



Efeito do treino no potencial anaeróbio de nadadores

Dissertação apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, no âmbito do 2º Ciclo de Estudos conducente ao grau de Mestre em Treino de Alto Rendimento Desportivo – Natação, de acordo com o Decreto-lei nº 74/2006 de 24 de março.

Orientador: Professora Doutora Susana Soares

Rui Lages Pinto Cardoso

Porto, Outubro de 2015

Cardoso, R. (2015). Efeito do treino no potencial anaeróbio de nadadores. Dissertação de 2º Ciclo em Treino de Alto Rendimento Desportivo. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Palavras-chave: NATAÇÃO, CONTROLO DO TREINO, POTENCIAL ANAERÓBIO, LIMIAR DE FADIGA

Agradecimentos

A realização desta dissertação é para mim, a realização de mais um sonho. São muitas horas de descontração e lazer postas de parte, em prol desta vitória. Se por vezes a força e o querer são imensos, outras vezes surgem crises de angústia e vontade de parar. É nestes momentos que ouvimos aquela palavra amiga, sentimos aquele apoio familiar, a orientação que nos coloca no rumo certo e dá forças para vencer.

Agradeço:

- à professora Susana Soares, que além de minha orientadora neste estudo, foi excecional e incansável na resolução de cada problema. Sem ela, sem o desafio que me lançou, nada disto teria sido possível, pois a vontade de parar teimava em aparecer; ao professor Leandro Machado que se disponibilizou a todo o momento para me esclarecer tudo sobre o *Sr. MatLab*; ao professor José Maia, por toda a disponibilidade e ajuda no tratamento estatístico; ao professor Ricardo Fernandes e ao professor João Paulo Vilas Boas, por despertarem em mim o desejo do querer saber e me mostrarem que a natação é muito mais do que um cronómetro e um apito.
- aos estudantes do gabinete de natação da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, sempre disponíveis para colaborar;
- a todos os nadadores que participaram neste estudo e à sua família, sempre muito compreensivos e disponíveis para tudo;
- aos meus ex-treinadores, que agora são colegas e amigos, que sempre foram um exemplo para mim e que se mantiveram ao meu lado neste percurso;
- ao meu clube e a todos os que a ele estão ligados, porque sempre me incentivaram a prosseguir a caminhada;
- à minha família, pelo apoio incondicional e pela força que me transmitiram;
- aos verdadeiros amigos, que me colocaram sempre um sorriso no rosto e me deram um abraço nos momentos mais difíceis.

Índice

Índice de quadros.....	vii
Índice de Abreviaturas.....	ix
Resumo.....	xi
Abstract.....	xiii
Nota Introdutória.....	xv
Introdução	1
Material e Métodos.....	9
Amostra.....	9
Procedimentos	9
Tratamento Estatístico	12
Resultados	13
Discussão.....	19
Conclusão	27
Referências bibliográficas	29

Índice de quadros

Quadro 1 - Registos médios do tempo de nado (min) correspondente à prova de 200 m livres, obtidos nas fases inicial (Outubro) e medial da época desportiva (Março), próximas do Pré e Pós-teste, respetivamente.	13
Quadro 2 - Valores médios e respetivos desvios padrão do momento de ocorrência do(s) limiar(es) de fadiga (s), determinado(s) pelos avaliadores experiente e não experiente no pré e no pós-teste.	13
Quadro 3 - Valores médios e respetivos desvios padrão do momento de ocorrência do limiar de fadiga (s), determinados pelos avaliadores experiente e não experiente no pré e pós-teste, após otimização do método de determinação.....	15
Quadro 4 - Valores médios e respetivos desvios padrão da velocidade máxima (Vmax), média (Vmed) e mínima (Vmin) e do índice de fadiga (IF) correspondentes ao teste de 50 m <i>all-out</i>	16
Quadro 5 - Valores médios e respetivos desvios padrão da concentração máxima de lactato sanguíneo (mmol.l ⁻¹) medidos após o teste <i>all-out</i> de 50 m e após o nado da distância de nado correspondente ao limiar de fadiga determinado.	16
Quadro 6 - Valores médios e respetivos desvios padrão do tempo total de nado (t total), distância total de nado (d total), tempo médio de ciclo (t ciclo), distância média de ciclo (DC), frequência gestual (FG), velocidade média (Vmed) e coeficiente de variação (CV) da velocidade média, correspondentes aos intervalos temporais definidos pelos limiares de fadiga das curvas de velocidade obtidas com velocímetro.	17
Quadro 7 – Quadro síntese do treinador: efeito do treino nos valores médios e respetivos desvios padrão do tempo total de nado (t total), velocidade máxima (Vmax), velocidade média (Vmed) e seu coeficiente de variação (CV), velocidade mínima (Vmin), índice de fadiga (IF), concentração máxima de lactato sanguíneo (La max) correspondente ao nado de 50 m <i>all-out</i> , limiar de fadiga, frequência gestual (FG) e distância média de ciclo (DC) correspondentes ao membro superior direito (dir) e esquerdo (esq) e	

concentração máxima de lactato sanguíneo correspondente ao nado da distância do limiar de fadiga.....	17
--	----

Índice de Abreviaturas

% - percentagem

ciclos.s⁻¹ – ciclos por segundo

CV – Coeficiente de variação

d total - distância total de nado

DC – Distância de ciclo

dir - direito

esq - esquerdo

FG – Frequência gestual

IC- Índice de ciclo

IF – Índice de Fadiga

La max – lactato sanguíneo máximo

min – minutos

mmol.l⁻¹ – milimoles por litro

t ciclo - tempo de ciclo

t total – Tempo total de nado

Vmax – Velocidade máxima

Vmed – Velocidade média

Vmin – Velocidade mínima

Resumo

É sabido que os nadadores não são capazes de sustentar a máxima intensidade de esforço em nado *all-out* de 50 m, verificando-se a diminuição da velocidade e a alteração do padrão técnico de nado, possivelmente motivados pela provável entrada em regime de predominância da via glicolítica, o que permite definir um limiar de fadiga cuja sensibilidade ao treino se desconhece. O propósito do presente estudo foi o de determinar a possibilidade de uso do limiar de fadiga proposto por Soares et al. (2014) como método de controlo de treino e avaliar as suas alterações em função do mesmo. A amostra foi constituída por treze nadadores que realizaram 50 m *all-out* na técnica de crol, conectados a um velocímetro eletromecânico, a fim de se obter a curva instantânea da $v(t)$, sobre a qual se determinou o limiar de fadiga, e a máxima concentração de lactato pós-esforço. Após determinados os limiares de fadiga individuais, os nadadores realizaram um percurso de nado de duração correspondente à distância do limiar pré determinado, após o qual foi também medida a máxima concentração de lactato. Os procedimentos de avaliação descritos foram repetidos após um período de 23 semanas de treino. Não se verificaram alterações significativas no limiar de fadiga correspondente ao pré (18.23 ± 6.35 s) e ao pós-teste (16.38 ± 4.98 s), apesar de se ter observado uma potencial melhoria no desempenho anaeróbio dos nadadores, tal como sugerido pelo aumento significativo dos valores da velocidade média (1.53 ± 1.16 vs 1.61 ± 0.18 m.s⁻¹) e mínima (0.54 ± 0.36 vs 0.93 ± 0.20 m.s⁻¹) no pós-teste, mantendo-se semelhantes os níveis de fadiga. O método de avaliação parece ser uma ferramenta viável de controlo de treino, de fácil aplicabilidade e de baixo custo e, por isso, acessível ao treinador.

Palavras chave: NATAÇÃO, CONTROLO DO TREINO, POTENCIAL ANAERÓBIO, LIMIAR DE FADIGA

Abstract

It is well accepted that swimmers are unable to sustain the maximal intensity when swimming 50 m all-out. During this effort, a decay of the swimming velocity and also changes in technical pattern are observed and possibly related to the activation of the glycolysis. This allows to define a fatigue threshold witch sensibility to the training is unknown. The purpose of the study was to determine the possibility of use of the fatigue threshold proposed by Soares et al. (2014) as a control training method and also evaluate its changes after a training period. Subjects were thirteen swimmers that swam 50 m all-out using front crawl technique connected to an electromechanical speedometer to obtain the instantaneous velocity curve $[v(t)]$, over witch the fatigue threshold was determine. The post effort maximal lactate concentration was also measured. After the fatigue thresholds were individually determined the swimmers performed an all-out swam with the duration of the fatigue threshold predetermined. After that swam, blood lactate was measured again. No changes were observed on the fatigue threshold between pre (18.23 ± 6.35 s) and post teste (16.38 ± 4.98 s). Although, a probable improvement in the anaerobic potential of the swimmers occurred, as suggested by the increasing, from pre to the post teste, of the mean (1.53 ± 1.16 vs 1.61 ± 0.18 m.s⁻¹) and minimum velocity (0.54 ± 0.36 vs 0.93 ± 0.20 m.s⁻¹), keeping stabilized the fatigue index. The evaluation method seems to be a valuable tool for training control purposes, easy to apply, with lower cost and, by that, accessible to the coaches.

Key words: SWIMMING, TRAINING CONTROL, ANAEROBIC POTENTIAL, FATIGUE TRESHOLD

Nota Introdutória

O presente estudo foi organizado de forma a seguir a estrutura formal de escrita de um artigo científico. A introdução é, contudo, mais alargada do que o usual para o formato enunciado, por se ter procurado realizar uma revisão de literatura que demonstrasse de forma inequívoca a pertinência da questão científica à qual se pretendeu responder.

Evitou-se, na redação da dissertação, o recurso à língua Inglesa, dado ter-se optado pela escrita do documento em português. Há, contudo, uma expressão que, por dificuldade de tradução, foi mantida e utilizada. A expressão *all-out* tem como tradução adequada o termo máximo, mas, na verdade, este termo não expressa o tipo de esforço que foi efetivamente solicitado aos nadadores, dado que um esforço máximo pode ser doseado em função do tempo e da distância. No momento de recolha de dados pediu-se aos nadadores que iniciassem a prova no máximo da sua capacidade física, mantendo-a tanto tempo quanto conseguissem, porque se pretendeu perceber quanto tempo é que os nadadores suportam a sua capacidade limite de esforço.

Introdução

Avaliar o potencial anaeróbio de um desportista pressupõe um vasto conhecimento relativo aos processos energéticos despoletados em função dos vários tipos de esforço. É indispensável compreender os processos de produção de energia para a contração muscular, os seus fatores de regulação e as suas limitações.

Num exercício anaeróbio de curta duração, como, por exemplo, uma corrida de 100 m no atletismo ou um sprint de 50 m na natação, a hidrólise do ATP disponível a nível muscular (reação exergónica) assegura as primeiras contrações. Para garantir a continuidade do esforço, o principal produto da hidrólise do ATP é fosforilada por um composto de mais alta energia, a creatina fosfato ($ADP + CP \leftrightarrow ATP + C$), numa reação catalisada pela enzima creatina quinase (CK), que o músculo em repouso armazena uma grande quantidade, comparativamente com a reserva de ATP. Esta é a via de ressíntese imediata do ATP, usualmente designada como sistema ATP-CP (McMahon & Jenkins, 2002), ou transportador C-CP (Greenhaff, 2001). O ATP-CP constitui uma via energética cíclica, entendendo a CP como um composto de armazenamento de energia imediata proveniente do sistema oxidativo (Vilas-Boas & Duarte, 1994; Walsh et al., 2001). O transportador C-CP, ou a via do ATP-CP, funciona como um translocador de energia, sendo, por isso, um fornecedor imediato de ATP para a contração muscular e, como tal, a designação de sistema tem sido preterida à de via ou ciclo. A sinalização dos gastos energéticos ocorre através das concentrações de ADP, garantindo o equilíbrio de concentração ATP/ADP na fibra muscular.

Quando se entende a via ATP-CP como processo de translocação energética entre a fibra muscular e a mitocôndria e se aceita uma participação quase imediata da glicólise nos momentos iniciais do esforço, torna-se difícil reconhecer a existência de um tempo de duração do esforço durante o qual a via ATP-CP mantém a sua dominância enquanto via principal de fornecimento de energia. No entanto, a literatura mostra que diferentes autores indicam valores diferentes de duração da via ATP-PC em regime de predominância, variando entre 1 a 5 (Powers & Howley, 1997), 7 a 10 (Skinner & Morgan, 1985), 5 a 15 (Maughan, Gleeson, & Greenhalf, 1997) e 10 a 20 s (Gastin,

2001). A limitação deste sistema fornecedor de energia é a acumulação de ácido láctico, que provoca uma queda do pH muscular abaixo da neutralidade (Maglischo, 1998).

Aplicando a teoria da bioenergética ao treino desportivo, não é incomum os treinadores aceitarem um tempo de duração variável entre os 8 e os 12 s, para esforços realizados à intensidade *all-out*. Findo este tempo, a anterior via deixa de ser capaz de sustentar a máxima intensidade em regime de predominância e, para garantir o esforço próximo da máxima intensidade, é necessário um contributo maior, proveniente do sistema anaeróbio láctico, que pode acontecer através de uma transição mais ou menos abrupta da via aláctica para uma maior dependência da glicólise anaeróbia (Powers & Howley, 1997). A entrada em funcionamento das vias anaeróbias e aeróbias de produção de energia não acontece por sistema de “interruptor”, ou seja, uma via ou sistema entrar em falência, desligar-se e ativar-se outra. Vários autores defendem a probabilidade de haver um contributo simultâneo de ambas as vias na produção de energia, alguns segundos após o início do exercício (Gaitanos, Williams, Boobis, & Brooks, 1993; Jacobs, Tesch, Bar-Or, Karlsson, & Dotan, 1983). Serresse, Lortie, Bouchard, & Boulay (1988) estimaram uma participação relativa dos três processos de produção de energia, em esforços de 30 s, de 23% (via do ATP-CP), 49% (via glicolítica) e 28% (via oxidativa). No âmbito do treino, há uma constante preocupação com a realização das séries destinadas às diferentes vias de produção de energia.

A via glicolítica ocorre no citosol celular e parece suportar o fornecimento energético máximo até aos 1 a 2 min de contração muscular à intensidade máxima (Gastin, 2001; Guyton & Hall, 2002; Maughan et al., 1997; Wilmore & Costill, 1999). A glicólise consiste na degradação da glicose, a hexose mais importante decorrente da digestão dos hidratos de carbono ingeridos na alimentação, até piruvato ou lactato, processo altamente potente, cujo balanço final são 4 a 6 moléculas de ATP, dependendo se a proveniência do substrato metabolizado é o próprio músculo ou se é captado do espaço intersticial, proveniente do fígado.

Para entender o metabolismo anaeróbio importa, de acordo com Green (1994), definir os conceitos de potencial anaeróbio e de capacidade anaeróbia. Van

Praagh (2000) evocou ainda o conceito de potência anaeróbia, pelo facto de o mesmo ser bastante utilizado em modalidades como a natação e o atletismo. Bouchard et al. (1991) referiram que cada sistema energético é caracterizado pelas suas potência e capacidade. Dada a diversidade de conceitos, importa defini-los. A potência de um sistema refere-se à quantidade máxima de energia produzida por unidade de tempo, durante um exercício máximo, enquanto a capacidade se refere à quantidade total de energia disponibilizável por esse mesmo sistema (Armstrong & Welsman, 1997; Van Praagh, 2000). O conceito de potencial só faz sentido quando aplicado previamente ao exercício, significando simplesmente disponibilidade para uso. Capacidade e potencial não descrevem, pois, o mesmo fenómeno, mas a verdade é que, em termos de literatura, algumas vezes estas designações são confundidas (Green, 1994). O conflito terminológico conduz, grosso modo, a uma falta de consonância nas conclusões dos diferentes trabalhos e dificulta a comparação de resultados. A capacidade de trabalho anaeróbio pode ser definida como a quantidade total de trabalho mecânico externo realizada durante um tipo específico de exercício exaustivo, com duração suficiente para promover uma libertação quase máxima de ATP de origem anaeróbia, enquanto o ATP libertado excede aquele que deriva do metabolismo oxidativo. A capacidade anaeróbia, por seu turno, é a quantidade máxima de ATP ressintetizado, via metabolismo anaeróbio, pela totalidade do organismo, durante um tipo específico de exercício máximo de curta duração.

O estudo da resposta de desportistas a esforços de natureza anaeróbia revela-se pouco atraente para os pesquisadores, o que parece dever-se, sobretudo, à natureza invasiva das metodologias mais diretas de determinação do potencial anaeróbio e à dificuldade em validar metodologias indiretas, sejam elas laboratoriais ou de terreno. Por outro lado, quando se revê a literatura procurando dados relacionados com a performance de nadadores velocistas jovens, relativos aos efeitos do treino anaeróbico específico, reúne-se informação insuficiente para planear com segurança (Maglischo, 1993). A determinação da função anaeróbia de desportistas está, assim, aquém do desejável, dado não se reconhecer nenhuma medida direta de avaliação utilizável pelos treinadores, como acontece, por exemplo, com o consumo

máximo de oxigênio (indicador de potência aeróbia). Os métodos considerados mais diretos e já utilizados para determinar variáveis relacionadas com a capacidade de desempenho anaeróbio de sujeitos, desportistas ou sedentários, são a biopsia muscular (Bangsbo, 1998; Houston, Sharratt, & Bruce, 1983; Jacobs et al., 1982) e a ressonância magnética nuclear (Degroot et al., 1993; Hancock, Brault, Wiseman, Terjung, & Meyer, 2005; Miller, Boska, Moussavi, Carson, & Weiner, 1988; Petersen, Gaul, Stanton, & Hanstock, 1999). Apesar de estes métodos diretos deverem ser tomados como referência na comparação com os indiretos, não estão isentos de problemas, pois, além de invasivos, são muito dispendiosos e, adicionalmente, limitados no que concerne à informação produzida relativamente à produção total de energia anaeróbia em exercícios que envolvam mais do que um grupo muscular, não conseguindo, por isso, quantificar o potencial do sistema anaeróbio na sua totalidade. Neste sentido, parece ainda não ter sido possível quantificar, com o rigor desejado, a energia produzida em regime anaeróbio (Bangsbo, 1998).

A utilização de metodologias indiretas, que não caracterizam a verdadeira natureza dos fenômenos biológicos, pouco contribuiu para minimizar a carência de informação relativa ao sistema metabólico anaeróbio. O tipo de testes subjacentes às metodologias indiretas está dividido em duas categorias: testes de potência máxima, que visam medir a potência que um músculo ou grupo muscular consegue gerar num curto período de tempo, geralmente entre 1 a 10 s (Serresse et al., 1989), e os testes de capacidade anaeróbia, que visam medir a capacidade de o músculo ou grupo muscular susterm uma potência elevada ao longo do tempo, geralmente entre os 15 e os 60 s (Soares et al., 2014). A determinação da potência ou da capacidade envolvidas em esforços como saltar, subir escadas, arremessar, correr, pedalar e nadar já foi tentada por diversos autores. No entanto, não foram encontrados na literatura testes padronizados de avaliação do potencial anaeróbio para nado. Foram apenas adaptados e aplicados alguns testes em nado simulado (Morton & Gatin, 1997; Rohrs, Mayhew, Arabas, & Shelton, 1990), amarrado (Rohrs et al., 1990) ou em tapete rolante de água (Holmér & Haglund, 1978; Wakayoshi et al., 1992). Não se conhece, por isso, a verdadeira resposta de nadadores a esforços de natureza anaeróbia, o que tem repercussões diretas ao nível do

controlo e aconselhamento do treino. A diversidade de métodos utilizados e descritos tem dificultado a uniformização das respostas e limitado a comparação dos resultados, o que, de certa forma, acaba por condicionar os treinadores, uma vez que não têm um método prático de avaliar o rendimento desportivo anaeróbio e o efeito do treino no seu desenvolvimento.

Gastin (1994) sugeriu a determinação da concentração de lactato sanguíneo após esforços máximos como medida da energia libertada durante o esforço. É obrigatório concordar que o lactato sanguíneo e o potencial anaeróbio, ainda que intimamente relacionados, são duas dimensões distintas. É sabido que a produção de lactato resulta da via metabólica anaeróbia e a sua concentração máxima pós-exercício é tida como indicador da participação do metabolismo anaeróbio como via fornecedora de energia. Este indicador de potencial anaeróbio é bastante lábil e pouco fiável. O valor medido pode estar inquinado de erro, resultante de inúmeros fatores capazes de alterar as concentrações de lactato em função da intensidade do esforço realizado. De entre os mais significativos, salientam-se a dieta alimentar, o estado de fadiga (induzido por esforços de curta ou longa duração), o estado mental, as perceções da tarefa e os fatores ambientais, como a altitude e a temperatura da água. Acresce ainda que as medições de lactato capilar após o esforço mostram o resultado da relação produção-remoção, ou seja, não quantificam a totalidade de lactato produzido (só possível com recurso a biopsia muscular), mas sim o lactato presente na corrente sanguínea, resultante do equilíbrio entre a produção e a remoção. Denadai et al. (2000) afirmam que o lactato é produzido e libertado principalmente pela musculatura ativa e removido também por ela, além da musculatura inativa, coração e fígado. A amostra de sangue deve ser de 5 a 25 microlitros, recolhidos no lóbulo da orelha ou na ponta do dedo. Para Maglischo (1998), uma parte do ácido láctico produzido durante o exercício difunde-se para fora dos músculos e para a corrente sanguínea, sendo por isso, possível estimar o funcionamento do metabolismo anaeróbio que está a correr no músculo através da concentração sanguínea do ácido láctico.

A forma mais usual de determinação do potencial anaeróbio envolve a mensuração ergométrica, não invasiva, do trabalho mecânico e constitui o método indireto mais comum de avaliação daquela qualidade (Gastin &

Lawson, 1994). Estes testes, de uma forma global, e de acordo com Soares et al. (2007), podem ser divididos, em testes *all-out* e em testes até à exaustão.

Os testes realizados em ciclo ergómetro têm sido, desde há muito utilizados para investigar as respostas metabólicas a esforços de intensidade e duração variáveis. Bar-or (1987), Green (1995) e Winter (1991) para a avaliação da potência máxima do indivíduo sugerem um teste de cicloergómetro, com duração de 10 s para avaliação de força-velocidade, ou um teste com duração de 30 a 40 s para avaliação do potencial anaeróbio do sujeito. Acreditando na validade destes testes, mais uma vez nos deparamos com um método indireto e inespecífico para natação, prevalecendo assim o habitual problema da aplicabilidade dos resultados.

Apesar das evidentes insuficiências dos testes indiretos de determinação do potencial anaeróbio, são poucas as alternativas aos métodos de ressonância magnética e aos métodos histoquímicos e bioquímicos de análise de amostras musculares recolhidas por biopsia. Proporcionar aos treinadores uma ferramenta fiável para avaliar a capacidade anaeróbia dos nadadores, com vista à melhoria da prescrição e monitorização das intensidades do treino é uma necessidade que a ciência ainda não supriu. Na natação, esta necessidade revela-se ainda maior, uma vez que, como afirmam Troup e Trappe (1994), cerca de 80% das distâncias de nado do calendário mundial e olímpico de natação são de 200 m ou menos, o que mostra, em termos metabólicos, que o esforço competitivo tem uma forte componente anaeróbia.

Em termos práticos, relativamente ao treino das vias metabólicas, usualmente os treinadores distinguem o treino da capacidade e da potência anaeróbia aláctica, o treino da capacidade e da potência anaeróbia láctica e o treino da capacidade e potência aeróbia. Independentemente do modelo de construção de séries de treino, da sua duração e do tempo de recuperação, todos buscam a melhoria do rendimento desportivo dos seus nadadores. Ao contrário do que acontece na via aeróbia, há falta de testes anaeróbios de fácil aplicação, específicos para modalidade, pouco dispendiosos e não evasivos. Assim, o treinador não consegue aferir carga treino nem avaliar o rendimento dos seus nadadores com o rigor desejado. Como indicadores, apenas se usou a frequência cardíaca e as concentrações de lactato, no entanto, e quando nos

referimos à via alática, ambos são irrelevantes uma vez que o esforço se situa em torno dos 10 s e, por isso, o tempo para o organismo realizar uma ativação cardíaca notória e o lactato passar para a corrente sanguínea em quantidade mensurável é insuficiente.

Em busca de um contributo para avaliação e treino da via metabólica anaeróbia, Soares et al. (2014) compararam cinco testes de avaliação do desempenho anaeróbio de especificidade crescente em relação à natação, procurando relacioná-los entre si. Com duração constante de 30 s, este estudo permitiu avaliar a possível ocorrência de mudanças no perfil de variação da velocidade de nado e de força e determinar a ocorrência eventuais limiares de fadiga, reflexo do decaimento das capacidades enunciadas ao longo do esforço de nado. Num esforço máximo de 50 m, Soares et al. (2014) observaram um limiar de fadiga a partir do qual ocorrem alterações na velocidade média e na técnica de nado, podendo estas estar relacionadas com a aceleração do funcionamento da glicólise. O reconhecimento deste limiar pressupõe a distinção de um momento ou curto intervalo temporal a partir do qual o regime de funcionamento anterior se altera. Contudo, e como não existe depleção de qualquer substrato, a via anaeróbia dever-se-ia poder manter em funcionamento por tempo indefinido, significando que este limiar representaria o funcionamento máximo em vez da sua não funcionalidade. É precisamente em torno dos 8 a 12 s (Soares et al., 2014) que se começam a observar as primeiras alterações do padrão de nado e a diminuição de velocidade. Este momento de transição constitui-se, assim, como fator de enorme interesse para o treinador, uma vez que poderá, desde que o conheça, alterar o seu planeamento de treino. Reconhecida a existência deste limiar, importa perceber o que o desencadeia, se tem efetivamente origem metabólica e se sofre alterações quando sujeito a um processo de treino específico, uma vez que, na literatura, ainda nada se escreveu. Conhecidos os condicionantes fisiológicos e biomecânicos a melhorar, ou as limitações que interferem na evolução dos nadadores, o treinador, por via das diferentes solicitações metabólicas, vai poder alterar e adequar o seu treino, em busca da melhoria do rendimento desportivo.

Foi objetivo principal deste estudo determinar possibilidade de uso do limiar de fadiga proposto por Soares et al. (2014) como método de controlo de treino e avaliar as suas alterações em função do treino.

Material e Métodos

Amostra

A amostra do presente estudo foi constituída por 13 nadadores de nível regional e nacional, pertencentes à mesma equipa, sendo 6 do sexo masculino (15.27 ± 1.21 anos, 58.50 ± 5.01 kg e 172.83 ± 4.45 cm) e 7 do sexo feminino (14.86 ± 1.35 anos, 56.86 ± 5.84 kg e 166.00 ± 6.51 cm), com uma experiência de nado não inferior a quatro anos de natação de competição. Os nadadores realizavam 7 unidades de treino por semana, com duração média de 3 h (1 h em seco e 2 h em água). O conteúdo do treino foi igual para todos os nadadores. Previamente ao início dos procedimentos de recolha foi garantida a participação voluntaria no estudo e obtido consentimento escrito dos pais.

Procedimentos

Os nadadores foram avaliados em dois momentos, em piscina longa interior e com água aquecida a 28°C. No primeiro momento, realizaram 50 m *all-out* na técnica de crol conectados a um velocímetro eletromecânico. Procedeu-se à recolha de imagens de superfície com uma câmara panorâmica SONY, que acompanhou o nadador durante todo o percurso de nado, sempre a uma distância aproximada de 2 m. O tratamento das imagens permitiu o registo sequencial de todos os tempos de entrada e saída do MS direito e do MS esquerdo da água, em cada ciclo de nado. Posteriormente calculou-se o momento em que a velocidade de nado começou a decair de forma evidente (limiar de fadiga). No segundo momento, os nadadores realizaram um percurso de nado máximo correspondente ao tempo do limiar de fadiga previamente determinado, também conectados ao velocímetro. Foi seguido o mesmo procedimento de registo de imagem. A máxima concentração de lactato ([La max]) foi determinada, após ambos os momentos de teste, por método de química seca, utilizando um analisador da marca Lactate Pro (Arkray, Inc.) e respetivas tiras reativas . A recolha de sangue capilar (5 µL) realizou-se após punção do lóbulo da orelha com uma lanceta (Heinz Herenz, Germany) em repouso (Larep) e após o esforço, aos 1, 3 e 5 minutos de recuperação. O intervalo de tempo entre avaliações adjacentes foi de 24 horas. Todos os testes

foram precedidos de um aquecimento padrão, constituído por 8 min de esforço contínuo a intensidade moderada. A primeira recolha de dados foi realizada no início da época (Outubro), e a segunda culminou com um pico de preparação para os Campeonatos Nacionais (Abril), intervaladas por um período de treino de cerca de 6 meses.

A conexão dos nadadores ao velocímetro foi feita por meio de um fio de *nylon*, a fim de se obter a curva da variação instantânea da velocidade em função do tempo [$v(t)$]. O fio, de comprimento total superior a 50 m, foi fixado no ponto central da região lombar, à altura da cintura pélvica, numa posição equidistante das duas articulações coxo-femorais. Para impedir a tração casual e ocasional do fio pela ação dos membros inferiores, foi utilizada uma vara de alumínio, fixa a uma altura constante, por onde se fez passar o fio, elevando a sua altura em relação ao plano de água. O Velocímetro foi desenvolvido nos Laboratórios de Biomecânica e de Natação da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, em conjunto com o Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Lima, 2006). Consiste numa caixa retangular, em cujo interior existem dois carretos, um para o enrolamento do fio e outro para fixar o diâmetro de cada volta do carreto. Tem acoplado um codificador incremental (ou sensor incremental rotativo) que gera um número de impulsos constante (500 pontos por volta) a cada volta do carreto por desenrolamento do fio. Os impulsos gerados pelo codificador são processados num microcontrolador e traduzidos em valores de velocidade através de uma unidade de microprocessamento. Por via de um cabo *USB*, o microcontrolador do velocímetro comunica com o computador, enviando informação que é processada num programa desenvolvido em *Labview* (versão 7.1), pela mesma equipa que construiu e desenvolveu o instrumento (Lima, 2006). O programa desenvolvido necessita da introdução dos dados referentes ao nadador [nome, sobrenome, sexo, data de nascimento, peso (kg) e altura (cm)] e após cada ensaio, e para cada nadador, são produzidos três ficheiros de dados. É gerado um ficheiro *Word* com um relatório tabelar contendo os dados do nadador e do ensaio e os valores estimados da velocidade, tempo do ensaio e distância percorrida, bem como o gráfico típico da variação da $v(t)$ (registo da velocidade instantânea) com a

curva da V_{med} acoplada. Um ficheiro em formato *CSV* (*excel*), para onde os dados são exportados, contendo o registo de todas as coordenadas da função $v(t)$ e, finalmente, um ficheiro de imagem, em formato *Jpeg*, contendo apenas o gráfico isolado da variação da $v(t)$ e respetiva curva média.

O tratamento dos dados da curva $v(t)$ foi realizado com vista à determinação de limiares de fadiga e também para determinar o perfil de flutuação intracíclica da velocidade e da respetiva variação com a fadiga. Para tal, foi utilizada uma rotina escrita em *MatLab* (versão 7.0) pelo grupo de investigação. Para determinar os limiares de fadiga, foi feita a sincronização dos tempos de cada ação de entrada e saída dos membros superiores (todos os ciclos de braços) com as curvas de velocidade produzidas durante o nado. O primeiro passo da rotina é a delimitação do traçado gráfico, excluindo o deslize inicial e o momento de finalização do teste, designado de chegada. Em seguida, realiza-se uma análise da curva usando a transformada contínua de *wavelets*, que permite identificar a frequência instantânea contida no sinal, ou seja, ver o conteúdo de frequências do sinal ao longo do tempo. O resultado da análise por *wavelets* é apresentado sob a forma de 6 gráficos de contorno, cada um dos quais correspondente a uma fração diferente do coeficiente da wavelet com a máxima amplitude, normalmente 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90% da amplitude máxima. Através da inspeção visual destes gráficos de contorno, discrimina-se uma ou várias “zonas” onde o comportamento da frequência é marcadamente diferente e assim se determina o instante em que a queda acentuada da frequência ocorreu. Nos casos em que a determinação das referidas zonas não era óbvia por análise destas primeiras curvas, optou-se pela visualização de curvas de nível com frações inferiores (iso-superfícies mais baixas): 1%, 10%, 20%, 30%, 45% e 60%. Em síntese, a partir dos resultados da transformada contínua de *wavelets* discriminou-se um ou mais pontos de separação de zonas (intervalos temporais) com diferentes características espectrais, chamados de limiares de fadiga. Registado o(s) momento(s) de ocorrência do(s) limiar(es) de fadiga, as diferentes zonas foram analisadas separadamente, através de um períodograma, sendo cada um normalizado ao seu próprio valor de amplitude máxima. Depois da inspeção visual dos períodograma, os limiares de fadiga previamente determinados

foram aceites sempre que as frequências dos valores dos lobos principais e as respetivas amplitudes e valores das frequências eram marcadamente diferentes entre zonas (intervalos temporais). Nos casos em que tal não aconteceu, procedeu-se a uma nova análise dos gráficos de contorno das *wavelets* e repetiu-se todo o processo. No final da rotina, o programa produz, ainda, um ficheiro de dados com uma listagem de todas as frequências máximas e do lobo de amplitude máxima que, no períodograma, se encontram nos intervalos de atenuação de 0-5 e 5-10 dB. Estes dados são sempre apresentados para todos os intervalos de tempo definidos de acordo com o(s) limiar(es) de fadiga predeterminados.

A análise dos resultados consistiu, numa primeira fase, na validação do método de análise das curvas de $v(t)$ para assegurar a fiabilidade dos dados a serem determinados (valor do limiar de fadiga). Um avaliador experiente e um avaliador não experiente realizaram a análise das curvas de cada nadador duas vezes (teste e reteste), intervaladas mais de uma semana e por ordem aleatória. Após este procedimento, a rotina de análise foi otimizada e voltaram a repetir-se as análises. Após garantida a fiabilidade do método de análise entrou-se na segunda fase do estudo, em que se procedeu à análise dos efeitos do treino no limiar de fadiga.

Tratamento Estatístico

Para testar a fiabilidade do método recorreu-se à associação dos valores das variáveis do teste e do reteste. Foi determinado o coeficiente de correlação de *Pearson*, tendo-se considerado as correlações significativas para $p \leq 0.05$. Sempre que os pressupostos da estatística paramétrica foram cumpridos, utilizou-se, para comparação de médias, os teste t de medidas repetidas, estabelecendo o valor da probabilidade em 5%.

Resultados

No Quadro 1 podem observar-se os resultados médios dos nadadores obtidos na prova de 200m livres em competições próximas do primeiro e segundo momentos de avaliação, sendo clara a evolução de todos os nadadores entre sensivelmente o início e o meio da época desportiva.

Quadro 1 - Registos médios do tempo de nado (min) correspondente à prova de 200 m livres, obtidos nas fases inicial (Outubro) e medial da época desportiva (Março), próximas do Pré e Pós-teste, respetivamente.

Tempo de prova (min)	Outubro	Março	Incremento (%)
Total Amostra	2.22 ± 13.38*	2.16 ± 12.31	3.69 ± 2.49

*diferente de Pós-teste ($p \leq 0.05$)

Houve evolução dos nadadores entre os dois momentos de avaliação, a qual se refletiu numa melhoria significativa no tempo da prova de 200 m livres, que em média foi de 6 s. O elevado desvio padrão foi reflexo das diferenças no nível de rendimento desportivo dos vários nadadores da amostra, assim como da sua constituição, que compreendia nadadores de ambos os sexos.

Os valores médios e respetivos desvios padrão do (s) limiar (es) de fadiga determinados pelo avaliador experiente e não experiente, no momento do pré e do pós-teste são apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - Valores médios e respetivos desvios padrão do momento de ocorrência do(s) limiar(es) de fadiga (s), determinado(s) pelos avaliadores experiente e não experiente no pré e no pós-teste.

	Pré-teste		Pós-teste	
	Avaliador não experiente	Avaliador experiente	Avaliador não experiente	Avaliador experiente
Situação 1: determinado 1 limiar em teste e 1 limiar em reteste.				
n	6	8	5	7
Teste- 1L	12.17±2.64	18.50±7.56	11.40±4.04	17.00±4.12
Reteste – 1L	12.17±2.64	19.00±6.41	13.60±3.65	19.29±2.87
T-test		p=0.590	p=0.063	p=0.176
Correlação intraclasse		0.97*	0.93	0.55

Situação 2: determinados 2 limiares em teste e 2 limiares em reteste.

n	7	1	4	3
Teste- 1ºL	10.43±1.41		9.75±1.26	11.67±0.58
Reteste – 1ºL	10.57±1.81		10.00±1.41	13.00±3.61
T-test	p=0.356		p=0.391	p=0.547
Correlação intraclasse	0.99*		0.95	0.37
Teste- 2ºL	21.00±2.58		20.00±3.74	21.33±4.04
Reteste – 2ºL	21.71±3.20		20.00±3.74	21.00±5.29
T-test	p=0.45			p=0.74
Correlação intraclasse	0.803*			0.973*

Situação 3: determinados 2 limiares em teste e 1 limiar em reteste.

n	4	4	1
1ºL Teste	13.00±3.37	8.75±2.36	
2ºL Teste	19.75±2.50	17.00±3.56	
1L Reteste	20.00±2.94	14.00±6.27	
1ºL Teste*1L Reteste			
T-test	p=0.002	p=0.235	
Correlação intraclasse	0.95	-0.27	
2ºL Teste*1L Reteste			
T-test	p=0.391	p=0.190	
Correlação intraclasse	0.99*	0.86*	

Situação 4: determinado 1 limiar em teste e 2 limiares em reteste.

n	2
1L Teste	14±1.41
1ºL Reteste	12±1.41
2ºL Reteste	19.5±4.95
1LTeste*1ºL Reteste	
T-test	p=0.500
Correlação intraclasse	
1L Teste*2ºL Reteste	
T-test	p=0.437
Correlação intraclasse	-0.24

*diferente do Reteste (p≤0.05)

Legenda: 1L – 1 limiar de fadiga; 1ºL – 1º limiar de fadiga; 2ºL – 2º limiar de fadiga

Verificou-se uma correlação moderada entre os valores do teste e do reteste. No entanto, as diferenças entre os valores médios dos resultados do avaliador

experiente e do avaliador não experiente foram acentuadas. Registaram-se vários casos em que o número de limiares encontrados foi diferente entre o avaliador experiente e o avaliador não experiente. Os sujeitos agrupados de acordo com o número de limiares determinados não foi o mesmo no teste e no reteste.

Depois da realizada a otimização do método de determinação dos limiares de fadiga, a análise das curvas de velocidade dos nadadores foi repetida pelos avaliadores experiente e não experiente. Os valores médios de ocorrência do limiar de fadiga podem observar-se no Quadro 3.

Quadro 3 - Valores médios e respetivos desvios padrão do momento de ocorrência do limiar de fadiga (s), determinados pelos avaliadores experiente e não experiente no pré e pós-teste, após otimização do método de determinação.

	Pré-teste	Pós-teste
Avaliador não experiente	18.23±6.35	16.38±4.98
Avaliador experiente	19.00±5.40	16.70±4.25
Correlação intraclassa	0.88*	0.90*

*significativo para $p \leq 0.05$

Dada a elevada correlação observada nos resultados interavaliadores e atendendo à significância estatística, aceitou-se o método de avaliação otimizado para análise dos efeitos do treino, considerando-se os valores do avaliador não experiente como referência. O limiar de fadiga, no pré-teste, ocorreu em torno dos 18 segundos, ao passo que no pós-teste ocorreu em torno dos 16 segundos.

No Quadro 4 podem observar-se os valores médios da velocidade máxima, média e mínima e a % de fadiga determinados após nado de 50 m em regime *all out*.

Quadro 4 - Valores médios e respetivos desvios padrão da velocidade máxima (V_{max}), média (V_{med}) e mínima (V_{min}) e do índice de fadiga (IF) correspondentes ao teste de 50 m *all-out*.

	V_{max} (m.s ⁻¹)	V_{med} (m.s ⁻¹)	V_{min} (m.s ⁻¹)	IF (%)
Pré-teste	2.36 ± 0.19	1.53 ± 0.16*	0.54 ± 0.36*	8.39 ± 8.58
Pós-teste	2.37 ± 0.26	1.61 ± 0.18	0.93 ± 0.20	10.75 ± 3.53

*diferente do Pós-teste ($p \leq 0.05$)

Atendendo aos resultados e apesar de os valores apresentados serem resultado da média dos valores da velocidade de todos os sujeitos da amostra, a V_{max} não se alterou. No entanto, a V_{med} e V_{min} foram superiores no pós-teste, para um mesmo percentual de fadiga.

O Quadro 4 expressa os valores máximos de lactatemia no final dos 50 m *all-out* no final da distância de nado correspondente ao tempo do limiar.

Quadro 5 - Valores médios e respetivos desvios padrão da concentração máxima de lactato sanguíneo (mmol.l⁻¹) medidos após o teste *all-out* de 50 m e após o nado da distância de nado correspondente ao limiar de fadiga determinado.

	50 m <i>all-out</i>	Distância de nado correspondente ao Limiar
Pré-teste	5.62 ± 2.13	2.63 ± 1.00
Pós-teste	7.23 ± 2.83*	2.45 ± 0.66

*diferente do Pós-teste ($p \leq 0.05$)

Os valores máximos de lactato sanguíneo acumulados pelos nadadores na distância de 50 m, foram superiores ao limiar anaeróbio teórico de 4 mmol.l⁻¹ descrito por Mader (1991), o que não aconteceu no nado da distância correspondente ao limiar, em que os valores médios de lactato se encontram abaixo do referido limiar. Verificou-se um aumento significativo do valor de lactato no pós-teste, após o nado de 50 m *all-out*.

No Quadro 6 podem ser observadas outras variáveis discriminantes do comportamento dos nadadores nos diferentes intervalos temporais definidos pelos limiares de fadiga predeterminados, nomeadamente indicadores de alteração do padrão de nado.

Quadro 6 - Valores médios e respetivos desvios padrão do tempo total de nado (t total), distância total de nado (d total), tempo médio de ciclo (t ciclo), distância média de ciclo (DC), frequência gestual (FG), velocidade média (Vmed) e coeficiente de variação (CV) da velocidade média, correspondentes aos intervalos temporais definidos pelos limiares de fadiga das curvas de velocidade obtidas com velocímetro.

	Pré-teste		Pós-teste	
	1º Intervalo	2º Intervalo	1º Intervalo	2º Intervalo
t total (s)	14.67±6.31	14.45±5.42	12.71±4.54	14.69±4.79
d total (m)	22.70±7.73	21.64±8.57	20.82±6.65	22.58±7.78
t ciclo (s)	1.24±0.18*	1.36±0.21	1.18±0.17*	1.31±0.21
DC (m)	1.97±0.12	1.98±0.14	1.95±0.11	1.98±0.14
FG (ciclos.s ⁻¹)	0.82±0.12*	0.76±0.12	0.86±0.13*	0.78±0.13
Vmed (m.s ⁻¹)	1.61±0.20*	1.48±0.18	1.67±0.20*	1.53±0.18
CV	0.14±0.02	0.17±0.04	0.13±0.03	0.15±0.03

*diferente do 2º Int (p≤0.05)

No que se reporta ao teste de 50 m *all-out*, os valores médios apresentados revelaram aumento do tempo de ciclo (t ciclo) e diminuição da frequência gestual (FG) e da distância de ciclo (DC) do momento pré para o momento pós limiar de fadiga.

No Quadro 7 está apresentada uma síntese dos efeitos do treino registados com o teste de 50 m *all-out*. A maior parte das variáveis não se alterou significativamente com o treino.

Quadro 7 – Quadro síntese do treinador: efeito do treino nos valores médios e respetivos desvios padrão do tempo total de nado (t total), velocidade máxima (Vmax), velocidade média (Vmed) e seu coeficiente de variação (CV), velocidade mínima (Vmin), índice de fadiga (IF), concentração máxima de lactato sanguíneo (La max) correspondente ao nado de 50 m *all-out*,

limiar de fadiga, frequência gestual (FG) e distância média de ciclo (DC) correspondentes ao membro superior direito (dir) e esquerdo (esq) e concentração máxima de lactato sanguíneo correspondente ao nado da distância do limiar de fadiga.

	Pré-teste	Pós-teste
t total (s)	32.49 ± 3.15*	30.18 ± 3.50
Vmax (m.s ⁻¹)	2.36 ± 0.19	2.37 ± 0.26
Vmed (m.s ⁻¹)	1.53 ± 0.16*	1.61 ± 0.18
CV	0.16 ± 0.02	0.15 ± 0.03
Vmin (m.s ⁻¹)	0.54 ± 0.36*	0.93 ± 0.20
IF (%)	8.39 ± 8.58	10.75 ± 3.53
La max 50 m <i>all-out</i>	5.62 ± 2.13*	7.90 ± 2.83
Limiar Fadiga	18.23 ± 6.35	16.38 ± 4.98
FG (ciclos.s ⁻¹) (dir)	0.82 ± 0.12	0.85 ± 0.13
FG (ciclos.s ⁻¹) (esq)	0.82 ± 0.11	0.86 ± 0.13
DC (dir)	1.89 ± 0.11	1.88 ± 0.11
DC (esq)	1.88 ± 0.11	1.87 ± 0.11
La max Limiar Fadiga	2.81 ± 0.94	2.45 ± 0.66

*diferente do Reteste (p≤0.05)

Discussão

O nível de rendimento desportivo na natação está diretamente relacionado com fatores biomecânicos que envolvem o alinhamento dinâmico do corpo no meio líquido (Colwin, 2000) e a habilidade técnica, com as características antropométricas dos nadadores (Caputo; Oliveira; Denadai; Greco, 2006), com fatores fisiológicos, nomeadamente a superação da fadiga provocada pelos esforços anaeróbios lácticos (Maglischo, 1999) e com o sexo e a idade (Caputo; Oliveira; Denadai; Greco, 2006), entre outros. Sem sobrevalorizar ou desvalorizar qualquer dos fatores enunciados, reconhece-se que determinar a capacidade anaeróbia de nadadores é fundamental para o controlo dos efeitos do treino e posterior ajuste de cargas de esforço metabólico. Bangsbo (1998) referia, na década de 90 do séc. XX, que não se conseguia quantificar com o rigor desejado a energia produzida pelo sistema metabólico anaeróbio, reconhecimento que parece não se ter modificado até aos dias de hoje. Sendo a natação uma modalidade em que uma grande parte dos esforços competitivos tem um forte carácter anaeróbio, um ajuste de treino eficaz só pode ser conseguido se o treinador dispuser de dados de avaliação e controlo válidos e fiáveis. Soares et al. (2014), sensíveis à necessidade de melhor quantificar o potencial anaeróbio desenvolveram um estudo em que submeteram nadadores a um esforço *all-out* de 50 m com o propósito de observar o perfil de alteração da velocidade instantânea de nado enquanto possível caracterizador do regime de produção de energia anaeróbia. Os autores observaram a existência de um limiar a partir do qual se dá uma alteração evidente no registo da velocidade instantânea, com, nomeadamente, queda do valor da velocidade média, o qual designaram como limiar de fadiga. O limiar observado ocorreu, em termos médios, aos 13 s do esforço total de 50 m, parecendo, em teoria, indicar uma potencial desaceleração da produção de energia proveniente da via ATP-CP e o crescendo da via glicolítica. Apesar de os autores supracitados terem demonstrado a existência do limiar, não comprovaram a fiabilidade do método utilizado para o determinar e não foram capazes de explicar quais os fatores que o desencadeiam, tendo feito apenas uma associação causal teórica entre o limiar de fadiga e o metabolismo celular. Adicionalmente, os autores também não se referiram a qualquer efeito do treino

no limiar, aspeto fulcral se se pretende que o método utilizado constitua uma ferramenta de avaliação e controlo do treino. O presente estudo teve como objetivo demonstrar a fiabilidade do método utilizado por aqueles autores, testar a hipótese da origem metabólica do limiar e observar os efeitos do treino sobre o mesmo, no sentido de se poder aceitar o método como ferramenta de controlo do treino de nadadores.

A concretização do estudo não teria sido possível sem a demonstração inequívoca de que os nadadores desenvolveram efetivamente o seu potencial anaeróbio ao longo da época desportiva. Tal foi garantido pela análise da evolução dos tempos de nado correspondentes aos esforços competitivos na prova de 200 m livres, cuja participação metabólica anaeróbica é, segundo Maglischo (2003), da ordem dos 70%. Os nadadores da amostra incrementaram, em média, os tempos de nado cerca de 3.7% ($\approx 6s$), tendo-se observado uma variação interindividual muito elevada ($sd=2.5\%$), o que era esperado face às diferenças no nível de rendimento desportivo, maioritariamente decorrentes do facto de a amostra contemplar, de forma equitativa, nadadores do sexo masculino e do sexo feminino. Maglischo (2003) já havia demonstrado a existência de diferenças no desenvolvimento da capacidade anaeróbia em resposta ao treino, tendo observado que a mesma é treinável em jovens nadadores de idades próximas dos da amostra do presente estudo, relatando ganhos de 5 a 10% nesta capacidade, comparativamente com jovens não treinados. Dado que não se observou involução no rendimento desportivo em nenhum dos nadadores da amostra, assumiu-se que todos melhoraram o seu desempenho anaeróbio e avançou-se para a análise dos resultados do teste de velocimetria.

A demonstração da fiabilidade de um método de avaliação é um procedimento inultrapassável, particularmente, como no caso presente, se se pretende usar a ferramenta enquanto instrumento de controlo de treino. Em consequência, o limiar de fadiga determinado pelo método em estudo (através da curva $v(t)$) não pode variar em análises repetidas (teste-reteste), nem ser diferente para avaliadores com níveis de experiência diferente na utilização do método. No presente estudo, dois avaliadores, um experiente na análise dos dados de variação da $v(t)$ e um não experiente aplicaram a rotina de análise (*wavelets*)

duas vezes, quer aos dados de pré-teste, quer aos de pós-teste, intervaladas por um período não inferior a uma semana. Ambos os avaliadores determinaram 1 a 2 limiares de fadiga nas curvas de cada nadador da amostra, mas esse número nem sempre foi igual no teste e no reteste, tendo ocorrido uma de quatro situações possíveis: manteve-se um limiar no reteste, mantiveram-se dois limiares no reteste, passou de um para dois limiares no reteste, passou de dois para um limiar no reteste. Acresceu ainda que, os sujeitos em cujas curvas de $v(t)$ foi determinado, por exemplo, um limiar no pré-teste, não foram obrigatoriamente os mesmos para os quais foi determinado também um limiar no pós-teste. A comparação dos valores dos limiares registados pelos dois avaliadores, quer para os dados de pré-teste, quer para os do pós-teste, revelou diferenças no número de limiares encontrados para o mesmo nadador. Pôde-se então concluir que o número de limiares determinado em reteste podia ser diferente do determinado em teste e que os dois avaliadores revelavam resultados díspares o suficiente para não se poderem considerar os resultados da avaliação realizada robustos e fiáveis. A disparidade dos resultados dos dois avaliadores foi suficiente para invalidar a análise do efeito do treino sobre o(s) limiar(es) de fadiga, inviabilizando a análise velocimétrica enquanto método de avaliação e controlo do treino e obrigando a um ajuste do método.

Durante o tratamento dos dados referentes ao estudo da fiabilidade do método foi possível observar que sempre que eram encontrados dois limiares um deles não só era graficamente mais visível do que o outro (inspeção visual dos gráficos), como a diferença entre as frequências dos intervalos temporais situados antes e após o limiar (inspeção do periodograma) era mais acentuada no limiar mais visível. Adicionalmente e como já foi referido, a comparação dos resultados também permitiu observar que quando o número de limiares determinados era o mesmo no teste e no reteste a correlação dos seus valores tendia a ser elevada e significativa. Consequentemente, o método de análise parecia ter um problema relacionado com o número de limiares determinados. Com base no descrito, foi sugerido aos avaliadores que voltassem a analisar as curvas de $v(t)$ considerando apenas a mudança mais evidente no regime de frequências da velocidade, ou seja, os avaliadores foram forçados a escolher

apenas um limiar em cada curva. Com a pretensão de apurar a inspeção visual otimizou-se o procedimento de rotina, no qual foram incluídos gráficos com contornos mais marcados. Os resultados mostraram que, cumprindo o pressuposto da eleição de apenas um limiar e dispondo de gráficos facilitadores da inspeção visual, as diferenças interindividuais na determinação dos limiares deixaram de se observar, quer nos registos de pré-teste, quer nos de pós-teste. O nível de concordância dos resultados do avaliador experiente e não experiente foi muito elevado, tal como se pode comprovar pelos valores fortes de correlação. Desta forma, reconheceu-se a validade e fiabilidade do método de análise otimizado e avançou-se para a análise do efeito do treino no potencial anaeróbio dos nadadores com base na alteração do valor do limiar de fadiga determinado pelo avaliador não experiente, aquele que se entendeu que simulava melhor um treinador a quem teriam sido ensinados os procedimentos de análise das curvas de $v(t)$.

Previamente à comparação dos limiares de pré e pós-teste procedeu-se à análise do rendimento desportivo nos 50 m *all-out* com base nas velocidades máxima, média e mínima de nado, bem como no IF. Apesar de a velocidade máxima não ter sofrido alterações com o treino, quer a velocidade média, quer a mínima aumentaram significativamente, para os mesmos valores de fadiga, revertendo num decréscimo significativo do tempo de nado na prova de 200 m livres. Os resultados indicaram assim, um provável aumento do potencial anaeróbio dos nadadores, talvez mais da capacidade anaeróbia e menos da potência, dado que a V_{max} não aumentou. Aliás, como se discutirá mais à frente, o limiar de fadiga tendeu a ocorrer mais cedo.

A determinação da lactatemia tem sido o método mais frequentemente utilizado na avaliação do treino e na caracterização do esforço, quer pelos investigadores (Vilas-Boas & Duarte, 1991), quer pelos treinadores. Os valores máximos de lactato obtidos no presente estudo, após o nado dos 50 m *all out*, foram tomados como relevantes enquanto prova do forte contributo do metabolismo anaeróbio para sustentar aquele esforço, validando a busca de um limiar situado na zona de esforço anaeróbio que, eventualmente, separe regimes de produção energética de predominância alática e láctica, o qual possa explicar a perda de velocidade verificada ao longo do esforço e constituir-se

como limiar de fadiga. Os valores máximos de lactato obtidos após o nado da distância correspondente ao limiar de fadiga foram determinantes para sustentar a hipótese anterior, tal como será discutido a seguir.

O limiar de fadiga médio encontrado quer no pré-teste (18.23 ± 6.35 s), quer no pós-teste (16.38 ± 4.98 s) foi tardio em relação ao encontrado por Soares et al. (2014) (≈ 13 s) no percurso de 50 m *all-out*. Smolka & Ochmann (2013), referiram também uma diminuição da velocidade máxima de nado ainda mais precoce (≈ 9 s), no primeiro percurso de uma distância de nado de 100 m crol, mas tal poderá estar mais relacionado com a estratégia de doseamento do esforço adotado pelos nadadores do que com a perda da capacidade de manutenção da velocidade no seu valor máximo. Para que o limiar de fadiga seja entendido como ponto de distinção entre a predominância de funcionamento do ciclo do ATP-CP e a glicólise é preciso aceitar que a duração do primeiro pode estender-se até aos 20 s, de acordo com o defendido por Gustin (2001), embora outros autores tenham sugerido tempos de duração inferiores, nomeadamente entre 1 a 5 (Powers & Howley, 1997), 7 a 10 (Skinner & Morgan, 1985) e 5 a 15 s (Maughan et al., 1997). Apesar de o valor médio encontrado, quer no pré, quer no pós-teste, ser aparentemente tardio, as concentrações de lactato pós-esforço obtidas após nado da distância correspondente à duração do limiar mostraram que a atividade da glicólise se manteve baixa (2.64 ± 1.00 mmol.l⁻¹), tendo a energia provindo, queremos crer, maioritariamente do ciclo do ATP-CP, uma vez que foi bastante inferior ao limiar teórico das 4 mmol.l⁻¹ referido por Mader (1991) e muito semelhante ao limiar anaeróbio individual de nadadores treinados [ex: 2.32 ± 0.68 mmol.l⁻¹, Sousa (2011)].

A comparação entre os limiares de fadiga correspondentes aos pré e pós-teste permitiu observar apenas uma tendência para a antecipação do limiar por efeito do treino, dado que as diferenças encontradas não foram significativas. A ausência de diferenças deveu-se, muito provavelmente, à heterogeneidade da amostra (nadadores de nível de rendimento desportivo muito distinto e de ambos os sexos), evidenciada pelos elevados valores dos desvios padrão. Tal sugere que o instrumento de avaliação deva ser testado com amostras maiores e de nível de rendimento semelhante.

De entre as variáveis biomecânicas usualmente utilizadas para a análise do desempenho de nadadores, Castro (2005) afirma que a FG, a DC, a V_{med} de nado e o IF, são as mais utilizadas pelos treinadores, enquanto variáveis indicadoras da qualidade técnica do nado. A FG indica o número de ciclos realizados pelos membros superiores por minuto ($\text{ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$) e possibilita o encontro de valores de treino favoráveis para a melhoria do desempenho em competição. Indissociável da FG, a DC é definida como o espaço percorrido pelo nadador durante um ciclo completo dos membros superiores, ou seja, é a distância horizontal que o corpo do nadador percorre na água durante um ciclo completo dos membros superiores. Pai et al. (1986) referiram que, entre nadadores de elite, a combinação entre a FG e a DC, da qual resulta a velocidade, pode sofrer muitas variações, produzindo velocidades similares. Com base nesta afirmação, pode-se sugerir que não existem valores ótimos na relação entre a FG e a DC, existindo sim uma FG individual ótima (Keskinen, 1993). A melhoria da FG e da DC é, como se compreende, uma constante preocupação dos treinadores, revelando a evolução da técnica de nado. Para Hay (1993), a DC, mais do que a FG é o fator determinante na V_{med} do nadador, dado que o declínio da velocidade durante a prova é acompanhado por um decréscimo da DC, mais um argumento a favor do estudo do efeito do treino nesta variável. A FG e a DC foram também obtidas com o teste de velocimetria, permitindo perceber que, quer no pré, quer no pós-teste, após a ocorrência do limiar de fadiga nos 50 m *all-out* não só se observam alterações da velocidade (diminuição da V_{med} de nado, mas sem alteração do seu CV) como também se verifica uma diminuição da FG, mantendo-se a DC. Adicionalmente, é também determinado o t ciclo, que aumenta após a ocorrência do limiar de fadiga. A comparação do tempo total (t_{total}) e da distância total (d_{total}) de nado antes e após a ocorrência do limiar, outro dado observado com a análise dos resultados das curvas de $v(t)$, permitiu observar o seu aumento após a ocorrência do limiar de fadiga no pós-teste, resultado concordante com a tendência observada de antecipação do limiar de fadiga por efeito do treino. Estas variáveis podem ajudar a diagnosticar eventuais alterações técnicas decorrentes da fadiga, uma vez conhecido o limiar. Estes resultados são concordantes com parte do conhecimento já existente sobre os efeitos da fadiga na técnica de nado, apesar de a distância estudada ter

tendido a ser menor e a intensidade inquestionavelmente maior do que as distâncias de referência utilizadas nos restantes estudos (Figueiredo, Vilas-Boas, Seifert, Chollet, & Fernandes, 2010).

Uma vez que o propósito do presente estudo foi o de analisar os efeitos do treino no potencial anaeróbio do nadador, fez sentido reunir toda a informação proporcionada pelo método num quadro síntese que mostre ao treinador a alteração do comportamento das variáveis na sequência dos estímulos que induziu nos nadadores. O quadro síntese elaborado na sequência deste estudo permite ao treinador perceber que o potencial anaeróbio dos nadadores aumentou, uma vez que houve uma melhoria significativa no tempo de nado dos 50 m *all-out*, e correspondente aumento da lactatemia, resultante do aumento da V_{med} , mantendo-se o CV, e V_{min} . O IF tendeu a aumentar por efeito do treino, mas as diferenças não se revelaram significativas, o que, segundo Smith et al. (1988), pode dever-se à maior FG (também não significativamente diferente após o treino), que representa sempre um custo energético superior.

À análise dos desvios do limiar de fadiga com o treino (antecipação ou retardamento) poderá dar também ao treinador alguma informação relativa à via energética que foi mais potenciada com o treino (ATP-CP ou glicólise), realizando o ajuste das cargas de treino se o resultado não foi o esperado.

O quadro mostra ainda que o instrumento utilizado permite realizar cálculos de variáveis afetas apenas a um dos membros superiores isoladamente, o que possibilita o diagnóstico de eventuais desequilíbrios técnicos unilaterais. Na amostra do presente estudo a DC não revelou necessidade de intervenção do treinador (ex: correção ou ajuste do gesto técnico), mas quando observados os valores individuais dos sujeitos (resultados não apresentados; o treinador deverá ter uma tabela para cada nadador e não uma tabela de síntese com valores médios da equipa, como se apresenta neste estudo), pôde observar-se que há um nadador em que a diferença entre as distâncias de ciclo correspondentes ao membro superior direito (1.95 m) e esquerdo (1.86 m) é acentuada o suficiente para que se procure a causa do encurtamento da ação do membro superior esquerdo.

Em síntese, este método de avaliação é uma ferramenta de controlo de treino acessível para o treinador, sendo de fácil aplicação e análise, ajudando-o a perceber a eficácia do seu treino a nível fisiológico e ajudando-o também a intervir na técnica de nado, caso se justifique.

Conclusão

O estudo realizado demonstrou que:

- (i) o método otimizado de determinação do limiar de fadiga de Soares et al. (2014) afigurou-se fiável;
- (ii) o limiar de fadiga tem relação com a dinâmica metabólica expressa pela lactatemia de esforço;
- (iii) não foi possível comprovar a existência de efeito do treino no limiar de fadiga, ainda que os dados tenham mostrado a tendência para a sua antecipação.

Referências bibliográficas

- Armstrong, N., & Welsman, J. (1997). Anaerobic function during growth. *British Journal of Physical Education*, 28(1), 3-6.
- Bangsbo, J. (1998). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 30(1), 47-52.
- Bar-Or. (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med*, 4(6), 381-394.
- Bouchard, C., Taylor, C., Simoneau, J.-A., & Dulac, S. (1991). Testing anaerobic power and capacity. In J. D. MacDougall, H. A. Wenger, & H. J. Green (Eds.), *Physiological testing of the high performance athlete* (pp. 175-222). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Caputo; Oliveira; Denadai; Greco. (2006). Fatores intrínsecos do custo energéticoda locomoção durante a natação. *Revista Brasileira de Medicina e Esporte*, 12(6), 339-404.
- Castro, F. A. S. G., A.C.S.; MORÉ, F.C.; LAMMERHIRT, H.M.; MARQUES, A.C. (2005). Cinemática do nado “crawl” sob diferentes intensidades e condições de respiração de nadadores e triatletas. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 19(3).
- Colwin, C. M. (2000). nadando para o seculo XXI.
- Degroot, M., Massie, B. M., Boska, M., Gober, J., Miller, R. G., & Weiner, M. W. (1993). Dissociation of [H+] from fatigue in human muscle detected by high time resolution 31P-NMR. *Muscle Nerve*, 16(1), 91-98.
- Denadai, B. S., Greco, C. C., & Teixeira, M. (2000). Blood lactate response and critical speed in swimmers aged 10-12 years of different standards. *J Sports Sci*, 18(10), 779-784.
- Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., Seifert, L., Chollet, D., & Fernandes, R. J. (2010). Inter-limb coordinative structure in a 200 m front crawl event. *Open Sports Sciences Journal*, 3, 25-27.

- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H., & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75(2), 712-719.
- Gastin, P. B. (1994). Quantification of anaerobic capacity. *Scand. J. Med. sci. Sports*, 4:, 91-112.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*, 31(10), 725-741.
- Gastin, P. B., & Lawson, D. L. (1994). Variable resistance all-out test to generate accumulated oxygen deficit and predict anaerobic capacity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 69(4), 331-336.
- Green, S. (1994). A definition and systems view of anaerobic capacity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 69(2), 168-173.
- Green, S. (1995). Measurement of anaerobic work capacities in humans. *Sports Med*, 19(1), 32-42.
- Greenhaff, P. L. (2001). The creatine-phosphocreatine system: there's more than one song in its repertoire. *J Physiol*, 537(3), 657.
- Guyton, A. C., & Hall, J. H. (2002). *Tratado de fisiologia médica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Hancock, C. R., Brault, J. J., Wiseman, R. W., Terjung, R. L., & Meyer, R. A. (2005). ³¹P-NMR observation of free ADP during fatiguing, repetitive contractions of murine skeletal muscle lacking AK1. *Am J Physiol Cell Physiol*, 288(6), 1298-1304.
- Hay, G. (1993). *The Biomechanics of Sports Techniques*. Englewood Cliffs,. Prentice-Hall.
- Holmér, I., & Haglund, S. (1978). *The swimming flume: experiences and applications*. Paper presented at the Proceedings of The Fourth International Congress on Swimming Medicine, Stockholm, Sweden.
- Houston, M. E., Sharratt, M. T., & Bruce, R. W. (1983). Glycogen depletion and lactate responses in freestyle wrestling. *Can J Appl Sport Sci*, 8(2), 79-82.

- Jacobs, I., Bar-Or, O., Karlsson, J., Dotan, R., Tesch, P., Kaiser, P., & Inbar, O. (1982). Changes in muscle metabolites in females with 30-s exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 14(6), 457-460.
- Jacobs, I., Tesch, P. A., Bar-Or, O., Karlsson, J., & Dotan, R. (1983). Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30s of supramaximal exercise. *J. Applied. Physiol.*, 55:, 365-368.
- Keskinen, K., Komi, P. . (1993). Stroking characteristics of front crawl swimming during exercise. . *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 219-226.
- Lima, A. B. (2006). *Concepção, desenvolvimento de resultados e eficiência no treino da técnica em Natação*. (Tese de doutoramento), FCDEF-UP, Porto.
- Mader, A. (1991). Evaluation of endurance performance of marathon runner and theoretical analysis of tests results. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*(31), 1-19.
- Maglischo. (1993). *Swimming Even Faster*. Mayfield Publishing Company, Mountain View, California.
- Maglischo. (1998). Teoria do Treinamento de Natação. *1ª Clínica Internacional de Natação do Maranhão, São Luiz*.
- Maglischo. (1999). Nadando ainda mais rápido. *Manole*.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest* (Rev. ed. of swimming even faster (1983) ed.). USA: Human Kinetics.
- Maughan, R., Gleeson, M., & Greenhalf, P. L. (1997). *Biochemistry of exercise and training*. Oxford: Oxford University Press.
- McMahon, S., & Jenkins, D. (2002). Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Medicine*, 32(12), 761-784.
- Miller, R. G., Boska, M. D., Moussavi, R. S., Carson, P. J., & Weiner, M. W. (1988). ³¹P nuclear magnetic resonance studies of high energy phosphates and pH in human muscle fatigue. Comparison of aerobic and anaerobic exercise. *J Clin Invest*, 81(4), 1190-1196.

- Morton, D. P., & Gatin, P. B. (1997). Effect of high intensity board training on upper body anaerobic capacity and short-lasting exercise performance. *Aust J Sci Med Sport*, 29(1), 17-21.
- Pai, Y. H., J.; Wilson, B. (1986). Stroking techniques of elite swimmers. *J. Hay (ed.), Starting, Stroking and Turning (a compilation of research on the biomechanics of swimming of the University of Iowa*, 115-129.
- Petersen, S. R., Gaul, C. A., Stanton, M. M., & Hanstock, C. C. (1999). Skeletal muscle metabolism during short-term, high-intensity exercise in prepubertal and pubertal girls. *J Appl Physiol*, 87(6), 2151-2156.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (1997). *Exercise physiology - theory and applications to fitness and performance*. USA: Brown and Benchmark.
- Rohrs, D. M., Mayhew, J. L., Arabas, C., & Shelton, M. (1990). The relationship between seven anaerobic tests and swim performance. *J Swimming Research*, 6(4), 15-19.
- Serresse, O., Ama, P. F., Simoneau, J. A., Lortie, G., Bouchard, C., & Boulay, M. R. (1989). Anaerobic performances of sedentary and trained subjects. *Can J Sport Sci*, 14(1), 46-52.
- Serresse, O., Lortie, G., Bouchard, C., & Boulay, M. R. (1988). Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *Int J Sports Med*, 9(6), 456-460.
- Skinner, J. S., & Morgan, D. W. (1985). Aspects of anaerobic performance. In D. H. Clarke & H. M. Eckert (Eds.), *Limits of human performance* (pp. 31-44): Human Kinetics Publishers, Inc.
- Smith, H. K. M., R.R.; Penault, H. (1988). The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *European Journal of Applied Physiology*, (pp.182-188).
- Smolka, L., & Ochmann, B. (2013). A novel method of anaerobic performance assessment in swimming. *J Strength Cond Res*, 27(2), 533-539. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825489b2

- Soares, Fernandes, Machado, Maia, J. A., Daly, D. J., & Vilas-Boas, J. P. (2014). Assessment of fatigue thresholds in 50-m all-out swimming. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(6), 959-965. doi: 10.1123/ijsp.2013-0419
- Soares, S., Fernandes, R. J., Machado, J. L., Maia, J. A., Daly, D. J., & Vilas-Boas, J. P. (2014). Fatigue Thresholds Assessments in 50m All Out Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 11.
- Soares, S., Maia, J. A., & Vilas-Boas, J. P. (2007). Avaliação Indirecta da Funcionalidade Anaeróbia de Nadadores de Diferente Estatuto Maturacional com Recurso a Testes laboratoriais e de Terreno.
- Sousa, J. C. (2011). The 7x200 incremental Intermittent protocol for anaerobic threshold assesement in swimming. A physiologic and biomechanical study. *Master Thesis in sport sciences. Uneversity of Porto, Faculty of Sport*.
- Troup, J. P., & Trappe, S. (1994). *Applications of research in swimming*. Paper presented at the Medicine and Science in Aquatic Sports. Proceedings of the 10th FINA World Sport Medicine Congress, Kyoto, Japan.
- Van Praagh, E. (2000). Development of anaerobic function during childhood and adolescence. *Pediatric Exercise Science*, 12:, 150-173.
- Vilas-Boas, J. P., & Duarte, J. A. (1991). Variação dos valores de lactato sanguíneo ao longo da prova de 100 m livres em natação: estudo piloto da dinâmica metabólica glicolítica.
- Vilas-Boas, J. P., & Duarte, J. A. (1994). *Factores de eficiência no treino de nadadores*. Paper presented at the XVII Congresso Técnico da APTN, Figueira da Foz.
- Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1992). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 64(2), 153-157.
- Walsh, B., Tonkonogi, M., Soderlund, K., Hultman, E., Saks, V., & Sahlin, K. (2001). The role of phosphorylcreatine and creatine in the regulation of

mitochondrial respiration in human skeletal muscle. *J Physiol*, 537(3), 971-978.

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1999). *Physiology of sport and exercise*. USA: Human Kinetics.

Winter, E. M. (1991). Cycle ergometry and maximal intensity exercise. *Sports Med*, 11(6), 351-357.