

FISIOLOGIA DO TREINO

José Gomes Pereira

3

INSTITUTO PORTUGUÊS DO DESPORTO E JUVENTUDE //
PROGRAMA NACIONAL DE FORMAÇÃO DE TREINADORES

-
1. BIOENERGÉTICA
 2. FISIOLOGIA CARDIORRESPIRATÓRIA
 3. TERMORREGULAÇÃO E FISIOLOGIA DOS LÍQUIDOS ORGÂNICOS
-

Índice

1. BIOENERGÉTICA	3
1.1 NOÇÃO DE CAPACIDADE E POTÊNCIA DE CADA PROCESSO ENERGÉTICO	3
1.2 FATORES, TREINÁVEIS E NÃO TREINÁVEIS, QUE DETERMINAM A FADIGA E TEMPO DE RECUPERAÇÃO, EM CADA TIPO DE ESFORÇO, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA	6
1.2.1 Fadiga anaeróbia aláctica	6
1.2.2 Fadiga anaeróbia láctica	7
1.2.3 Fadiga aeróbia	8
2. FISILOGIA CARDIORRESPIRATÓRIA	10
2.1 MODIFICAÇÃO DOS VOLUMES PULMONARES NA ADAPTAÇÃO AGUDA AO ESFORÇO	10
2.2 MODIFICAÇÃO DA FREQUÊNCIA CARDÍACA, VOLUME SISTÓLICO E DÉBITO CARDÍACO NA ADAPTAÇÃO AGUDA AO ESFORÇO	14
2.3 NOÇÃO DE CONSUMO DE OXIGÉNIO, CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÉNIO, LIMIAR AERÓBIO E LIMIAR ANAERÓBIO	18
3. TERMORREGULAÇÃO E FISILOGIA DOS LÍQUIDOS ORGÂNICOS	23
3.1 EQUILÍBRIO HIDRO-ELETROLÍTICO E SUAS MODIFICAÇÕES NA ADAPTAÇÃO AGUDA AO ESFORÇO	23
3.2 ESPECIFICIDADES RESULTANTES DAS CARATERÍSTICAS DO MEIO AMBIENTE: CALOR E HUMIDADE	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

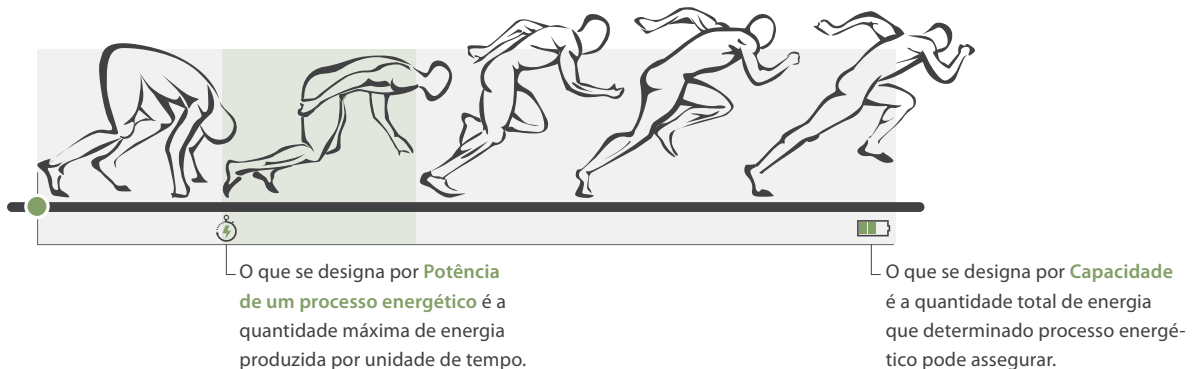


OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Descrever e diferenciar os diferentes processos de instalação da fadiga bioenergética e sua treinabilidade. Interpretar os parâmetros fisiológicos indicadores da resposta cardiorespiratória ao exercício muscular. Identificar e diagnosticar as interações entre exercícios muscular, meio-ambiente e alterações hidro-eletrolíticas e da termorregulação.

1. BIOENERGÉTICA

1.1 Noção de capacidade e potência de cada processo energético



Se considerarmos o processo de produção de energia anaeróbio aláctico, o exemplo típico de potência é o de um esforço muito breve, em que os grupos musculares envolvidos têm por objetivo imprimir uma aceleração elevada a uma determinada massa, podendo essa massa ser o corpo do indivíduo (impulsão, partida blocos, pliometria, etc.) ou um objeto (arremesso, lançamentos, remate, etc.). Este tipo de desempenho muscular, em potência, depende da atividade das enzimas anaeróbias alácticas que catalisam as reações bioquímicas necessárias a uma rápida regeneração do ATP. Por seu turno, a capacidade anaeróbia aláctica identifica-se com a quantidade total de energia que se obtém do processo anaeróbio aláctico, fortemente dependente da quantidade de ATP e fosfocreatina (PCr) que o músculo tem armazenado. Um exercício de força explosiva é um exemplo de potência anaeróbia aláctica. Um exercício de velocidade máxima prolongada, até cerca dos 20 s de esforço, é um exemplo de capacidade anaeróbia aláctica.



O processo de produção de energia anaeróbia láctica utiliza a glicólise anaeróbia para ressíntese do ATP. Ou seja, utiliza o glicogénio muscular, metabolizado anaerobiamente no citoplasma da célula, com formação de ATP e ácido láctico. Trata-se de um processo mais lento (menos potente) que o anaeróbio aláctico. Mas, e porque pode ser utilizado por um período de tempo superior com uma maior quantidade global de energia produzida, tem mais capacidade.

A potência anaeróbia láctica depende da velocidade das reações enzimáticas anaeróbias lácticas. Na prática, corresponde à produção máxima de lactato por unidade de tempo. A capacidade anaeróbia láctica é a quantidade total de energia que se obtém pelo processo anaeróbio láctico. Na prática corresponde à tolerância ao ácido láctico. Não depende nem é limitada pelas reservas em glicogénio, mas depende da eficácia dos sistemas tampão que permitem combater e tolerar durante mais tempo a acidose láctica. Um exercício contínuo de duração entre os 40 e 60 s, realizado à intensidade máxima para essa duração, é um exemplo de potência anaeróbia láctica (400 metros no atletismo). Um exercício contínuo de duração entre os 90 e 150 s, realizado à intensidade máxima para essa duração, é um exemplo de capacidade anaeróbia láctica.



A potência aeróbia é a quantidade máxima de energia produzida por unidade de tempo através do processo aeróbio. O parâmetro fisiológico que melhor expressa a potência aeróbia é o $VO_2\text{max}$.

De facto, em esforço, a quantidade de energia aeróbia produzida depende da quantidade de oxigénio consumido e do substrato energético utilizado. Logicamente, o momento em que o processo energético aeróbio está a produzir uma quantidade máxima de energia por unidade de tempo é coincidente com a obtenção do $VO_2\text{max}$. A capacidade aeróbia identifica-se com a quantidade de energia aeróbia produzida. O processo aeróbio é teoricamente inesgotável. No entanto, para a caracterização da capacidade há que encontrar um parâmetro fisiológico que traduza o “teto” de utilização do processo aeróbio sem acumulação

significativa de fadiga oriunda de outros processos energéticos. No âmbito da fisiologia do treino desportivo, aceita-se que o estado estacionário máximo para o lactato e o início da fase de compensação ventilatória para a acidose, expressam de forma satisfatória a capacidade aeróbia. Ou seja, o limiar anaeróbio pode ser considerado o parâmetro fisiológico de eleição para a avaliação da capacidade aeróbia no atleta. A maratona, exercício contínuo de longa duração, é um exemplo de um esforço de capacidade aeróbia. No entanto, o desempenho motor em esforços de duração inferior à maratona também são determinados pela capacidade aeróbia. Ou seja, exercícios contínuos, de duração superior a 10 minutos, de intensidade constante e máxima para a duração considerada. Os esforços de potência são aqueles que se identificam com intensidades próximas do VO_2 max. A sua duração, em esforços contínuos, situa-se entre os 5 e 10 minutos, dependentes das características e condição física do atleta.



Os exemplos apresentados anteriormente, por questões meramente didáticas, reportam apenas esforços contínuos. No entanto, nas modalidades de características intermitentes também se considera a mesma classificação. Aliás, os diferentes métodos de treino, para os objetivos atrás considerados, utilizam, por via de regra, repetições, séries e intervalos. O que importa é que a dinâmica da carga administrada proporcione um trabalho metabólico específico, compatível com a produção de energia em regime de potência ou capacidade.

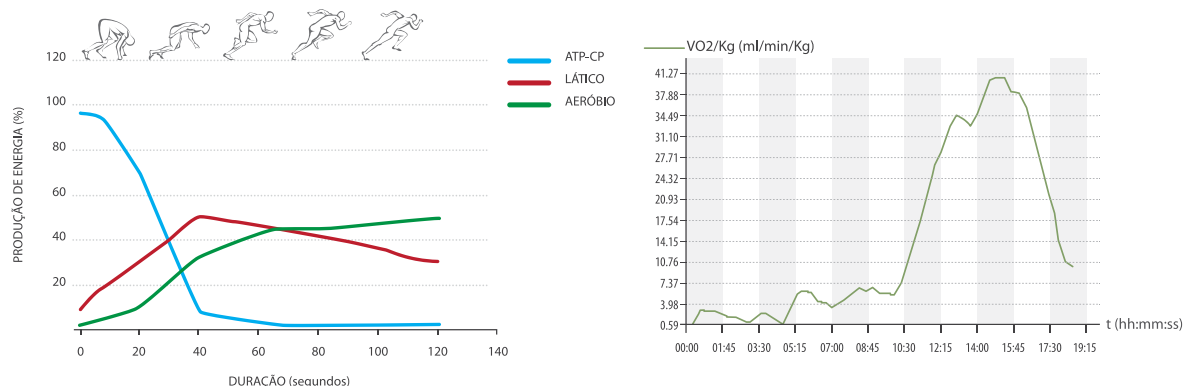


FIGURA 1 - O treino da potência e capacidade de cada processo energético é altamente específico. A sua estimulação e treino utilizam metodologias-cargas com volumes e intensidades diferentes. Na imagem da esquerda, o pico de cada curva corresponde à potência desse processo energético e área que cada curva define em relação aos dois eixos corresponde à capacidade. No treino da capacidade e potencia de cada processo, importa que a metodologia utilizada solicite, repetidamente, atividades metabólicas onde a estimulação de um processo energético seja preponderante em relação aos outros. Caso contrário, estaremos a solicitar um esforço misto, situação muito frequente no desempenho específico global de certas modalidades desportivas, mas que nem sempre é compatível com o treino analítico das diferentes formas de manifestação da capacidade e potência de cada processo de produção de energia. No gráfico da direita podemos observar a monitorização do consumo de oxigénio no decurso de um exercício de treino onde o objetivo foi o desenvolvimento da capacidade aeróbia. Nesta repetição com a duração de 5 minutos verificamos que o atleta atingiu cerca de 40 ml de consumo de oxigénio por kg de peso corporal.




1.2 Fatores, treináveis e não treináveis, que determinam a fadiga e tempo de recuperação, em cada tipo de esforço, levando em consideração o processo de produção de energia.

1.2.1 FADIGA ANAERÓBIA ALÁCTICA

No exercício de intensidade muito elevada e curta duração, caso dos esforços de potência e capacidade anaeróbia aláctica, a transferência de energia deve ser rápida. Desta forma, e porque o refazer da síntese também é rápido, as concentrações iniciais musculares em ATP não se alteram significativamente, pelo menos nas fases iniciais do exercício. Tal situação deve-se ao facto da célula muscular também possuir outros compostos em fosfatos energéticos para além do ATP, como por exemplo a PCr. O catabolismo da PCr liberta a energia necessária ao refazer da síntese rápida do ATP. Esta reação química é catalizada pela enzima creatina-quinase. Residem aqui duas causas para a fadiga anaeróbia aláctica, as reservas em PCr e a atividade enzimática da creatina-quinase (CK). Ambas, tanto as reservas em PCr como a atividade enzimática da CK, são treináveis.

Vários estudos demonstram que a CPr sofre um esgotamento quase completo nos esforços anaeróbios alácticos específicos. Só o facto do indivíduo conseguir esgotar as suas reservas em CPr é um bom indicador de capacidade anaeróbia aláctica. Só com uma eficaz estimulação e adaptação das fibras tipo II, onde se verifique um aumento da atividade da CK, essa situação é possível. A fadiga anaeróbia aláctica também pode ser provocada por causa mecânica. Com efeito, os esforços de potência e capacidade anaeróbia aláctica acarretam o desenvolvimento de tensões musculares elevadas com uma significativa sobrecarga mecânica. As alterações estruturais resultantes

 A fadiga anaeróbia aláctica também pode ser provocada por causa mecânica.

desta carga anaeróbia aláctica podem explicar a fadiga de causa mecânica, que neste tipo de esforço é superior atendendo às mais elevadas tensões desenvolvidas pelos músculos solicitados. Relembremos que sob efeito de um *stress* mecânico, como é o exercício, a capacidade funcional do músculo vai diminuindo por agressão à sua arquitetura miofibrilar, com lesões ultra estruturais várias. As microlesões assim estabelecidas acompanham-se de uma diminuição da capacidade de resposta muscular por efeito de uma resposta inflamatória local e libertação de mediadores químicos da inflamação e da dor (mialgias de fadiga).

1.2.2 FADIGA ANAERÓBIA LÁCTICA

A fadiga anaeróbia láctica é provocada pela acidose metabólica. Ocorre em esforços intensos em que a preponderância da produção energética é assegurada pela glicólise anaeróbia. Por este motivo também se designa por processo glicolítico. A glicólise não se processa em meio ácido, fica inibida. A generalidade dos estudos sobre esta matéria têm responsabilizado a baixa do pH pela inibição de enzimas-chave anaeróbias lácticas, nomeadamente a fosforilase e fosfofrutoquinase. Esta inibição enzimática bloqueia a glicólise láctica, não permitindo a continuidade do trabalho muscular por esta via. Uma vez atingido este estado, só é possível prosseguir o esforço através do refazer da síntese aeróbia do ATP. No entanto, nos esforços lácticos maciços, a acidose instala-se de forma tão rápida (esforços de potência e tolerância láctica) que o músculo interrompe a sua atividade mecânica e, durante um lapso de tempo, até se obter uma relativa normalização do pH intracelular, nem aerobicamente é possível prosseguir a atividade muscular (movimento). Esta perturbação da atividade mecânica do músculo também se deve à acidose, neste caso pela sua interferência no normal funcionamento do retículo sarcoplasmático – organelo celular responsável pela libertação do cálcio na fase de contração, e recaptação do cálcio na fase de relaxamento. Ainda considerando os esforços lácticos de potência e os que solicitam uma elevada tolerância por parte do atleta, é também possível considerar a interferência da acidose na afinidade do oxigénio pela mioglobina, com repercussões no funcionamento mitocondrial – dificuldade de solicitar o metabolismo aeróbio com elevado nível de acidose intracelular.

O ácido láctico também é um mediador químico da dor, estimulando os nociceptores (recetores da dor) musculares, o que pode explicar a mialgia típica neste tipo de esforços. As náuseas e sensação de enjojo que os atletas experimentam nos esforços de tolerância láctica ficam a dever-se à ação da acidose sobre o centro emético, responsável pela sensação de vômito eminente.

De facto, a diminuição do pH é o principal fator responsável pela fadiga láctica. O organismo combate a acidose através de substâncias tampão que existem no organismo. A principal substância tampão é o bicarbonato (HCO_3^-). O sistema de regulação do equilíbrio ácido-base através do bicarbonato pode ser expresso da seguinte forma:



O bicarbonato (HCO_3^-) reage com o ião (H^+) formando ácido carbónico (H_2CO_3) que, por ação da enzima anidrase carbónica se dissocia em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). O dióxido de carbono que é expulso pela expiração e por não resultar da respiração celular mas sim do tamponamento das valências ácidas, designa-se CO_2 metabólico. A determinação do limiar anaeróbio por métodos respiratórios baseia-se nas alterações ventilatórias induzidas pela existência significativa de CO_2 metabólico, assunto que abordaremos mais adiante.

1.2.3 FADIGA AERÓBIA

Falar de fadiga aeróbia só é possível através da identificação dos fatores limitativos do sistema de transporte e utilização do oxigénio. Relembramos que este pode ser didaticamente dividido em etapas:

1. Captação do oxigénio, na dependência da função ventilatória.
2. Fixação do oxigénio à hemoglobina dependente das trocas alvéolo-capilares.
3. Transporte do oxigénio, dependente da função cardiovascular.
4. Utilização do oxigénio dependente do metabolismo muscular.

Os primeiros três fatores são identificados como causas centrais. No entanto, no atleta saudável, não portador de patologia respiratória, a ventilação e a capacidade de difusão pulmonar do O_2 e CO_2 , não são por via de regra responsáveis pela fadiga aeróbia. O verdadeiro fator central eventualmente responsável pela fadiga aeróbia é a componente cardiovascular e, dentro desta, a cardíaca. São as adaptações cardíacas agudas inotrópicas (contractilidade do miocárdio) e cronotrópicas (ritmo) com influenciam diretamente o valor do débito cardíaco e que se constituem como os verdadeiros fatores centrais responsáveis pela instalação da fadiga num esforço aeróbio. Obviamente que as adaptações vasculares com implicações hemodinâmicas, avaliáveis através das variações da pressão arterial em esforço influenciam o funcionamento do coração. Por exemplo, o “duplo produto” que é um indicador do esforço cardíaco e do consumo de oxigénio pelo miocárdio, obtido pelo produto entre a frequência cardíaca (FC) e a pressão arterial sistólica apresenta restrições, sendo controversa a sua utilização como indicador de adaptação cardíaca aguda ao esforço. Os seus valores podem variar entre 6000 em repouso ($\text{FC} = 50$ e $\text{PAS} = 120$ mm Hg) e 40.000 ($\text{FC} = 200$ e $\text{PAS} = 200$ mm Hg), sem que isto nos transmita per si qualquer resposta adaptativa que não o adequado consumo de O_2 pelo miocárdio em relação à intensidade da carga. No entanto, o parâmetro fisiológico que melhor traduz a resposta inotrópica é o volume sistólico. Podemos então dizer que a fadiga aeróbia de origem central resulta de uma desadequação do débito cardíaco à carga (estímulo). Para um débito cardíaco adequado à intensidade do esforço é fundamental a eficiência metabólica do miocárdio, as adaptações hemodinâmicas, do volume sistólico e da frequência cardíaca. Qualquer destes fatores pode estar na origem da fadiga aeróbia de causa central.

! O verdadeiro fator central eventualmente responsável pela fadiga aeróbia é a componente cardiovascular e, dentro desta, a cardíaca.

A nível periférico, componente consubstanciada pela diferença artério-venosa em oxigénio, são também vários os fatores influenciadores. Neste caso interessa identificar os fatores locais responsáveis pela falência muscular periférica no esforço aeróbio. Em primeira e última análise, no plano bioenergético-metabólico, para um músculo suficientemente suprido em oxigénio, é o esgotamento das reservas energéticas locais que determinam a falência muscular (fadiga). Podemos então referir que no exercício aeróbio intenso, a fadiga local depende do esgotamento do glicogénio muscular. Se a causa da fadiga estiver na componente central ou no insuficiente suprimento de oxigénio ao tecido muscular, este não terá capacidade para esgotar as reservas energéticas locais e acumulará metabolitos resultante da hipóxia relativa local. Para melhor compreensão dos mecanismos subjacentes à fadiga muscular aeróbia é importante o conhecimento das características histológicas, químicas e adaptativas do tecido muscular e dos diferentes tipos de fibras. **Como por exemplo:**



- 1. HISTOQUÍMICA MUSCULAR.** Repartição e preponderância do tipo de fibras (tipo I, tipo IIa e IIb).
- 2. DENSIDADE E DIMENSÃO MITOCONDRIAL.** O potencial oxidativo intramuscular está relacionado com a atividade do ciclo de Krebs. Fibras musculares com maior número de mitocôndrias, como é o caso das fibras tipo I, apresentam maior treinamento aeróbio, maior resistência à fadiga aeróbia local e um mais rico equipamento enzimático oxidativo.
- 3. CONTEÚDO EM MIOGLOBINA.** As fibras tipo I também se designam de contração lenta ou vermelhas. Esta última designação deriva do facto de possuírem mais mioglobina, estruturalmente aparentada com a hemoglobina. A mioglobina é um pigmento proteico muscular cuja função é a de fixar o oxigénio e transportá-lo intracelularmente até à mitocôndria.
- 4. DIMENSÃO DA REDE CAPILAR ATIVA.** Responsável pela maior oxigenação do tecido muscular, dimensão da superfície de trocas e adequação da velocidade do fluxo de sangue capilar às exigências metabólicas.

2. FISILOGIA CARDIORRESPIRATÓRIA

A atividade muscular requer a interação de vários mecanismos fisiológicos que, no seu conjunto, proporcionam aos sistemas cardiovascular e respiratório suportar a necessidade acrescida de produção muscular esquelética de energia mecânica. Ambos os sistemas são significativamente solicitados como resposta ao exercício. A capacidade de resposta adaptativa exibida por aqueles sistemas na resposta aguda e crónica ao exercício tem-se constituído como um importante indicador de condição física aeróbia e, sob determinadas circunstâncias, também como indicador de saúde. Neste contexto, a possibilidade de avaliação da resposta do sistema de transporte de gases que suportam a respiração, afigura-se-nos como fundamental para a identificação dos diferentes tipos de respostas adaptativas aeróbias ao treino desportivo.

2.1 Modificação dos volumes pulmonares na adaptação aguda ao esforço

Para melhor compreensão destes aspetos, é necessário conhecer os diferentes volumes pulmonares. O seu conhecimento e interpretação permite ajuizar sobre o comportamento mecânico do pulmão e o seu nível de adaptação ao esforço.

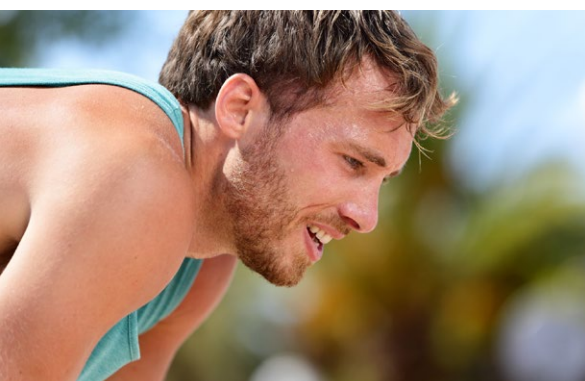
No âmbito da avaliação espirométrica, consideram-se quatro volumes e quatro capacidades. Estas resultam do somatório de dois ou mais volumes. Vejamos:

◆ Volume corrente (VC)

É o volume de ar mobilizado em cada ciclo respiratório. Corresponde à quantidade de ar mobilizado na inspiração e expiração.

◆ Volume de reserva inspiratória (VRI)

O volume corrente descrito anteriormente não traduz a nossa capacidade máxima inspiratória e expiratória. Para além do volume corrente inspiratório, podemos ainda inspirar mais ar. Este constitui uma reserva inspiratória. Corresponde à quantidade de ar mobilizável para além do volume corrente inspiratório quando realizamos uma inspiração profunda.



Volume de reserva expiratória (VRE)

O volume corrente não traduz a nossa capacidade máxima expiratória. De acordo com a mesma linha de pensamento utilizada para VRI, podemos referir que para além do volume corrente expiratório, podemos ainda expirar mais ar. O VRE é a quantidade de ar expirada para além do volume corrente.

Volume residual (VR)

Existe sempre uma quantidade de ar que permanece nos pulmões, mesmo após uma expiração forçada máxima. É o volume residual e não pode ser mobilizado voluntariamente.

Capacidade vital (CV)

É quantidade máxima de ar que conseguimos mobilizar voluntariamente. Corresponde ao somatório de três volumes pulmonares:
 $VC + VRI + VRE = \text{Capacidade vital}$

Capacidade residual funcional (CRF)

Após o volume corrente expiratório, há uma quantidade de ar que permanece nos pulmões. Corresponde ao somatório de dois volumes pulmonares: $VRE + VR$

Capacidade expiratória (CE)

Corresponde à quantidade máxima de ar expirado voluntariamente logo após o volume corrente inspiratório. Resulta do somatório de dois volumes: $VC + VRE$

Capacidade inspiratória (CI)

Corresponde à quantidade máxima de ar inspirado voluntariamente logo após o volume corrente expiratório. Resulta do somatório de dois volumes: $VC + VRI$

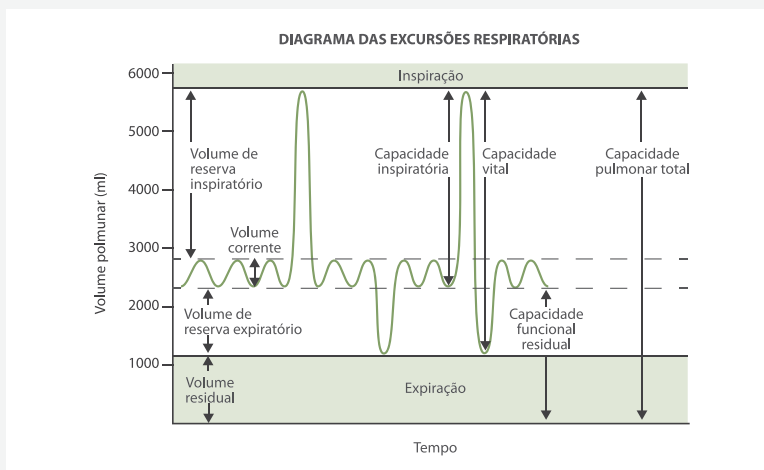
Capacidade pulmonar total (CPT)

Corresponde à soma de todos os volumes pulmonares: $VC + VRI + VRE + VR$



Na figura seguinte observamos um espirograma (representação gráfica dos volumes pulmonares), determinado por espirometria (procedimento), utilizando um espirómetro (instrumento de medida). Nessa figura, poderão ser identificados os volumes e capacidades atrás referidos.

FIGURA 2 - Espiograma com identificação dos volumes e capacidades referidos no texto.



Em esforço, a ventilação pulmonar aumenta à custa dos dois parâmetros (FR e VC) e o espiograma apresenta a seguinte configuração:

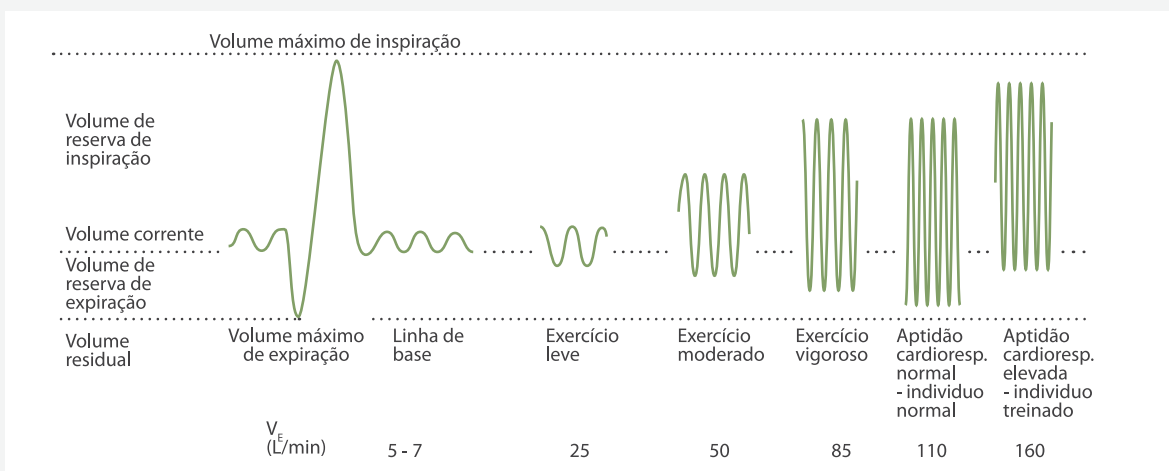


FIGURA 3 - Variação dos volumes pulmonares para intensidades de esforço progressivas. Verifica-se que o aumento da ventilação pulmonar/minuto se faz à custa do VC (volume corrente) e da FR (frequência respiratória).

Quando se exige um aumento do consumo de oxigénio como resposta a um incremento na intensidade do esforço, é necessário que se produzam uma série de ajustamentos fisiológicos. A primeira etapa traduz-se por um aumento da captação de oxigénio no ar ambiente. Essa captação está a cargo da ventilação pulmonar. Por ventilação pulmonar entende-se a quantidade de ar mobilizada durante um minuto, através da inspiração e expiração.

$$\text{VENTILAÇÃO PULMONAR (VE)} = \text{VOLUME CORRENTE (VC) X FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA (FR)}$$

Em esforço máximo, a ventilação pulmonar minuto pode atingir valores superiores a 150 litros.min.⁻¹. Este grande aumento faz-se tanto à custa do volume corrente como da frequência respiratória.

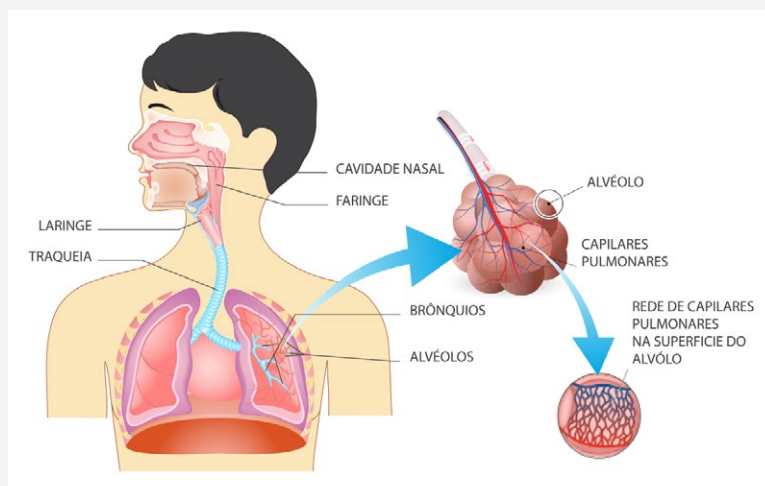


FIGURA 4 - A primeira etapa traduz-se por um aumento da captação de oxigénio no ar ambiente. Essa captação está a cargo da ventilação pulmonar. **VENTILAÇÃO PULMONAR – CAPTAÇÃO:** Através da qual se capta o oxigénio do ar ambiente, criando condições para a renovação do ar alveolar. A segunda etapa corresponde à fixação de oxigénio (hematose). **HEMATOSE - FIXAÇÃO:** Corresponde às trocas gasosas alvéolo-capilares (nos pulmões), sendo o sangue oxigenado através da fixação do oxigénio à hemoglobina contida no sangue capilar peri-alvéolar e a concomitante libertação de dióxido de carbono para o espaço alveolar que, por seu turno, será expulso pela expiração.

A ventilação pulmonar/minuto e a intensidade do exercício correlacionam-se de forma direta e significativa.

O início do exercício acompanha-se por um aumento rápido da ventilação onde podemos considerar a existência de duas fases. Uma primeira que é imediata e mais rápida, onde o aumento da ventilação fica a dever-se a um aumento do volume corrente e da frequência respiratória. Nesta primeira fase o controlo da ventilação deriva da própria atividade mecânica inerente ao exercício e a estímulos com origem no córtex motor (SNC) que, em estado de maior catividade estimulam o centro respiratório. A maior catividade mecânica (movimento) baseia-se no mecanismo proprioceptivo de retroalimentação com origem nos músculos em atividade e articulações, acrescentando um input adicional ao controlo nervoso da ventilação. Os recetores proprioceptivos que se encontram nos músculos e articulações e que participam na regulação da ventilação designam-se mecanoreceptores.

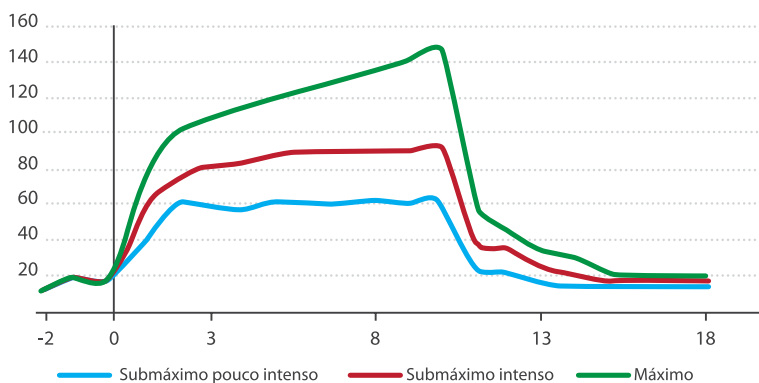
A segunda fase é mais gradual, designa-se “fase bioquímica da ventilação” e, como a designação deixa antever, depende das alterações da composição química do sangue arterial e da temperatura. À medida que a intensidade do esforço progride, a atividade metabólica muscular aumenta, produzindo mais calor, dióxido de carbono e hidrogeniões (H⁺). Tudo isto acontece em simultâneo com uma maior utilização de oxigénio pelo tecido muscular hiperfuncionante, com claras implicações na diferença do conteúdo em oxigénio entre o sangue arterial e o sangue venoso (diferença artério-venosa em oxigénio).



FIGURA 5 - Comportamento da ventilação pulmonar minuto em três momentos de esforço diferentes e de intensidade progressiva. Verifica-se a existência de uma discreta fase de antecipação ao esforço (fase cefálica) mediada pelo sistema nervoso central (SNC) – cortex. Uma fase de esforço inicialmente rápida – mediada pelos mecano-recetores, e posteriormente mais lenta – regulada pelas alterações bioquímicas do sangue arterial. Nos pós-esforço, verifica-se também a existência de uma fase inicial relativamente rápida, e uma segunda mais lenta onde prepondera a regulação bioquímica.

Desta forma, maior quantidade de CO_2 (dióxido de carbono) entra na circulação, bem como hidrogeniões, fazendo baixar o pH (maior acidez) e aumentando também da temperatura. Estas alterações são detetadas por quimiorreceptores (recetores especialmente dotados de sensibilidade para estas alterações bioquímicas). Estes estimulam o centro respiratório, o volume corrente e frequência respiratória aumentam simultaneamente, assegurando um incremento da ventilação de acordo com a magnitude da atividade metabólica. Estes quimiorreceptores localizam-se anatomicamente nas carótidas e artéria aorta. Estudos mais recentes permitiram identificar a existência deste tipo de recetores no tecido muscular, sendo portanto sensíveis às alterações bioquímicas intramusculares e no ventrículo direito, estes últimos também com capacidade para estimularem o centro respiratório e sensíveis ao aumento de débito cardíaco.

No termo do exercício e na fase pós-esforço, as necessidades metabólicas, produção de trabalho no músculo decrescem significativamente, mas a ventilação pulmonar pode exibir alguma lentidão em retomar os valores pré-esforço. Esta situação deve-se ao facto da ventilação continuar a ser regulada pelos metabolitos gerados durante o esforço, nomeadamente a eliminação de valências ácidas (ácido láctico) e CO_2 . No entanto, acredita-se que a fase inicial rápida da recuperação no pós-esforço também possa estar relacionada com o decréscimo da atividade mecânica – menor influência dos mecanoreceptores, preponderando a regulação bioquímica.



2.2 Modificação da frequência cardíaca, volume sistólico e débito cardíaco na adaptação aguda ao esforço

O débito cardíaco traduz a quantidade de sangue que o coração expulsa durante um minuto. Resulta do produto entre a frequência cardíaca e o volume sistólico.

$$Q = FC \times VS$$

O débito cardíaco em repouso apresenta valores próximos de cinco litros por minuto (5 lit.min^{-1}). No exercício máximo de características gerais pode atingir valor superiores a 25 lit.min^{-1} . O débito cardíaco apresenta uma correlação direta e significativa com a intensidade do exercício e com o consumo de oxigénio (VO_2). Com base nestes pressupostos, podemos afirmar que a determinação do VO_2 constitui uma boa base de estimação do débito cardíaco. Por este facto, o VO_2 é um importante indicador da condição física cardiovascular e cardiorrespiratória.

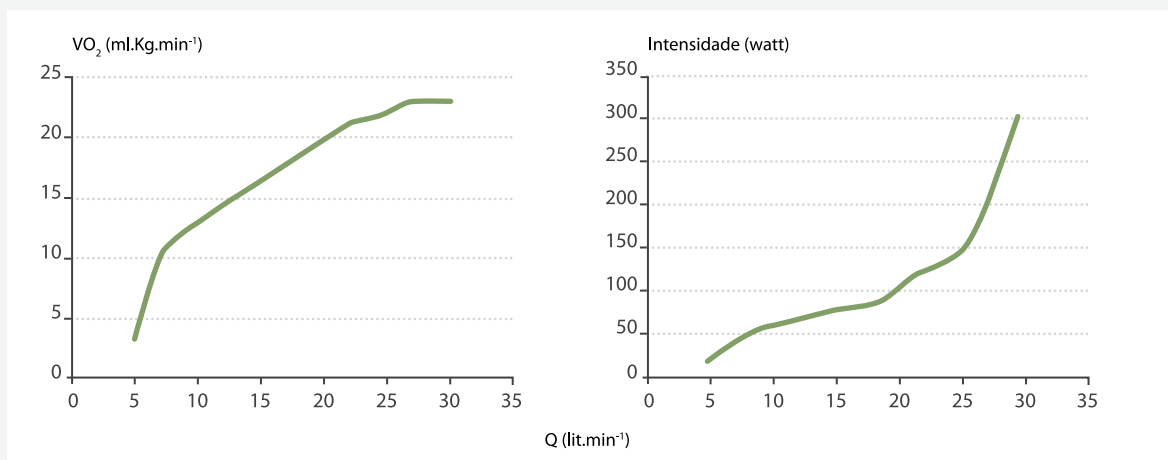


FIGURA 5 - Correlação direta e significativa entre débito cardíaco (Q) e a intensidade da carga dada em consumo de oxigénio e watt num esforço progressivo, predominantemente aeróbio.

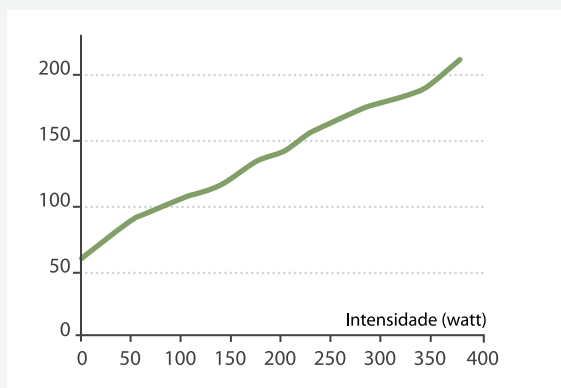


FIGURA 6 - A frequência cardíaca aumenta de forma proporcional à intensidade do exercício. Comportamento da frequência cardíaca num esforço progressivo máximo, quando relacionada com a intensidade de esforço. Exemplo de um teste ergométrico progressivo máximo, realizado em tapete rolante.

Uma vez que o consumo de oxigénio também varia de forma proporcional à intensidade do exercício, assume-se que entre o consumo de oxigénio e a frequência cardíaca existe uma relação direta e uma variação proporcional. Esta constatação fisiológica está na base da utilização dos protocolos e testes sub-máximos para a determinação indireta do consumo de oxigénio, bem como de várias metodologias de controlo de treino que utilizam como base as variações da frequência cardíaca relacionadas com a intensidade.



Frequência cardíaca

A frequência cardíaca (FC) aumenta de forma proporcional à intensidade do exercício, muito particularmente nas faixas sub-máximas de intensidade. Para níveis de intensidade mais elevados, nomeadamente para intensidades próximas da FC max., tende a estabilizar.

No âmbito da frequência cardíaca é comum considerarem-se as seguintes abordagens:

📌 FREQUÊNCIA CARDÍACA DE REPOUSO

Pode ser considerada a dois níveis, a FC pré-esforço, a qual não corresponde à de repouso, e a frequência cardíaca matinal, medida logo após o despertar, a mais próxima da basal ou de repouso. De qualquer modo, importa realçar o facto de ambas constituírem um bom indicador adaptativo crónico. De facto, a adaptação condicionada pelo treino provoca a redução da frequência cardíaca de repouso. É comum em atletas a existência de uma bradicardia (redução da FC) e sinusal (rítmica - sem alterações de ritmo). Tal facto deve-se a fatores cardíacos, morfológicos e funcionais, mas também ao controlo do sistema nervoso parasimpático (tonus vagal).

📌 FREQUÊNCIA CARDÍACA MÁXIMA

O seu valor absoluto não é significativamente influenciada pelo treino. Em atletas, o seu valor costuma variar entre 180 e 220 bat.min.⁻¹. A fórmula (FC max. = 220 - Idade), é o método mais conhecido e utilizado para determinar a FC máxima. No entanto, trata-se de uma abordagem errónea, muito particularmente em atletas. O procedimento mais correto implica a utilização de uma prova de intensidade máxima com monitorização da FC.

FREQUÊNCIA CARDÍACA SUB-MÁXIMA

Corresponde a todos os valores de FC de esforço inferiores à FC max. Trata-se de um bom indicador para o estabelecimento da intensidade dos exercícios de treino aeróbio. Fornece indicações adaptivas importantes quando relacionada com a intensidade da carga. Ou seja: para a mesma intensidade e por efeito positivo do treino, a FC sub-máxima tende a ser menor.

FREQUÊNCIA CARDÍACA DE RECUPERAÇÃO

Trata-se de uma abordagem eficaz às adaptações centrais por efeito do treino. Baseia-se no tempo necessário para que a frequência cardíaca retome os valores de repouso (pré-esforço). Atletas bem adaptados retomam os valores de repouso mais rapidamente. Na avaliação da FC de recuperação é fundamental a monitorização do primeiro minuto. Por exemplo, num esforço máximo onde o atleta treinado atinge entre 180 e 200 bat. min., considera-se satisfatória uma recuperação próxima dos 30%, onde atletas treinados deverão recuperar cerca de 50 a 60 bat.min (130 a 140 bat. min. no fim do primeiro minuto da recuperação).

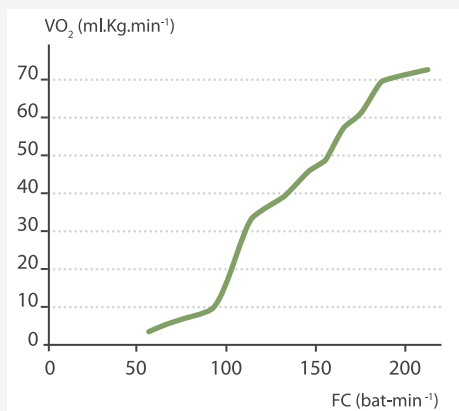


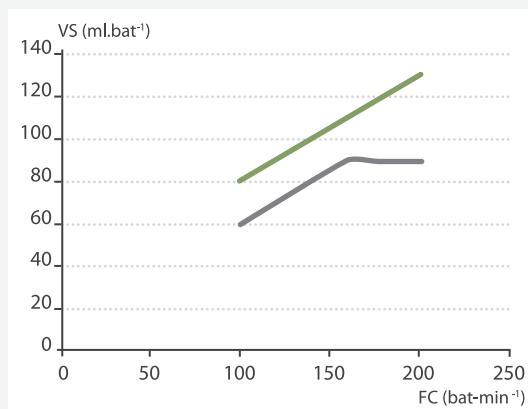
FIGURA 7 - Variação entre frequência cardíaca e consumo de oxigénio. Teste ergométrico progressivo máximo, em tapete rolante. Exemplo de um atleta de alto rendimento (atletismo, meio-fundo).

VOLUME SISTÓLICO

No que diz respeito ao volume sistólico (VS), a outra componente do débito cardíaco, assume-se que este aumenta proporcionalmente à intensidade do exercício. No entanto, para o cidadão não treinado, esta assumpção só é válida até aos 40 a 60% da intensidade correspondente ao VO₂ max. (consumo máximo de oxigénio). A este nível, verifica-se uma estabilização do VS, aumentando o débito cardíaco apenas à custa da variação da frequência cardíaca. Não obstante, para

atletas de alto rendimento, verificou-se que o VS pode aumentar até intensidades vizinhas do VO_2 max., traduzindo este facto uma adaptação favorável decorrente do treino aeróbio máximo.

FIGURA 8 - Variação do volume sitólico com a intensidade do esforço expressa pela frequência cardíaca. Cinzento, saudável não treinado. Verde, atleta treinado.



2.3 Noção de consumo de oxigénio, consumo máximo de oxigénio, limiar aeróbio e limiar anaeróbio.

A determinação do consumo máximo de oxigénio (VO_2 max.) tem sido utilizada como meio para caracterizar a aptidão do indivíduo para a realização de esforços predominantemente aeróbios. Simultaneamente, é considerado um indicador fisiológico fiel para a caracterização da condição física do indivíduo.



Por VO_2 max entende-se a quantidade máxima de oxigénio que pode ser captado, fixado, transportado e utilizado pelo organismo durante um esforço máximo de características gerais. Tal parâmetro traduz a **potência aeróbia**.

Para a maioria dos autores, o consumo máximo de oxigénio constitui o parâmetro fisiológico mais significativo na caracterização da capacidade funcional do indivíduo, pelas importantes indicações de índole cardiorrespiratória que fornece.

Para a determinação laboratorial do VO_2 max. utilizam-se provas ergométricas máximas ou sub-máximas. No primeiro caso, a determinação faz-se de forma direta ou indireta e, no segundo, de forma indireta.

As determinações indiretas baseiam-se no facto de existir uma correlação significativa entre o valor do VO_2 e a intensidade da carga. Para a posterior determinação do VO_2 max. utiliza-se um procedimento estatístico base (regressão linear), podendo também utilizarem-se, alternativamente, programas informáticos, tabelas ou nomogramas especificamente concebidos para determinados protocolos. Normalmente, na leitura destas tabelas ou nomogramas leva-se em linha de conta os seguintes aspetos: idade, sexo, intensidade da carga, volume e frequência cardíaca correspondente ao estado estacionário (fase estável do VO_2) no decurso do teste - *steady-state*.

As provas máximas, quando corretamente administradas, permitem que o indivíduo atinja, realmente, o consumo máximo de oxigénio. Para a estimação do VO_2 max., a determinação indireta utiliza tabelas e normas, específicas por protocolo, como é o caso dos de Bruce e de Balke. Existe, no entanto, uma ampla diversidade de protocolos máximos e sub-máximos, selecionáveis de acordo com os objetivos do teste e características do testado. A determinação direta é obtida através de um sistema de análise de gases expirados, funcionando em circuito aberto ou fechado.

As variáveis fisiológicas normalmente exploradas nestes procedimentos ergo-espirométricos, são as seguintes:

◆ CONSUMO DE OXIGÉNIO

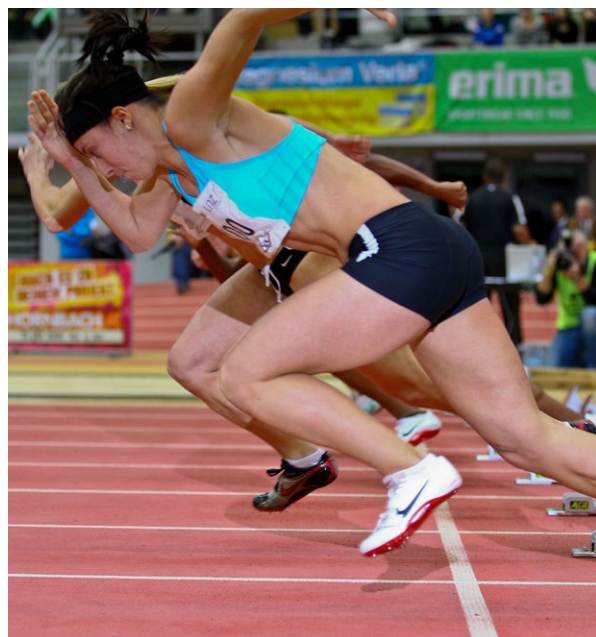
Como critério de aptidão física para atividades predominantemente aeróbias, pode, dentro de certos limites, ser significativamente influenciado pelo treino. É comum optar-se pelas seguintes variantes: consumo de oxigénio relativo ($\text{ml.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e $\text{ml.Kg LBM}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e pulso de oxigénio ($\text{ml.bat.}^{-1}.\text{min}^{-1}$), atendendo às informações de índole aeróbia e de eficiência cardiorrespiratória que podem fornecer.

◆ FREQUÊNCIA CARDÍACA

Por constituir um importante indicador da intensidade da carga, podendo refletir, sob certas condições, o comportamento cardiovascular e alterações da atividade metabólica. Consideram-se as seguintes condições para a sua mensuração: em repouso, no decurso da prova de esforço (sub-máxima ou máxima) e no período de recuperação. A sua validação laboratorial é de fundamental importância para as atividades relacionadas com a prescrição da atividade no terreno.

◆ QUOCIENTE RESPIRATÓRIO ($\text{VCO}_2.\text{VO}_2^{-1}$)

Durante um esforço sub-máximo realizado em condições de equilíbrio (*steady-state*), os valores do QR podem dar-nos a conhecer o tipo de substrato energético que está a ser predominantemente oxidado.



Vários estudos apontam valores de QR sistematicamente mais baixos, em níveis de intensidade sub-máxima, como resultados de incrementos no potencial oxidativo celular por efeito da atividade muscular sistemática realizada em condições aeróbias.

UTILIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS ENERGÉTICOS DURANTE O ESFORÇO SUB-MÁXIMO E MÁXIMO

	Equivalente energético (Kcal .g ⁻¹)	Equivalente de O ₂ (Kcal. l ⁻¹)	QR
GLÚCIDOS	4.1	5.0	1.00
LÍPIDOS	9.3	4.7	0.70
PRÓTIDOS	4.3	4.4	0.80

Os critérios normalmente adotados para se poder afirmar que o consumo máximo de oxigénio foi efetivamente atingido e que a fase de exaustão não apareceu por qualquer outro motivo, são os seguintes:

- impossibilidade de prosseguir o esforço (exaustão);
- estabilização ou ligeira queda do VO₂, apesar da manutenção ou progressão da carga;
- obtenção da FC max. pré-determinada;
- quociente respiratório na vizinhança de 1.



OBSERVAÇÃO

Para indivíduos treinados, nomeadamente atletas, pode ter interesse quantificar o tempo de tolerância para a carga máxima (VO₂ max.). Trata-se de um procedimento realizável apenas em laboratório e sob rigorosas condições de segurança.



As designações limiar aeróbio e limiar anaeróbio são muito vulgares no domínio do treino desportivo, mas a sua definição não é consensual. Procuraremos de uma forma breve esclarecer estes conceitos e a sua aplicabilidade ao treino.

Na relação entre ventilação pulmonar e consumo de oxigénio, no decurso de um esforço progressivo máximo, há um nível de intensidade onde a ventilação aumenta de forma desproporcionada em relação ao VO₂. Este aumento da ventilação resulta de uma maior participação da glicólise na produção energética e aumento da concentração de ácido láctico. O ácido láctico é tamponado pelo sistema bicarbonato de sódio, dando origem a lactato de sódio, água e dióxido de carbono. Este último tem de ser expulso pela expiração, dando origem a um aumento da ventilação que se reflete mais na maior rejeição de CO₂ (VCO₂) do que no incremento do consumo de oxigénio (VO₂). Portanto, o ponto de rotura da ventilação é a resposta fisiológica a um aumento do CO₂ (CO₂ metabólico).



O aumento da ventilação, sem correspondente e proporcional aumento do VO_2 , levou a especulações sobre o facto do ponto de rotura ventilatória ser coincidente ou estar relacionado com o limiar láctico. Por limiar láctico entende-se o nível de intensidade a partir da qual o lactato atinge concentrações acima dos valores de repouso, em esforços progressivos.

Se o ponto de rotura ventilatória reflete um aumento do CO_2 produzido (VCO_2) sem um proporcional aumento do VO_2 , o quociente respiratório (VCO_2/VO_2) também se altera de forma evidente e detetável nesse ponto de rotura. Foi esta constatação que levou Wasserman e McIlroy, sabendo que o CO_2 responsável pelo ponto de rotura de ventilação tinha origem no tamponamento do ácido láctico, a propor a designação **limiar anaeróbio** (LA) para caracterizar o súbito aumento do CO_2 , convictos que tal corresponderia à passagem para um metabolismo mais anaeróbio. Utilizaram como indicador o quociente respiratório (QR) por acreditarem que era uma alternativa não invasiva à determinação sanguínea do lactato.

O conceito tem vindo a alterar-se nos seus pressupostos iniciais. As técnicas não invasivas para a determinação do LA envolvem a avaliação dos equivalentes ventilatórios para o VO_2 (VE/VO_2) e para o VCO_2 (VE/VCO_2). Traduzem-se pelos quocientes entre a ventilação e o oxigénio consumido ou CO_2 rejeitado. Em suma, informa-nos sobre a quantidade de ar que é necessário ventilar para consumir 1 litro de oxigénio ou rejeitar 1 litro de CO_2 . O critério mais específico para determinar o limiar anaeróbio é o aumento sistemático do VE/VO_2 sem o correspondente aumento do VE/VCO_2 .

O limiar anaeróbio é muitas vezes usado como estimativa não invasiva do limiar láctico. Em muitas circunstâncias podem ser coincidentes ou próximo disso (ocorrem à mesma percentagem do VO_2 max.), nomeadamente em testes ergométricos progressivos. No entanto, este tipo de interpretação pode ser algo abusiva, havendo situações em que o ponto de rotura ventilatória não se acompanha de uma elevação significativa do lactato sanguíneo. Os níveis de glicogénio muscular também influenciam a relação ou identidade limiar anaeróbio/limiar láctico.

! Por limiar láctico entende-se o nível de intensidade a partir da qual o lactato atinge concentrações acima dos valores de repouso, em esforços progressivos.



No que diz respeito ao limiar láctico, considera-se um bom indicador de resistência aeróbia geral. Durante o exercício aeróbio sub-máximo de baixa intensidade, o lactato sanguíneo pode não se alterar significativamente em relação aos valores de repouso. Com o aumento da intensidade, é inevitável que a concentração de lactato sanguíneo acabará por se elevar. Quanto mais elevado for o nível de intensidade a que este limiar ocorre (elevação do lactato sanguíneo em relação aos valores de repouso), melhor a capacidade aeróbia de base do atleta.

A identificação de limiar láctico com limiar anaeróbio é, como já foi referido, abusiva. De facto, o tecido muscular produz lactato que é sujeito a remoção e metabolização. Isto ocorre antes de ser atingido o limiar anaeróbio. Por outro lado, a identificação de um claro ponto de rotura nem sempre é possível e depende do protocolo do teste utilizado.

Na tentativa de ultrapassar estes constrangimentos fisiológicos, com pouca aplicabilidade prática na rotina do treino desportivo, alvitram-se intensidades fixas correspondentes a concentrações de 2 e 4 mmol.lit⁻¹ de lactato no sangue como referenciais válidos para controlo do treino. Embora não respeitem o rigor científico no plano bioenergético, têm-se mostrado válidos no controlo dos efeitos metabólicos do treino aeróbio e na prescrição da carga de treino. Neste contexto, e com as reservas atrás enunciadas, pode considerar-se a intensidade correspondente a 2 mmol.lit⁻¹ o valor inferior da transição aeróbia/anaeróbia (limiar láctico) e a intensidade correspondente a 4 mmol.lit⁻¹ o valor superior da transição aeróbia/anaeróbia (estado estacionário máximo para o lactato). Este último corresponde à intensidade máxima de esforço sem acumulação progressiva de lactato e é um indicador de capacidade aeróbia. Para a potencia aeróbia utiliza-se o VO₂ max.

Apesar das limitações bioquímicas e metabólicas, a par da carência de rigor científico na sua fundamentação, as terminologias utilizadas têm variado de acordo as escolas e com a sua aplicabilidade ao treino. Por exemplo, a escola francesa utiliza o indicador de 2 mmol.lit⁻¹ para o limiar láctico e designa-o por limiar aeróbio. As intensidade situadas entre 2 e 4 mmol.lit⁻¹, correspondem à zona de transição aeróbia/anaeróbia. Para o estado estacionário máximo para o lactato utilizam o valor de 4mmol.lit⁻¹, que designam por limiar anaeróbio.

Das explicações anteriores importa reconhecer os fundamentos fisiológicos e bioquímicos do limiar anaeróbio. Só nesta base é possível interpretar e analisar de forma crítica as diferentes terminologias.



3. TERMORREGULAÇÃO E FISIOLOGIA DOS LÍQUIDOS ORGÂNICOS

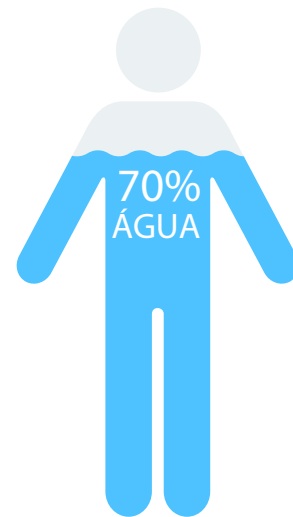
3.1 Equilíbrio hidro-eletrolítico e suas modificações na adaptação aguda ao esforço

A ÁGUA CORPORAL

A água corporal é o componente mais abundante do nosso organismo, constituindo à nascença 80% da massa corporal total, no adulto jovem cerca de 60 a 70%, decrescendo ao longo da vida, pelo que podemos afirmar que o organismo humano à medida que envelhece torna-se mais seco, ou seja: reduz-se o percentual de água relativamente à massa corporal total. Para além da idade, outros fatores condicionam esta variabilidade, nomeadamente o sexo, o estado de condição física e, obviamente, o exercício físico. Este elemento, a água corporal, é onde têm lugar as reações químicas essenciais à vida e, também, as responsáveis pela produção de trabalho muscular, imprescindível para o desempenho desportivo.

Cada uma das nossas células contém um pequeno volume de líquido no seu interior que, no seu conjunto ou totalidade, corresponde a cerca de 40% da massa corporal total do ser humano. Esta água corresponde ao compartimento intracelular. Todo o líquido que se encontra fora da célula designa-se compartimento extracelular e corresponde a cerca de 20% da massa corporal total. O líquido ou compartimento extracelular pode ser subdividido em vários sub-compartimentos. Os de maior importância quantitativa são os sub-compartimentos intersticial e vascular que correspondem ao líquido intersticial e intravascular. O primeiro ocupa o espaço extracelular, fora dos vasos sanguíneos. E o segundo corresponde ao plasma. Todos os demais sub-compartimentos do compartimento extracelular são quantitativamente pouco importantes, são disso exemplo os líquidos cefalo-raquidiano e sinovial.

A composição qualitativa do líquido de cada sub-compartimento difere, existindo no entanto uma contínua troca de elementos entre eles. São disso exemplo a água, pequenas moléculas e iões. Os compartimentos extracelular e intracelular possuem composições diferentes. As membranas celulares que os separam são seletivamente permeáveis.



**FATORES CONDICIONANTES
DA QUANTIDADE
DE ÁGUA NO CORPO**

IDADE
SEXO
CONDIÇÃO FÍSICA
EXERCÍCIO FÍSICO



Quer isto dizer que permitem a passagem de apenas algumas substâncias. O movimento da água através da membrana celular é controlado pela osmose. O mesmo será dizer que a passagem ou troca de água entre estes dois compartimentos depende, em primeira análise, da concentração de solutos entre os líquidos intra e extra celulares, ou seja: da concentração osmótica. A água desloca-se das zonas de menor para as de maior concentração, tendendo a equilibrar as concentrações osmóticas de um lado e outro da membrana. Pela sua influência na concentração osmótica dos líquidos intra e extra celulares, os eletrólitos são designados substâncias osmoticamente ativas.

Os eletrólitos sofrem um transporte ativo através da membrana celular. Neste caso, a diferença de concentrações eletrolíticas entre o compartimento extra e intra celular é determinada pelo processo de transporte e pela polaridade da membrana - diferença de carga elétrica através da membrana celular.

Na desidratação provocada pelo exercício, a concentração de eletrólitos no líquido extracelular aumenta. Nestas circunstâncias, o meio extracelular fica mais "concentrado", recebendo água por osmose, vinda do meio intracelular. Em casos de desidratação grave, a perda de água do meio intra para o extra celular é de tal forma importante que afeta o metabolismo e todo o funcionamento celular. A ingestão de água permite que a concentração eletrolítica no líquido extracelular não aumente, preservando desta forma o estado de hidratação intracelular e o normal e eficaz funcionamento celular.



De facto, o ser humano não consegue adaptar-se à carência de água corporal, a desidratação. Qualquer tentativa nesse sentido, por qualquer meio, inclusivamente o treino, não só é ineficaz como perigosa.

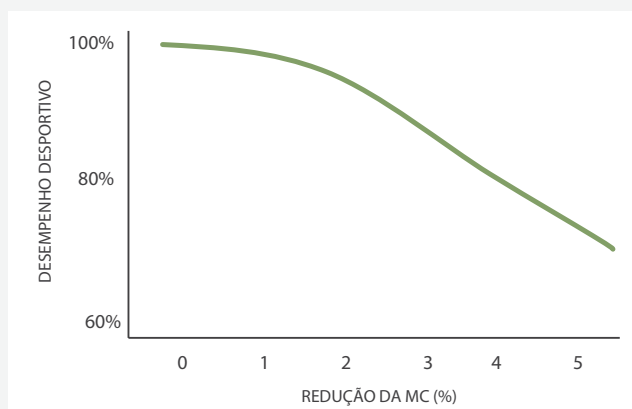


FIGURA 9 - O ser humano não consegue adaptar-se à desidratação. A desidratação pode ser determinada pela baixa da massa corporal. O gráfico mostra o agravamento percentual do desempenho em relação com a baixa percentual dada massa corporal por desidratação.

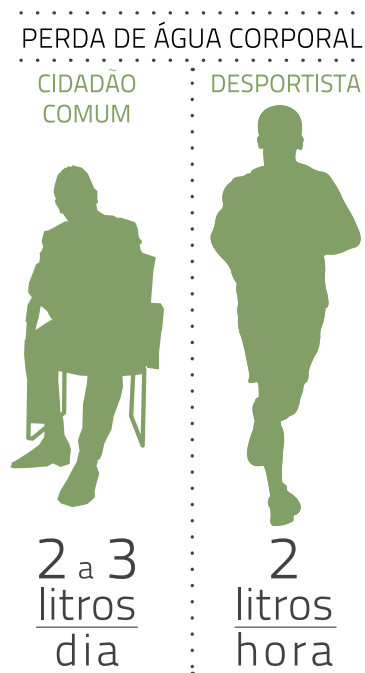
3.2 Especificidades resultantes das características do meio-ambiente. Calor e humidade. Frio e altitude.

CALOR E HUMIDADE

A taxa metabólica durante as atividades físicas longas e intensas pode ser 10 a 15 vezes superior ao valor de repouso, o que faz aumentar a temperatura corporal, bem como a necessidade de eliminar esse calor em excesso. O aumento da temperatura corporal designa-se hipertermia. Quando isto ocorre é necessário perder calor para que o organismo possa manter a homeotermia (homeostasia ao nível da temperatura corporal). A perda ou dissipação de calor faz-se à custa dos mecanismos termolíticos. Termólise designa perda de calor. Ao invés, termogénese designa o ganho de calor.

O combate à hipertermia é importante não só para o desportista, mas também para todo o indivíduo que realiza trabalho em ambiente quente, agravado ainda pelo facto desse ambiente poder ser, eventualmente, húmido. Nestas circunstâncias, a perda de água corporal e eletrólitos constitui-se como um fator de risco potencial, se não forem acauteladas as necessárias medidas preventivas. No cidadão comum, sedentário, vivendo num clima temperado, a perdas de água nas 24 horas do dia rondam os 2 a 3 litros. O desportista da mesma idade e sexo, vivendo no mesmo clima, mas realizando um trabalho físico intenso, treino ou competição de longa duração, perde pelo suor aproximadamente 2 litros de água por hora. Casos existem de desportistas que, em situações extremas, exibem uma necessidade de compensação hídrica da ordem dos 10 a 15 litros por dia.

A sudação é o mais eficaz meio de perda de calor em esforço e protege o organismo contra os riscos do aumento da temperatura corporal (hipertermia) que, a partir de certos limites pode ser fatal, o que infelizmente já ocorreu, como é do conhecimento de todos, em algumas situações de prática física inconvenientemente orientada. Por este facto, é fundamental controlar o nível de hidratação do atleta através de procedimentos simples, como é a determinação da massa corporal (peso) e a densidade urinária.



FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO

ÍNDICES DE DESIDRATAÇÃO

	% Variação da MC	Cor da urina
Bem hidratado	-1 a 1%	1 ou 2
Desidratação mínima	-1 a 3%	3 ou 4
Desidratação significativa	-3 a -5%	5 ou 6
Desidratação severa	> -5%	> 6

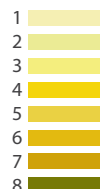


FIGURA 10 - É importante controlar o nível de hidratação do atleta através de procedimentos simples como é a determinação da variação percentual da massa corporal (MC) e a densidade urinária. Os sinais de desidratação incluem urina escura (maior densidade) e oligúria (menor volume). Os testes de urina em fitas reativas são indicadores válidos por permitirem o acesso fácil à densidade urinária por alteração da cor – escala colorimétrica.



No entanto, a sudação só por si não tem efeito termolítico, apenas condiciona uma perda hidro-eletrolítica. Este é aliás o “preço que o organismo paga” para manter a homeotermia – perder água e eletrólitos. Fâ-lo através do suor que não é mais do que um ultrafiltrado, sendo mais hipotónico (diluído) do que o líquido extracelular. De facto, quando suamos perdemos mais água do que eletrólitos, ficando o organismo mais hipertónico (concentrado). Mas, o que de facto permite eliminar calor é a evaporação do suor, ou seja, a passagem do suor do estado líquido para o estado gasoso. Para que isso aconteça as condições ambientais têm de ser favoráveis ou pelo menos permitirem esta transferência. Se o ambiente estiver saturado em vapor de água não vai poder receber mais água e o suor não se evapora. O arrefecimento do organismo pela evaporação do suor está desta forma altamente comprometido em ambientes que, para além de quentes, são húmidos. Nos climas quentes mas secos, a sudação é mais eficaz pelas favoráveis condições à evaporação do suor.



Como facilmente se depreende, o tipo de vestuário também tem uma influencia significativa. Entende-se desta forma a profusa e ineficaz sudação em indivíduos que realizam esforço com vestuário impermeável. Neste caso, não há transferência térmica para o meio ambiente, o suor não se evapora, a sudação não tem efeito termolítico, a temperatura corporal pode mesmo continuar a subir e, se não for ingerido líquido, a desidratação é progressiva.

Para um melhor entendimento, começámos este apontamento por umas breves noções sobre fisiologia dos líquidos orgânicos e terminaremos agora com algumas recomendações práticas no âmbito da intervenção em treino e competição. Tentaremos explicar a necessidade da ingestão de líquidos antes, durante

e após o esforço, bem como as estratégias utilizadas para evitar a desidratação associada à atividade desportiva. É fundamental que o treinador as conheça por se tratar de facto de uma área de intervenção que deve ser rigorosamente respeitada, pelas implicações negativas que a desidratação tem no desempenho desportiva, na recuperação pós-esforço e na saúde do atleta.

É vulgar acreditar-se que a necessidade de reposição hídrica decresce com o nível de adaptação. Ou seja: quanto melhor adaptado às condições de calor e humidade o atleta estiver, menor a quantidade de líquido a ingerir. É um erro assim pensarmos, em virtude do comportamento do nosso sistema termoregulador que, nestas circunstâncias, tende a influenciar uma maior produção de suor. De facto, quanto maior for o nível de adaptação do atleta ao calor, mais eficaz é o seu sistema de arrefecimento pelo suor, sendo também necessário ingerir uma maior quantidade de líquido. Nesta situação, a eventualidade de ocorrência de desidratação por insuficiente suprimento de líquidos contraria os mecanismos adaptativos já atingidos, ou seja: faz perder o nível de aclimatização já obtido. Com efeito, a sede e a desidratação não se treinam, previnem-se. Qualquer tentativa que procure contrariar esta constatação fisiológica coloca o desportista em sérios riscos.

! Com efeito, a sede e a desidratação não se treinam, previnem-se.

O QUE BEBER? QUAIS AS CARACTERÍSTICAS DO LÍQUIDO A INGERIR?

Depende obviamente das características do exercício e do meio ambiente em que esse exercício se realiza. Em termos gerais podemos dizer:

O QUE BEBER (fundamentos):

CLORO

1. O volume plasmático é restabelecido mais rapidamente se o líquido possuir cloretos (0,45g/l)

SÓDIO

1. Retenção líquida, previne desidratação e atrasa produção de urina

POTÁSSIO

1. Promove a hidratação intra-celular

CHO (Glucose, polímeros da glucose)

1. Mais apetecível (aroma) vs. água pura
2. Estimula a absorção
3. Repreenchimento em glicogénio





REPOSIÇÃO HÍDRICA

Caraterísticas que o líquido deve possuir:

- Esvaziamento gástrico rápido;
- Aroma agradável;
- Energética se exercício > 1h;
- Taxa energética adequada (40 a 90 g/l);
- Fornecimento de sódio (0,5 a 0,7 g/l);
- Ausência de distúrbios GI;
- Melhor se forem frias (10° a 15°C).

BEBER ANTES DO EXERCÍCIO

Para quem realiza treinos diários ou bi-diários com caráter regular, é fundamental que cada sessão de treino se inicie com o desportista convenientemente hidratado. A ideia de que o organismo humano, quando submetido a um relativo nível de desidratação, pode adaptar-se, é tão errada como perigosa. Alguns atletas, erradamente, restringem a ingestão de líquidos em treino, acreditando que este tipo de treino “em dificuldade” os vai beneficiar. Com efeito, os exercícios prolongados, sem a conveniente hidratação e quando realizados em ambientes quentes e húmidos, propiciam o surgimento do “golpe de calor”. Trata-se de uma situação de exaustão por efeito da hipertermia (aumento da temperatura corporal), devesas perigosa, exigindo intervenção médica imediata, onde o desportista vê, de forma tantas vezes irreversível, afetadas as suas capacidades físicas e mentais.



Entre os 60 e 30 minutos antes do exercício devemos ingerir 0,5 a 1 litro. É necessário ainda ter cuidado com a qualidade do líquido que se ingere. Não importa apenas a quantidade, mas também a composição do líquido.

A generalidade das bebidas concebidas para desportistas contém 6 a 7 % de hidratos de carbono, quer isto dizer que 1 litro fornece 60 a 70 gramas de hidratos de carbono (HCO), o que corresponde a ± 300 kcal. Um atleta que utilize 5 litros por dia de um líquido com tais caraterísticas, obterá cerca de 1500 kcal, o que corresponde sensivelmente a metade da sua necessidade calórica diária. Muitas das populares bebidas consumidas por atletas contém ainda mais do que 7% de HCO. Isto é muito importante para os atletas que, competindo por categoria de peso, devem ser muito criteriosos na seleção da melhor estratégia de hidratação por forma a não ingerirem calorias em excesso. Por exemplo, em modalidades como a luta e o judo, os praticantes provocam, não raras vezes e voluntariamente, estados de desidratação que levam a perdas de 5% ou mais da sua massa corporal. Conseguem, desta forma, ser admitidos na sua categoria de peso, pese embora as deficitárias condições físicas em que eventualmente irão competir.

Na hidratação pré-esforço, algumas regras deverão estar sempre presentes:

- Considerar que a sudorese poderá ser muito intensa, da ordem dos 2 litros/hora, quando o exercício se realiza em condições ambientais adversas de calor e humidade.
- A desidratação interfere na capacidade física e mental. Estes efeitos podem fazer-se sentir muito precocemente. Estima-se que esta situação possa ocorrer para perdas de massa corporal por desidratação da ordem dos 2%.
- Nunca inicie o exercício sem se ter hidratado convenientemente. Pese-se antes e depois do exercício, a fim de se assegurar que ingeriu líquidos suficientes para evitar a desidratação entre sessões de treino.
- À noite, beba de 300 a 500 ml de água ao deitar e igual quantidade de manhã ao levantar, assegurando desta forma um adequado balanço hídrico.
- Uma hora antes da competição ou de um treino prolongado, beba 500 ml de água ou de um líquido adequado para o efeito. Vinte minutos antes do esforço, volte a ingerir uma quantidade próxima dos 300 ml.
- A ingestão de líquidos antes do esforço apenas beneficia os esforços de duração igual ou superior a 20 minutos.
- É importante seleccionar o tipo de líquido a ingerir antes do esforço. Existem alternativas ao consumo de água. Aconselha-se um líquido com um fraco teor em hidratos de carbono (± 50 gramas de HCO/litro) - suprimento de energia e pequenas quantidades de sódio (± 0.5 grama/litro) - ajuda a manter uma relativa sede e diminui a formação de urina, produzindo por este motivo um mais eficaz efeito preventivo para a desidratação do que a utilização de água pura.
- A bebida ideal é aquela que possui um aroma agradável para o atleta (não esquecer que deverá ingerir líquidos na ausência de sede), que não cause desconforto abdominal quando ingerida em grandes quantidades, que seja rapidamente absorvida e que propicie um fonte de energia para o trabalho muscular.

É importante seleccionar o tipo de líquido a ingerir antes do esforço. Existem alternativas ao consumo de água. Aconselha-se um líquido com um fraco teor em hidratos de carbono (± 50 gramas de HCO/litro) - suprimento de energia e pequenas quantidades de sódio (± 0.5 grama/litro) - ajuda a manter uma relativa sede e diminui a formação de urina, produzindo por este motivo um mais eficaz efeito preventivo para a desidratação do que a utilização de água pura.



RECOMENDAÇÕES PRÉ-EXERCÍCIO

- Determinar a MC
- Determinar a densidade urinária (indica o estado de hidratação)
- Beba 400 a 600ml de uma bebida desportiva 2 horas antes do esforço
- Beba 200 a 300ml de água 0 a 10 minutos antes do exercício



NUNCA INICIE O EXERCÍCIO SEM SE TER HIDRATADO CONVENIENTEMENTE



BEBER DURANTE O EXERCÍCIO

Para exercícios com duração superior a 40 minutos, os líquidos devem ser ingeridos com regularidade. Quando a duração é inferior a 60 minutos, acredita-se que não haja diferença significativa entre o consumo de água pura ou de líquidos constituídos com hidratos de carbono e eletrólitos. Para exercícios com duração superior a 60 minutos, competição ou treinos prolongados, admite-se a possibilidade dos líquidos possuírem hidratos de carbono e eletrólitos. De facto, neste tipo de esforços e se o clima não for excessivamente quente e húmido, a utilização apenas de água pura apresenta algumas desvantagens relativamente aos líquidos que possuem hidratos de carbono e eletrólitos.

Na hidratação durante o esforço aconselha-se a ingestão de líquido:

- cujo aroma seja apreciado pelo atleta;
- que não cause desconforto abdominal;
- que seja ingerido a uma temperatura baixa (entre 14 e 18 graus);
- com intervalos de tempo entre 15 e 20 minutos;
- em quantidades entre 200 e 300 ml (± 1 a 1,5 litros/hora);
- a ingestão em hidratos de carbono deverá ser entre 30 a 60 gramas/hora, o que corresponde a um líquido com 4 a 5% de HCO. O tipo de hidratos de carbono utilizados podem ser açúcar (glucose ou frutose), ou ainda maltodextrinas;
- aconselha-se a inclusão de sódio neste tipo de bebidas. A quantidade aconselhada varia entre 0.5 e 0.7 grama por litro de água.
- Aconselhe-se com um especialista em nutrição desportiva. O médico de Medicina Desportiva encontra-se, por via de regra, vocacionado para este tipo de aconselhamento.



RECOMENDAÇÕES DURANTE O EXERCÍCIO

- Beba de 150 a 250ml de água cada 15 a 20 minutos para exercícios < 60min
- Beba de 150 a 250ml de uma bebida concebida para desportistas com CHO (5% a 8%) e eletrólitos cada 15 a 20 para exercícios > 60min
- Não beba mais de 1 a 1,5 l/h no decurso do esforço

ESVAZIAMENTO GÁSTRICO E CARATERÍSTICAS DO LÍQUIDO

CARATERÍSTICAS	TAXA DE ESVAZIAMENTO GÁSTRICO
Volume	Aumenta com o volume até 500ml
Densidade	Diminui
Osmolaridade	Diminui com a hiperosmolaridade
Temperatura	Aumenta quando ingeridos frios
pH	Diminui com pH baixo (acidez)

A composição do líquido, da qual depende a sua concentração, influencia o facto da bebida se considerar hipo, iso ou hipertónica. Quando se pretende uma rápida absorção do líquido, caso dos climas quentes e húmidos, deve ser considerado o tempo de esvaziamento gástrico, pelo que devem ser evitadas as bebidas hipertónicas. De facto, não existe uma bebida universal, ideal para todo e qualquer indivíduo e situação. O líquido a utilizar deve estar de acordo com as características ambientais e com o nível de adaptação do sujeito a essas condições ambientais de prática (aclimatação).

BEBER APÓS O ESFORÇO

A recuperação após o esforço requer a reposição das reservas energéticas, muito particularmente do glicogénio muscular e hepático, a par da reposição hídrica e eletrolítica. O glicogénio repõem-se mais rapidamente se a ingestão de hidratos de carbono se efetuar imediatamente após o esforço. Estima-se que a quantidade ideal de hidratos de carbono se situa entre os 70 e 100 gramas consumidos imediatamente após o exercício, por um período de uma hora. Este tipo de reposição tanto pode ser obtido com alimentos líquidos como sólidos. No entanto, em virtude da natural fadiga no período imediato pós-esforço, é mais fácil promover a utilização de alimentos líquidos do que sólidos. Neste caso, podem ter vantagem os líquidos hipertónicos, onde a concentração em hidratos de carbono e eletrólitos pode ser superior à utilizada nos períodos de hidratação durante o esforço.

A recuperação após o esforço requer a reposição das reservas energéticas, muito particularmente do glicogénio muscular e hepático, a par da reposição hídrica e eletrolítica. O glicogénio repõem-se mais rapidamente se a ingestão de hidratos de carbono se efetuar imediatamente após o esforço.

Na hidratação após o esforço aconselha-se:

- Utilize uma bebida com um teor elevado em hidratos de carbono (8 a 10%), consumida imediatamente após o esforço.
- As bebidas hipotónicas, quando ingeridas neste período, não apresentam vantagens. Preferem-se as bebidas hipertónicas, mais ricas em eletrólitos, para além dos já referidos hidratos de carbono.
- A quantidade de hidratos de carbono a ingerir, de uma forma líquida ou sólida, deverá rondar os 80 a 100 gramas na 1.ª hora após o exercício.
- Não há vantagem em realizar a hidratação pós-esforço com água pura. Para além de não fornecer elementos energéticos, tem um efeito diurético.
- Não devem ser ingeridas bebidas gaseificadas.
- Não devem ser ingeridas bebidas alcoólicas, chá e café, atendendo ao seu efeito diurético, o qual contraria os princípios da re-hidratação pós-esforço.



RECOMENDAÇÕES APÓS O EXERCÍCIO

- Determine a massa corporal para estimar a perda líquida, a qual deverá ser corrigida nas 2 horas imediatas
- Rehidratação é otimizada quando se ingere o volume equivalente a 150% do défice de massa corporal determinado
- A bebida deve conter H₂O para rehidratar, CHO para repreenchimento das reservas em glicogénio, e eletrólitos (Na⁺) para acelerar a rehidratação



UTILIZE UMA BEBIDA COM UM TEOR MAIS ELEVADO EM HIDRATOS DE CARBONO E ELETRÓLITOS CONSUMIDA IMEDIATAMENTE APÓS O ESFORÇO



O QUE DEVEMOS TRANSMITIR AOS NOSSOS ATLETAS ?



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, D. (2006). *Tomada de decisão no Desporto*. Ed. FMH.

Jack H. Wilmore, David Costill, W.Larry Kenney (2007). *Physiology of Sport and Exercise*, Human Kinetics

Per-Olof Astrand, Kaare Rodahl, Hans A. Dahl and Sigmund B. Stromme (2007). *Textbook of Work Physiology*. Human Kinetics

William D. McArdle, Frank I. Katch and Victor L. Katch (2009). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. Lippincott Williams & Wilkins

// Antes de iniciar um exercício assegure-se de que está convenientemente hidratado. Durante a atividade física nunca deixe que a sensação de sede apareça. Beba sem sede. Em repouso a sede é um aceitável sinal avisador. Em esforço, toda a atividade metabólica está muito aumentada e a sede é um sinal avisador que aparece tarde. É importante adequar o tipo de líquido às condições ambientais e ao período de esforço.

// Antes do esforço, é muito importante escolher adequadamente o líquido a ingerir. Nestas circunstâncias, selecione líquidos que contenham hidratos de carbono e sódio nas proporções indicadas no texto. Neste caso, a água pura não é a melhor solução.

// No decurso da atividade física, o aparecimento da sede pode ser evitado através da ingestão de pequenas quantidades de um líquido frio, cada 15 minutos, em quantidades que variam entre 200 e 300 mililitros. A composição do líquido depende das condições ambientais. Em climas quentes e húmidos devem privilegiar-se os líquidos de fraca concentração em HCO e eletrólitos.

// Após o esforço, a velocidade dos processos de recuperação energética dependem do estado de hidratação, pelo que é importante, nas duas horas imediatas ao esforço, cumprir estritamente as regras estabelecidas para a re-hidratação.

FICHA TÉCNICA

PLANO NACIONAL DE FORMAÇÃO DE TREINADORES
MANUAIS DE FORMAÇÃO - GRAU III

EDIÇÃO

INSTITUTO PORTUGUÊS DO DESPORTO E JUVENTUDE, I.P.
Rua Rodrigo da Fonseca nº55
1250-190 Lisboa
E-mail: geral@ipdj.pt

AUTORES

AFONSO NEVES, ISABEL MESQUITA e JAIME SAMPAIO

ANÁLISE DA *PERFORMANCE* DESPORTIVA

ANTÓNIO VASCONCELOS RAPOSO

PLURIDISCIPLINARIDADE E TREINO DESPORTIVO

JOSÉ GOMES PEREIRA

FISIOLOGIA DO TREINO

JOSÉ LOPES

GESTÃO DO DESPORTO

JOSÉ MANUEL BORGES

TEORIA E METODOLOGIA DO TREINO DESPORTIVO - MODALIDADES INDIVIDUAIS

LUÍS HORTA

LUTA CONTRA A DOPAGEM

OLÍMPIO COELHO

PEDAGOGIA DO DESPORTO

PAULO CUNHA

TEORIA E METODOLOGIA DO TREINO DESPORTIVO - MODALIDADES COLETIVAS

SIDÓNIO SERPA

PSICOLOGIA DO DESPORTO

COORDENAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CONTEÚDOS

António Vasconcelos Raposo

COORDENAÇÃO DA EDIÇÃO

DFQ - Departamento de Formação e Qualificação

DESIGN E PAGINAÇÃO

BrunoBate-DesignStudio