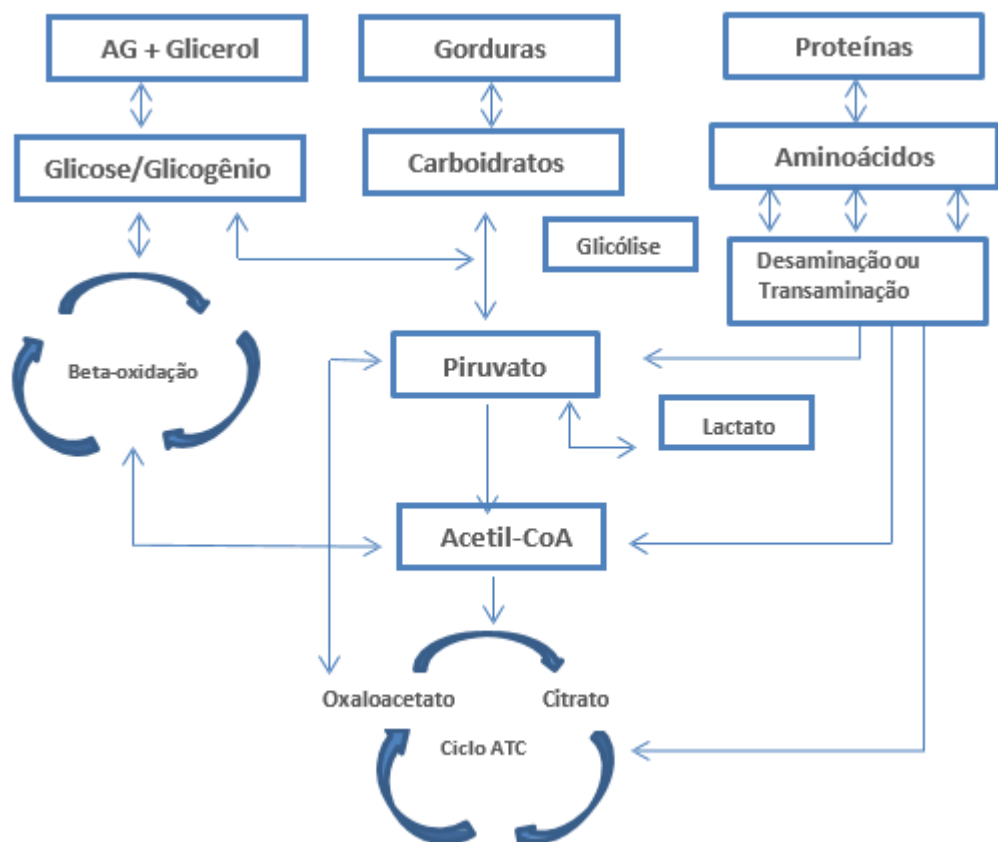
Isso acontece devido ao fato de que o metabolismo oxidativo permite um catabolismo mais completo de moléculas de glicose.

Ácidos graxos (AG), ao serem catabolizados pelo metabolismo oxidativo, liberam uma quantidade muito maior de energia que a glicose. Por exemplo, se uma molécula de palmitato (um AG comum e de tamanho médio) é oxidada, obtém-se:

Palmitato + O<sub>2</sub> → 129 ATP + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

Os aminoácidos (AA) também podem seguir vias oxidativas, mas, para fazer isso, o resíduo contendo nitrogênio (N<sub>2</sub>) precisa ser antes removido. Isso normalmente acontece através da troca de N<sub>2</sub> com outro composto (**transaminação**) ou através de um processo único de remoção do N<sub>2</sub> (**desaminação oxidativa**). Em qualquer caso, os AA não são normalmente usados para produzir energia dentro dos músculos e só compõem uma pequena fração da ATP sintetizada (Brooks et al., 2013).

**Figura 4: Principais vias metabólicas no sistema de energia oxidativo, usando CHO, gorduras e proteínas como combustíveis.**



Fonte: Adaptado de Jeukendrup e Gleeson, 2004.

### 1.1.3 Quantificação do Gasto Energético na Atividade Física

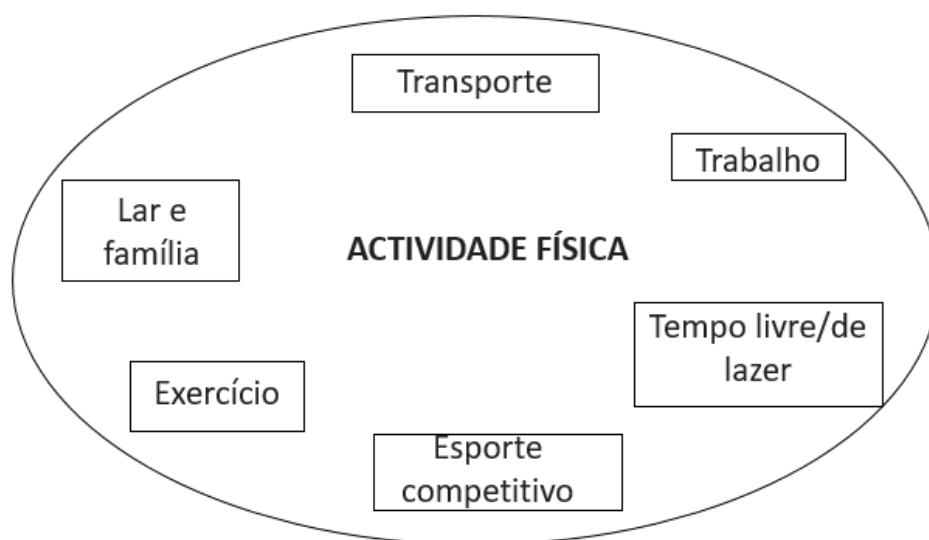
Uma questão que é muitas vezes negligenciada é que o termo atividade física (AF) não é sinônimo de gasto energético (GE). AF é o comportamento caracterizado pelo movimento corporal como resultado da ação muscular que resulta em GE.

Há muitos tipos de categorias de AF (Figura 5) que às vezes se sobrepõem, dependendo do objetivo pelo qual a categorização foi feita. Por exemplo, caminhar rápido pode ser um meio de transporte ou até fazer parte de um programa de exercícios planejados. Devido a essa sobreposição de subcategorias de AF, é complicado medir categorias de forma independente (Pettee, Tudor-Locke, & Ainsworth, 2007).

Outras categorizações de AF podem ser baseadas na intensidade com a qual elas são executadas, isto é, a taxa de GE atribuída a uma atividade específica (Ainsworth et al., 1993; Ainsworth et al., 2000; Pate et al., 1995).

A AF é normalmente baseada na frequência (ex.: número de vezes por semana) e duração (ex.: duração de cada sessão). No entanto, o GE reflete o custo metabólico de uma AF específica e é produto da frequência, duração e intensidade daquela atividade.

**Figura 5: Componentes da Atividade Física:**



Fonte: Adaptado de Pettee et al., 2007.

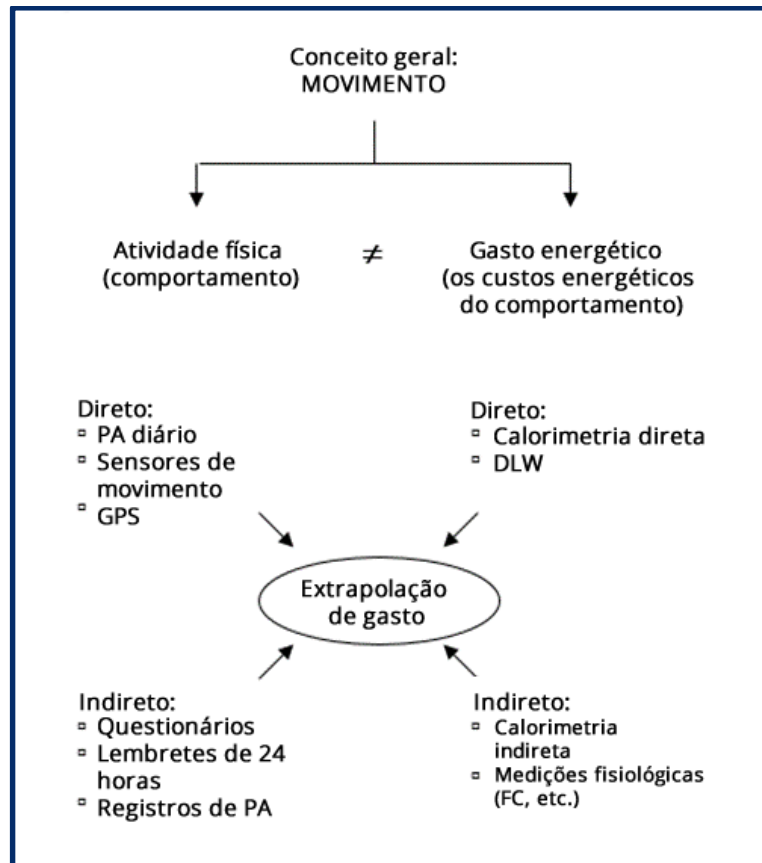
Outro ponto importante em relação à estimativa do GE de determinada atividade é a possibilidade de se usar balanças em que a intensidade ou custo energético possa ser expresso como absoluto (por exemplo, kcal/kg/hora) ou como um número relativo (% de capacidade máxima atual). Apesar do fato de que muitos fatores podem influenciar o GE em uma escala

relativa (ex.: idade, peso corporal, nível de desempenho), se presumirmos que há uma eficiência mecânica relativa constante em humanos (~23%) em relação ao trabalho mecânico, então o GE absoluto é normalmente constante para uma determinada atividade.

Para entender melhor o cálculo de AF e GE, pode ser útil ter um mapa conceitual no qual movimento é o conceito central. Esse conceito, por sua vez, pode ser operacionalizado por duas variáveis mensuráveis: AF e GE (Figura 6). Ambas as variáveis podem ser medidas através de métodos diretos e indiretos. No entanto, os resultados dessas medidas são normalmente extrapolados para uma unidade de medida de GE (kcal ou kJ) devido à sua relação com a ingestão de energia e, por fim, ao seu efeito sobre o EE.

Resumindo, para equilibrar de forma adequada a ingestão de energia de um atleta com seu gasto energético, são necessárias medidas válidas que permitem a quantificação de padrões de AF e GE. A importância de cumprir adequadamente os requerimentos energéticos de um atleta é baseada no fato de que a ingestão adequada de energia é essencial para se manter a massa corporal magra e também as funções imunológica e reprodutiva, e para o objetivo final de otimizar desempenhos esportivos (American College of Sport Medicine, 2000). Além disso, uma deficiência crônica de ingestão de energia foi considerada um dos possíveis fatores contribuintes para o excesso de treinamento (Leutholtz & Kreider, 2001).

**Figura 6: Componentes da Atividade Física:**



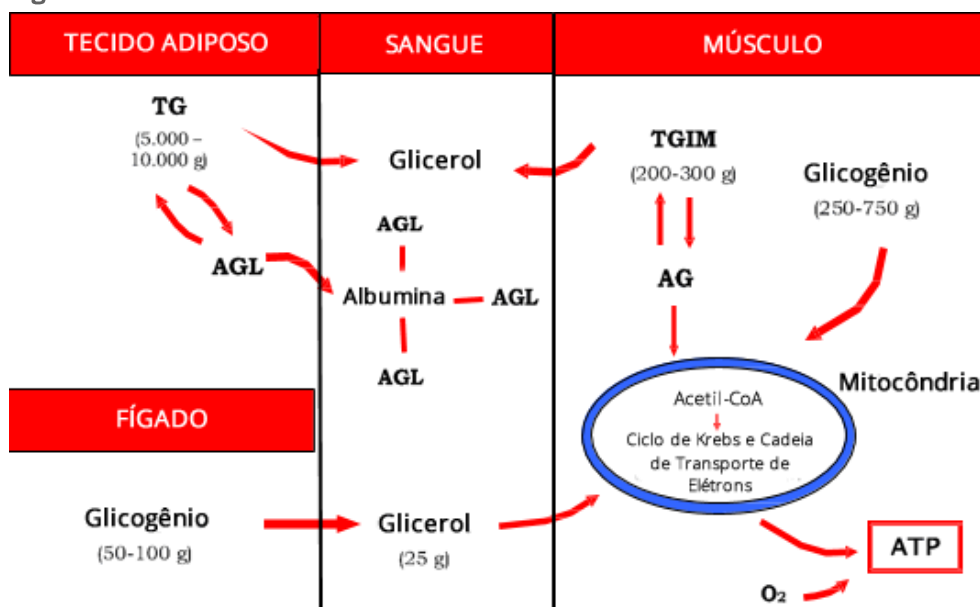
Fonte: Adaptado de Pettee et al., 2007. Abreviações: GPS: Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System, em inglês); AF: Atividade Física; ADM: Água Duplamente Marcada; FC: Frequência Cardíaca

### 1.1.4 Reservas de energia

Os substratos que são valiosos para nosso corpo para a produção de ATP – a via oxidativa sendo a principal (exceto no caso de esforços intensos e breves) – são os carboidratos (CHO), as gorduras e as proteínas. Embora proteínas possam ser usadas como combustível, suas principais funções são estrutural e regulatória e é por isso que não são consideradas substratos energéticos importantes. Isso converte CHO e gorduras nos principais substratos energéticos para músculos esqueléticos durante o exercício (Figura 7) (Coyle, 1997).

Os triglicerídeos (TG) armazenados dentro dos adipócitos no tecido adiposo podem compor de 5 kg a 10 kg em homens e mulheres que possuem de 10% a 30% de gordura corporal. Essas reservas de TG são hidrolisadas através de lipólise para se tornarem glicerol e ácidos graxos livres (AGL). Os AGLs são tratados como moléculas hidrofóbicas (substâncias que não possuem afinidade com a água) e devem se unir à albumina para serem transportados pelo sangue para os músculos esqueléticos, por exemplo (Figura 7).

**Figura 7: Esquema das principais áreas de armazenamento e mobilização de CHO e gorduras.**



Fonte: Adaptado de Coyle, 1997. Abreviações: TGIM, Triglicerídeos Intramusculares; AGL, Ácidos Graxos Livres

Aproximadamente entre 200 g e 300 g de gordura é armazenado como TG dentro de músculos esqueléticos (TGIM) e representam uma fonte de energia adicional importante para os músculos. A taxa de contribuição dos TGIM para a energia do músculo esquelético durante o exercício é menor que 1/3 da taxa de contribuição do glicogênio dos músculos (Coyle, 1997). Portanto, as duas principais fontes de AGL para músculos esqueléticos durante o exercício são derivadas de adipócitos no tecido adiposo e AGL derivados de TGIM.

Os carboidratos são armazenados no corpo como glicogênio. As duas principais reservas corporais estão localizadas no fígado e em músculos esqueléticos. Essas reservas corporais de glicogênio são suficientes para cobrir a quantidade de CHO consumida pelo corpo em um dia (Flatt, 1995). Dependendo dos padrões da dieta e da AF, as reservas glicogênio nos músculos podem variar entre 250 g e 750 g. No entanto, a quantidade de glicogênio disponível para realizar exercícios depende da massa magra ativada durante o esforço (por exemplo, o glicogênio nos músculos só serve de combustível para os músculos nos quais está armazenado). Além disso, em média, há cerca de 80 g de glicogênio no fígado (Coyle, 1997), sendo a reserva máxima em adultos de 120 g (Flatt, 1995). Essa reserva hepática, que pode hidrolisar a glicose, também pode ser transportada pelo sangue para músculos a fim de ser oxidada e fornecer energia. Devido à alta taxa de oxidação de CHO necessária para sustentar um exercício intenso e prolongado, um indivíduo pode esgotar suas reservas e sentir fadiga durante o exercício (Coyle, 1997).