

Classificação e acompanhamento da evolução de nadadores jovens com base em fatores biomecânicos, durante duas épocas desportivas

Autores

Jorge E. Morais¹; Tiago M. Barbosa¹; Pedro Forte¹; António J. Silva¹; Henrique P. Neiva¹; Daniel D. Marinho¹

morais.jorgestrela@gmail.com

Resumo

Os objetivos deste estudo foram classificar os nadadores jovens em grupos, de acordo com os principais determinantes do rendimento desportivo, ao longo de duas épocas desportivas, e analisar as variações individuais de cada nadador. A amostra foi constituída por 30 nadadores, participantes regulares em competições regionais e nacionais. Foram avaliadas variáveis biomecânicas (antropométricas, cinemáticas, hidrodinâmicas e eficiência), e ainda a performance (100m crol).

Foram constituídos 3 clusters: cluster 1 incluiu os nadadores mais rápidos, cluster 2 nadadores intermédios, e cluster 3 nadadores mais lentos. A performance melhorou entre momentos de avaliação em todos os clusters (cluster 1 - M1: 70.61±5.91s vs M7: 60.17±1.95s; cluster 2 - M1: 77.93±3.32s vs M7: 65.62±3.67s; cluster 3 - M1: 81.95±4.83s vs M7: 70.53±3.10s), e todas as variáveis antropométricas aumentaram entre momentos de avaliação. As variáveis cinemáticas e de eficiência aumentaram entre o primeiro e último momento de avaliação. Em cada um dos momentos de avaliação, diferentes variáveis foram responsáveis pela formação dos clusters. Foi verificado que os nadadores têm tendência para mudar de cluster ao longo do tempo, constatando-se uma diminuição dos nadadores incluídos no cluster 1 (“talentosos”). Concluindo, é possível agrupar nadadores jovens da mesma faixa etária/escalão competitivo em subgrupos com características semelhantes e que os nadadores mudaram de cluster ao longo do tempo de acordo com as suas características e treino.

Treinadores devem ter em atenção que cada nadador pode passar por diferentes subgrupos durante a mesma época desportiva, o que implica ter um planeamento de treino diferente e adequado a cada grupo de nadadores.

¹ Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano

Palavras-chave: cinemática; hidrodinâmica; eficiência; estabilidade; performance

Introdução

A identificação e desenvolvimento de talentos desportivos é um dos principais temas a ter em conta na área do rendimento desportivo. A Natação Pura Desportiva é um desporto multifatorial, no qual se verificam interações entre vários domínios científicos. Se os fatores intrínsecos (genéticos) não podem ser “manipuláveis”, os fatores extrínsecos (relacionados com as condições ambientais, como por exemplo o treino) podem ser monitorizadas através do planeamento e controlo do treino. Um planeamento bem delineado pode focar-se na melhoria de parâmetros fisiológicos e/ou biomecânicos com um efeito positivo sobre a performance¹¹. É reportada uma relação entre a performance de nadadores jovens e fatores antropométricos^{8,11} e biomecânicos/eficiência^{1,9}, procurando identificar e predizer quais os principais determinantes da sua performance. Outros autores procuraram ainda monitorizar a sua performance e seus fatores determinantes ao longo do tempo, relacionando-os com o treino^{10,11}. Mais recentemente, verificou-se que os fatores biomecânicos (responsáveis pela técnica/mecânica de nado) são os principais responsáveis pela variação da performance em nadadores jovens (entre 70% a 85% durante um macro-ciclo de treino)¹⁵.

Um estudo com recurso a modelos de crescimento latente (estudo confirmatório) verificou que existe uma inter- e intra-variabilidade na performance e fatores determinantes de nadadores jovens ao longo do tempo¹¹. Esta inter- e intra-variabilidade significa que os nadadores jovens diferem entre si na evolução da performance e nos fatores determinantes, e que cada nadador tem o seu próprio perfil de evolução, respetivamente⁵. Dado a existência desta variabilidade, outros estudos verificaram que ainda assim é possível agrupar nadadores jovens de acordo com as suas semelhanças antropométricas e/ou biomecânicas num determinado momento², ou em vários momentos ao longo de uma época desportiva¹⁰. Ainda assim, a informação sobre este tópico de estudo é escassa, visto que as alterações morfológicas e técnicas a que os nadadores jovens estão sujeitos, podem interferir de diversas formas na evolução dos mesmos.

Neste sentido, os objetivos deste estudo foram: (i) classificar os nadadores jovens em grupos, de acordo com os principais determinantes do rendimento desportivo, ao longo de duas épocas desportivas e; (ii) analisar as variações individuais (hipotéticas alterações entre grupos) de cada nadador, em cada momento de avaliação. Foram colocadas como hipóteses que os fatores responsáveis pela formação de grupos variam de momento para momento, e que os nadadores mudariam de cluster ao longo do tempo.

Metodologia

Desenho do estudo

Medidas repetidas de variáveis antropométricas, cinemáticas, eficiência e hidrodinâmicas foram realizadas em sete momentos diferentes (M_i), ao longo de duas épocas desportivas. Os momentos de avaliação ocorreram durante o período em que os nadadores atingiram o pico de performance.

O nível de evidencia com base no “[United States Preventive Services Task Force](#) (USPSTF)” e: Nível II-3: Evidencia obtida de múltiplos grupos de dados ao longo do tempo com ou sem intervenção.

Amostra

A amostra foi constituída por 30 nadadores jovens (geral: 11.72 ± 0.84 anos de idade, 46.70 ± 8.83 kg de massa corporal; 14 rapazes: 12.33 ± 0.65 anos de idade, 50.22 ± 9.59 kg de massa corporal; 16 raparigas: 11.15 ± 0.55 anos de idade, 43.63 ± 7.02 kg de massa corporal; no início da avaliação), participantes regulares em competições regionais e nacionais. Os nadadores estavam incluídos num programa de identificação, desenvolvimento e acompanhamento de talentos desportivos.

Os treinadores, pais e/ou responsáveis e os próprios nadadores deram o seu consentimento para participar do estudo. Todos os procedimentos estavam de acordo com a Declaração de Helsínquia no que diz respeito a pesquisas no Ser Humano.

Planeamento do treino

A carga de treino é apresentada na Figura 1. A intensidade foi definida como: A0 - ritmo aquecimento e recuperação; A1 - ritmo baixo; A2 - ritmo moderado (capacidade aeróbia); A3 - ritmo elevado (potência aeróbia).

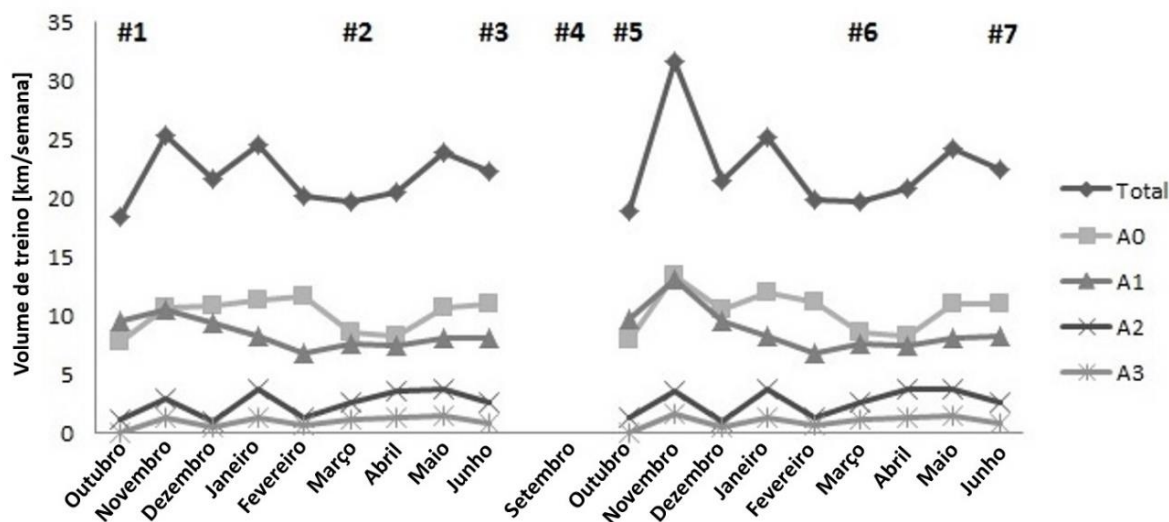


Figura 1. Carga de treino aplicada ao longo das duas épocas desportivas. A0 - ritmo aquecimento e recuperação; A1 - ritmo baixo; A2 - ritmo moderado (capacidade aeróbia); A3 - ritmo elevado (potência aeróbia). #1 - após 4 semanas do início da primeira época; #2 - após 24 semanas do início da primeira época; #3 - após 38 semanas do início da primeira época; #4 - imediatamente antes do início da segunda época (baseline); #5 - após 4 semanas do início da segunda época; #6 - após 24 semanas do início da segunda época; #7 - após 38 semanas do início da segunda época.

Performance

A competição de 100m livres foi selecionada como o principal resultado (tempo de prova oficial em piscina de 25m), visto que é a prova com maior participação nesta faixa etária/escalão competitivo. O intervalo de tempo entre a recolha de dados e a prova não excedeu 15 dias.

Antropometria

Todas as medições foram realizadas com os nadadores a usarem um fato de banho de tecido têxtil, touca e óculos. Foi medida a estatura (Est; cm) e a envergadura (Env; cm) de acordo com o descrito na literatura¹². A área de secção transversa do tronco (ASTT; cm²) foi avaliada através de fotogrametria digital, como descrito no estudo de Morais et al.¹².

Cinemática e eficiência

Os nadadores foram solicitados a realizar três percursos de 25m à velocidade máxima na técnica de crol, sendo o valor médio considerado para análise. Entre cada percurso, os nadadores descansaram 30 minutos para garantir uma recuperação completa.

As variáveis cinemáticas foram recolhidas através de um velocímetro mecânico (Swim Speedometer, Swimsportec, Hildesheim, Alemanha) (ICC=0.95). A transferência de dados ($f=50\text{Hz}$) foi realizada através de um cartão de aquisição de 12-bit (USB-6008, National Instruments, Austin, Texas, EUA) para um software personalizado (interface de LabVIEW®, v.2009)¹. A velocidade de nado média (Vel ; $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) foi determinada pelo valor médio dos 15m intermédios (entre os 5 e 20m). Dois avaliadores mediram a frequência gestual (FG; $\text{ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$; ICC=0.98) com um crono-frequencímetro (base 3) e, posteriormente, convertido em unidades SI (Hz). A distância de ciclo (DC; m) foi calculada como $DC=Vel/FG$ ⁴. A variação intra-cíclica da velocidade (dv ; adimensional) foi calculada como o coeficiente de variação $dv=CV=\text{desvio padrão}/\text{média}$ ¹.

A eficiência propulsiva dos membros superiores (η_p ; %) foi estimada através de um modelo analítico¹⁶: $\eta_p = [((Vel*0.9)/(2\pi*FG*I))^2 / \pi]$. Em que Vel é a velocidade de nado ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), π (valor constante Pi, 3.14), FG a frequência gestual (Hz) e I o comprimento do membro superior como um segmento articulado (cm; calculado através de fotogrametria digital¹²). O índice de nado (IN; $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) foi calculado como $IN=Vel\cdot DC^3$.

Hidrodinâmica

O método de perturbação de velocidade foi selecionado para avaliar as variáveis hidrodinâmicas⁷. Os nadadores realizaram dois percursos máximos de 25m crol com impulsão a partir da parede (um percurso com e outro sem um corpo hidrodinâmico adicional acoplado). A velocidade de nado foi avaliada entre os 11m e 24m desde a parede de partida⁹. O tempo foi medido com um cronómetro manual (Golfinho Sports MC 815, Aveiro, Portugal) por dois avaliadores experientes (ICC = 0.98). O arrasto ativo (D_a) foi estimado como⁷: $D_a = D_b v_b v^2 / v^2 - v_b^2$.

Em que D_a é o arrasto ativo, D_b é a resistência do corpo hidrodinâmico, v_b e v é a velocidade com e sem o corpo hidrodinâmico acoplado. O coeficiente de arrasto ativo (C_{Da}) foi calculado como⁷: $C_{Da} = 2*D_a / \rho*ASTT*Vel^2$.

Em que C_{Da} é o coeficiente de arrasto ativo, ρ é a densidade da água (assumindo ser $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), Vel é a velocidade e $ASTT$ é a área de secção transversa do tronco na direção do deslocamento.

Procedimentos estatísticos

Os pressupostos de normalidade e homocedasticidade foram previamente verificados, com os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respetivamente.

Para a análise de clusters, foi utilizado um método não-hierárquico (k-means), que permite agrupar os nadadores de acordo com suas semelhanças¹³. Os z-scores estandardizados das variáveis selecionadas foram calculados para comparar conjuntos de dados com diferentes unidades e/ou grandezas. A ANOVA a um fator foi utilizada para identificar as variáveis com maior influência em cada cluster. Para efeito de validação dos clusters, foi realizada uma análise discriminante ($p \leq 0.05$). O eta-quadrado total (η^2) foi selecionado como um índice de tamanho de efeito. A alteração entre intra-individual entre clusters foi feita através de inspeção visual.

Resultados

Depois de agrupados os nadadores em clusters (o modelo definiu 3 clusters), o cluster 1 incluiu os nadadores mais rápidos de acordo com a sua prestação nos 100m, o cluster 2 os nadadores intermédios, e o cluster 3 os nadadores mais lentos. Assim, optou-se por caracterizar o cluster 1 como “talentosos”, o cluster 2 como “proficientes”, e o cluster 3 como “não-proficientes”.

A performance melhorou entre momentos de avaliação em todos os clusters (cluster 1 - M1: $70.61 \pm 5.91s$ vs M7: $60.17 \pm 1.95s$; cluster 2- M1: $77.93 \pm 3.32s$ vs M7: $65.62 \pm 3.67s$; cluster 3 - M1: $81.95 \pm 4.83s$ vs M7: $70.53 \pm 3.10s$). Entre o final de uma época e o início da seguinte (M3vsM4-destreino), os nadadores apresentaram um decréscimo na performance (tabela 1). Todas as variáveis antropométricas aumentaram entre o primeiro (M1) e o último momento (M7) de avaliação, em cada um dos clusters (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva da performance, dos fatores determinantes por cluster e número de nadadores incluídos em cada cluster).

	Cluster 1 (N=12)		Cluster 2 (N=4)		Cluster 3 (N=14)		F	p	η^2
	Média±1DP	z	Média±1DP	z	Média±1DP	z			
Est [cm]	163.6±6.0*	0.84406	158.1±2.71	0.24693	148.4±6.5#	-0.79404	19.02	<0.001	0.61
Env [cm]	166.1±11.1	0.73691	157.7±4.9	0.01303	150.2±7.8#	-0.63536	9.82	0.001	0.72
ASTT [cm ²]	695.1±120.5	0.73486	549.2±93.8	-0.49987	550.7±72.1#	-0.48706	8.26	0.002	0.37
DC [m]	1.68±0.19	0.75676	1.33±0.28#	-0.50749	1.33±0.23	-0.50365	9.50	0.001	0.40
Vel [m·s ⁻¹]	1.39±0.12*	0.79535	1.11±0.29	-0.46401	1.09±0.17	-0.54915	10.76	<0.001	0.44
dv [adimensional]	0.10±0.04	0.05350	0.11±0.05	0.51770	0.09±0.02	-0.19377	1.09	0.348	0.05
D _a [N]	53.49±24.41	0.51024	51.56±29.87	0.42770	28.53±12.60	-0.55955	7.40	0.003	0.28
C _{Da} [adimensional]	0.32±0.08	-0.08202	0.50±0.31	1.05431	0.30±0.12	-0.23092	6.58	0.005	0.18
η_p [%]	30.32±3.17	0.56423	25.50±5.99#	-0.45870	26.00±4.67	-0.35256	4.77	0.017	0.22
IN [m ² ·s ⁻¹]	2.35±0.38*	0.84907	1.53±0.64#	-0.50635	1.48±0.43	-0.58310	13.91	<0.001	0.50
PERF [s]	70.61±5.91	-0.85525	77.93±3.32	0.14286	81.95±4.83	0.69225	15.37	<0.001	0.54

	Cluster 1 (N=7)		Cluster 2 (N=5)		Cluster 3 (N=18)		F	p	η^2
	Média±1DP	z	Média±1DP	z	Média±1DP	z			
Est [cm]	168.2±5.7*	1.14248	159.7±8.6	0.22284	153.0±6.7	-0.50620	12.54	<0.001	0.48
Env [cm]	174.3±9.3*	1.27541	161.1±8.9	0.05718	154.9±6.3	-0.51187	17.87	<0.001	0.56
ASTT [cm ²]	770.1±82.1*	0.85926	652.8±157.2	-0.11717	630.7±102.7	-0.30161	7.08	0.003	0.24
DC [m]	1.32±0.17	0.76605	1.34±0.26*	0.82126	1.06±0.12#	-0.52603	30.37	<0.001	0.43
Vel [m·s ⁻¹]	1.19±0.23	0.94075	1.14±0.19*	0.70337	0.87±0.10#	-0.56123	62.19	<0.001	0.49
dv [adimensional]	0.12±0.05	0.43034	0.08±0.01	-0.53006	0.10±0.03	-0.02011	0.73	0.490	0.10

D_a [N]	66.13±20.49	1.18528	46.10±16.44	0.22545	30.48±12.08	-0.52357	10.01	0.001	0.52
C_{Da} [adimensional]	0.33±0.07	0.42688	0.35±0.15	0.54544	0.26±0.09	-0.31752	3.22	0.055	0.16
η_p [%]	23.05±4.06	0.36635	24.08±5.13	0.64238	20.48±2.80	-0.32091	18.72	<0.001	0.17
IN [$m^2 \cdot s^{-1}$]	1.61±0.51	0.86893	1.57±0.53*	0.77467	0.93±0.21#	-0.55310	69.50	<0.001	0.48
PERF [s]	64.29±5.11	-1.30050	71.36±2.92	-0.16420	75.82±3.88	0.55136	14.41	<0.001	0.60

M3

	Cluster 1 (N=5)		Cluster 2 (N=18)		Cluster 3 (N=7)		F	p	η^2
	Média±1DP	z	Média±1DP	z	Média±1DP	z			
Est [cm]	172.3±3.0*	1.49941	159.1±4.9*	0.04254	148.1±5.5#	-1.18042	31.83	<0.001	0.73
Env [cm]	178.2±7.2*	1.51736	162.1±6.5	-0.01272	151.2±4.5#	-1.05111	23.09	<0.001	0.66
ASTT [cm^2]	735.0±49.2	0.85146	677.08±80.8*	0.14521	557.1±84.9	-0.98159	16.40	<0.001	0.37
DC [m]	1.74±0.12	1.33191	1.39±0.18	-0.21721	1.36±0.21	-0.39280	8.46	0.001	0.37
Vel [$m \cdot s^{-1}$]	1.50±0.10	1.26759	1.21±0.18	-0.16517	1.15±0.17	-0.48069	7.01	0.004	0.35
dv [adimensional]	0.10±0.02	0.31951	0.09±0.02	-0.15062	0.10±0.03	0.15908	0.29	0.747	0.06
D_a [N]	73.58±28.21	1.34263	45.44±11.95	0.00198	25.16±7.37#	-0.96412	14.23	<0.001	0.54
C_{Da} [adimensional]	0.36±0.09	0.41754	0.33±0.11*	0.17985	0.23±0.06	-0.76074	2.62	0.091	0.19
η_p [%]	29.42±1.28	0.64643	26.50±3.38	-0.18598	27.21±4.52	0.01648	3.28	0.053	0.09
IN [$m^2 \cdot s^{-1}$]	2.62±0.24*	1.47939	1.71±0.41	-0.23067	1.59±0.44	-0.46354	11.74	<0.001	0.46
PERF [s]	61.75±3.23	-1.42293	70.33±4.45	0.03115	75.66±3.24	0.93626	14.67	<0.001	0.56

M4

	Cluster 1 (N=5)		Cluster 2 (N=15)		Cluster 3 (N=10)		F	p	η^2
	Média±1DP	z	Média±1DP	z	Média±1DP	z			
Est [cm]	172.6±4.04	1.25322	163.8±4.9*	0.24603	153.1±6.4#	-0.99566	24.41	<0.001	0.64
Env [cm]	179.2±6.1	1.48201	164.9±6.5	0.09404	154.9±5.9	-0.88207	25.24	<0.001	0.65

ASTT [cm ²]	782.6±62.5	1.17118	695.2±53.2	0.18367	602.6±79.02	-0.86110	14.03	<0.001	0.51
DC [m]	1.85±0.19	1.14666	1.67±0.12*	0.23547	1.45±0.11#	-0.92654	16.59	<0.001	0.55
Vel [m·s ⁻¹]	1.58±0.06*	1.64758	1.37±0.07	0.03904	1.26±0.06	-0.88235	37.88	<0.001	0.74
dv [adimensional]	0.08±0.01	-0.26919	0.09±0.02	-0.16151	0.10±0.03	0.37686	1.09	0.349	0.06
D _a [N]	86.07±47.29*	1.44926	40.47±12.79	-0.19339	33.77±11.20	-0.43454	10.89	<0.001	0.45
C _{Da} [adimensional]	0.43±0.18	0.14091	0.43±0.28	0.14916	0.33±0.10	-0.29420	0.63	0.539	0.04
η _p [%]	31.23±2.57	0.34811	30.92±3.13*	0.24121	28.63±2.34	-0.53587	2.38	0.111	0.15
IN [m ² ·s ⁻¹]	2.94±0.29*	1.66583	2.30±0.10	0.12826	1.82±0.16#	-1.02531	76.18	<0.001	0.85
PERF [s]	63.93±2.91	-1.52265	71.45±3.35	-0.11337	77.02±2.40	0.93139	32.34	<0.001	0.71

M5

	Cluster 1 (N=5)		Cluster 2 (N=18)		Cluster 3 (N=7)		F	p	η ²
	Média±1DP	z	Média±1DP	z	Média±1DP	z			
Est [cm]	172.8±4.3	1.24185	162.7±6.1	0.04126	154.1±6.8	-0.99313	13.77	<0.001	0.51
Env [cm]	180.4±6.6*	1.48268	164.1±7.2	-0.09808	156.9±7.2	-0.80683	15.98	<0.001	0.54
ASTT [cm ²]	820.8±60.6	1.30346	687.9±69.5	-0.12511	642.9±96.1	-0.60932	8.71	0.001	0.39
DC [m]	1.91±0.14	1.32965	1.68±0.10*	0.10918	1.43±0.06#	-1.23051	28.38	<0.001	0.68
Vel [m·s ⁻¹]	1.57±0.05*	1.51643	1.39±0.07	-0.00376	1.26±0.04#	-1.07348	27.99	<0.001	0.68
dv [adimensional]	0.10±0.03	0.34076	0.08±0.01	-0.43477	0.11±0.02	0.87457	6.41	0.005	0.35
D _a [N]	107.12±48.68	1.07136	69.96±25.80	-0.30098	47.90±17.63	-0.68558	6.12	0.006	0.31
C _{Da} [adimensional]	0.41±0.15	-0.50258	0.55±0.17*	0.31066	0.42±0.15	-0.43986	2.38	0.111	0.15
η _p [%]	32.13±1.62	0.59191	30.85±3.04*	0.15713	27.94±1.98	-0.82686	4.28	0.024	0.24
IN [m ² ·s ⁻¹]	3.00±0.19*	1.65013	2.34±0.15	0.03262	1.81±0.13#	-1.26256	79.54	<0.001	0.85
PERF [s]	61.25±3.04	-1.41037	68.86±3.82	-0.00889	74.51±3.09	1.03029	20.18	<0.001	0.60

M6

	Cluster 1 (N=6)		Cluster 2 (N=15)		Cluster 3 (N=9)		F	p	η^2
	Média±1DP	z	Média±1DP	z	Média±1DP	z			
Est [cm]	173.3±3.8	1.13868	162.3±8.5	-0.18711	160.1±5.1	-0.44726	8.95	0.001	0.35
Env [cm]	181.2±6.5*	1.38157	163.9±8.1	-0.34664	164.0±6.4	-0.34331	19.84	<0.001	0.49
ASTT [cm ²]	854.4±79.3	1.22220	678.5±75.2#	-0.45568	720.5±96.7	-0.05532	16.71	<0.001	0.42
DC [m]	1.82±0.21	0.70644	1.67±0.11	-0.23355	1.70±0.16	-0.08170	2.11	0.140	0.13
Vel [m·s ⁻¹]	1.62±0.05*	1.49270	1.44±0.06	-0.15294	1.38±0.07#	-0.74023	18.37	<0.001	0.64
dv [adimensional]	0.09±0.01	0.20069	0.07±0.01	-0.46828	0.10±0.02	0.64667	1.87	0.173	0.25
D _a [N]	100.90±45.07	0.47310	71.32±31.67	-0.32004	91.39±3.98*	0.21800	9.33	0.001	0.11
C _{Da} [adimensional]	0.43±0.10	-0.54864	0.52±0.20	-0.22191	0.77±0.33*	0.73562	11.78	<0.001	0.26
η_p [%]	30.62±2.47	-0.55077	32.68±3.87*	-0.09718	35.54±5.79	0.52914	1.14	0.332	0.15
IN [m ² ·s ⁻¹]	2.97±0.32*	1.40415	2.42±0.16	-0.26421	2.34±0.27	-0.49573	14.24	<0.001	0.52
PERF [s]	60.25±2.06	-1.16102	66.63±4.69	0.03538	70.25±4.08	0.71503	7.63	0.002	0.44

M7

	Cluster 1 (N=8)		Cluster 2 (N=10)		Cluster 3 (N=12)		F	p	η^2
	Média±1DP	z	Média±1DP	z	Média±1DP	z			
Est [cm]	172.9±4.5*	1.00200	166.3±6.2	0.20270	157.6±5.6#	-0.83692	25.05	<0.001	0.58
Env [cm]	179.6±7.1*	1.09374	169.4±7.1	0.08584	160.5±5.7	-0.80070	27.10	<0.001	0.60
ASTT [cm ²]	831.4±99.2	0.70795	790.8±66.5	0.29144	692.9±74.9	-0.71483	9.50	0.001	0.38
DC [m]	1.77±0.19	0.35507	1.77±0.13*	0.31508	1.63±0.13	-0.49929	6.01	0.007	0.17
Vel [m·s ⁻¹]	1.61±0.06*	1.25408	1.47±0.04	0.08492	1.35±0.06#	-0.90683	37.37	<0.001	0.78
dv [adimensional]	0.08±0.1	0.27526	0.08±0.01	-0.10587	0.08±0.01	-0.09528	0.98	0.388	0.00
D _a [N]	97.66±42.41	0.59627	81.09±0.30	0.14788	56.37±27.09	-0.52075	3.94	0.031	0.22
C _{Da} [adimensional]	0.43±0.12	-0.26919	0.56±0.30*	0.31243	0.47±0.19	-0.08089	4.57	0.019	0.06

η_p [%]	29.11±3.38	-0.37444	33.23±7.59*	0.429855	30.47±2.74	-0.10858	6.08	0.007	0.11
IN [$m^2 \cdot s^{-1}$]	2.87.0.37	0.90098	2.62±0.23	0.25653	2.21±0.22#	-0.81443	15.72	<0.001	0.52
PERF [s]	60.17±1.95	-1.15478	65.62±3.67	-0.09869	70.53±3.10	0.85209	35.68	<0.001	0.67

Est - estatura; Env - envergadura; ASTT - área de secção transversa do tronco; DC - distância de ciclo; Vel - velocidade de nado; dv - flutuação intracíclica da velocidade; D_a - arrasto activo; C_{Da} - coeficiente de arrasto activo; η_p - eficiência propulsiva; IN - índice de nado; PERF - performance; z - coeficiente standardizado; F - valor de F; P - valor de significância; η^2 - eta quadrado; * e # - identificam os principais determinantes de cada cluster, em cada um dos momentos de avaliação (* - índices elevados; # - índices baixos).

De uma forma geral, as variáveis cinemáticas (DC, Vel e dv) e de eficiência (η_p e IN), melhoraram entre o primeiro (M1) e último (M7) momento de avaliação. Por exemplo, no cluster 1 (Vel: 1.39 vs 1.61 $m \cdot s^{-1}$; IN: 2.35 vs 2.87 $m^2 \cdot s^{-1}$), cluster 2 (Vel: 1.11 vs 1.47 $m \cdot s^{-1}$; IN: 1.53 vs 2.62 $m^2 \cdot s^{-1}$), cluster 3 (Vel: 1.09 vs 1.35 $m \cdot s^{-1}$; IN: 1.48 vs 2.21 $m^2 \cdot s^{-1}$). As variáveis hidrodinâmicas (D_a e C_{Da}) evoluíram negativamente (aumento), mas este facto pode estar relacionado ao aumento da velocidade de nado (para o D_a), e com o aumento da ASTT (para o C_{Da}) (Tabela 1). A tabela 2 apresenta a síntese dos principais determinantes responsáveis pela formação dos clusters, em cada um dos momentos de avaliação.

Para uma análise qualitativa, a análise discriminante demonstrou uma muito boa compacidade/separação em todos os momentos de avaliação, com uma classificação correta dos grupos originais a variar entre 83.3% (M1) e 100.0% (M4) (M1: 83.3%; M2: 93.3%; M3: 90.0%; M4: 100.0%; M5: 93.3%; M6: 83.3%; M7: 90.0%).

Relativamente à estabilidade dos clusters (no que diz respeito à associação de cada nadador), no cluster 1, dos 12 nadadores incluídos apenas 5 se mantiveram em M7. Desses 5 nadadores, 3 nunca mudaram de cluster (Figura 2). No cluster 2, dos 4 nadadores inicialmente incluídos, nenhum se manteve em M7, o que significa que todos sofreram alterações de cluster. No cluster 3, dos 14 nadadores inicialmente incluídos, 9 mantiveram-se no mesmo cluster (entre M1 e M7) e apenas 1 se manteve sempre (em todos os momentos) no mesmo cluster (3).

Tabela 2. Síntese da caracterização dos clusters em cada um dos momentos de avaliação.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Cluster 1	Antropometria (+)	Antropometria (+)	Antropometria (+)	Cinemática (+)	Antropometria (+)	Antropometria (+)	Antropometria (+)
	Cinemática (+)		Eficiência (+)	Hidrodinâmica (+)	Cinemática (+)	Cinemática (+)	Cinemática (+)
				Eficiência (+)	Eficiência (+)	Eficiência (+)	
Cluster 2	Cinemática (-)	Cinemática (+)	Antropometria (+)	Antropometria (+)	Cinemática (+)	Antropometria (-)	Cinemática (+)
	Eficiência (-)	Eficiência (+)	Hidrodinâmica (+)	Cinemática (+)	Hidrodinâmica (+)	Eficiência (+)	Hidrodinâmica (+)
				Eficiência (+)	Eficiência (+)		Eficiência (+)
Cluster 3	Antropometria (-)	Cinemática (-)	Antropometria (-)	Antropometria (-)	Cinemática (-)	Cinemática (-)	Antropometria (-)
		Eficiência (-)	Hidrodinâmica (-)	Cinemática (-)	Eficiência (-)	Hidrodinâmica (+)	Cinemática (-)
				Eficiência (-)			Eficiência (-)

(+) - valores elevados; (-) valores reduzidos

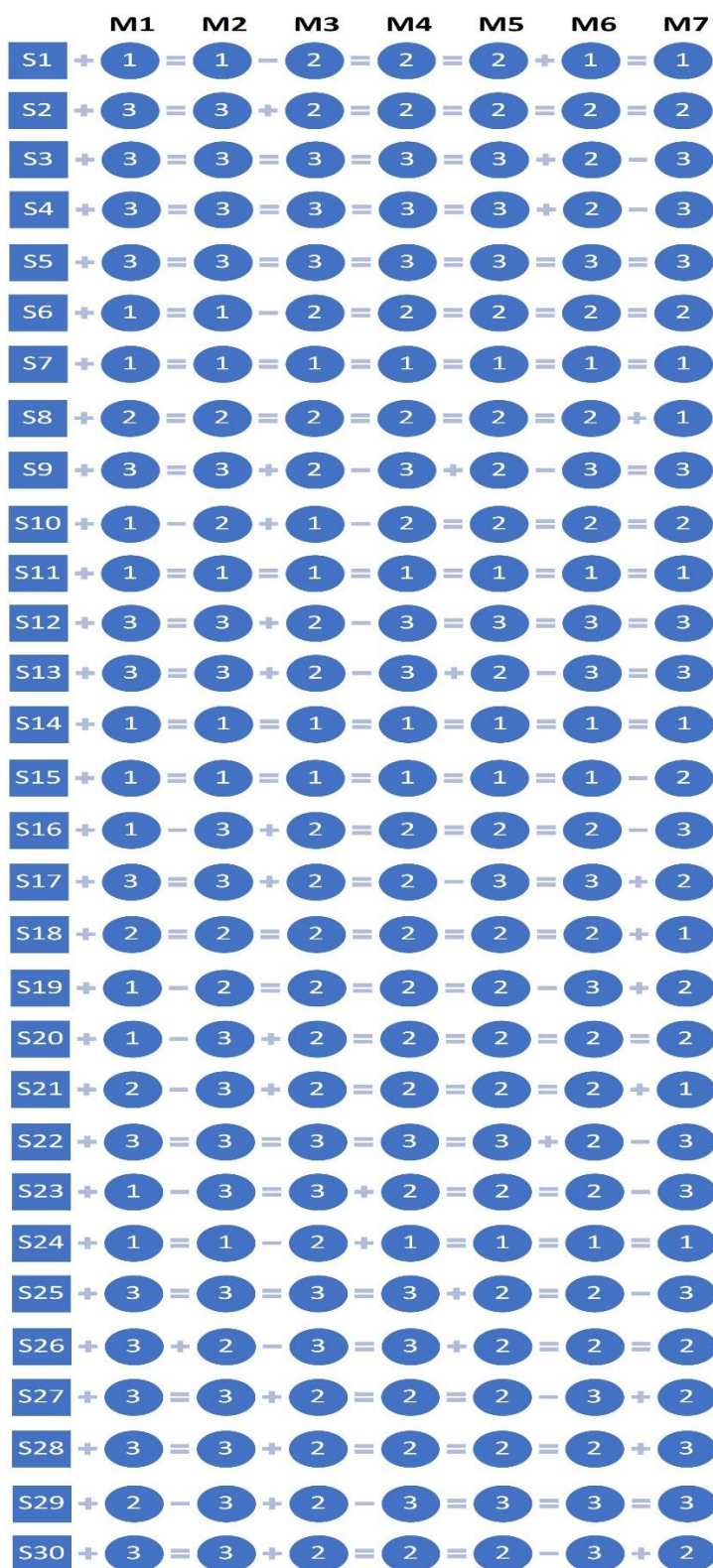


Figura 2. Variação entre clusters de cada um dos nadadores, ao longo dos sete momentos de avaliação. M - momento de avaliação; S - sujeito (dentro de quadrado); Elipse - cluster em que cada nadador esteve incluído, em cada momento de avaliação; sinal “+” - indica alteração para um cluster onde os nadadores são mais rápidos; sinal “-” - indica alteração para um cluster onde os nadadores são mais lentos; sinal “=” - indica manutenção no mesmo cluster.

Discussão

Este estudo teve como principal objetivo classificar nadadores jovens em grupos, de acordo com os principais determinantes do rendimento desportivo (durante duas épocas desportivas) e analisar as variações de cada nadador, entre cada momento de avaliação. Verificou-se que os fatores analisados melhoraram entre o primeiro e o último momento de avaliação, e que em cada momento de avaliação os fatores determinantes responsáveis pela caracterização do cluster foram diferentes. Constatou-se que a maior parte dos nadadores realiza pelo uma alteração de cluster ao longo do tempo analisado.

A performance melhorou ao longo das duas épocas desportivas, e os principais fatores determinantes apresentaram um aumento global. No entanto, ao se incluírem avaliações intermediárias, como neste estudo, alguns dos fatores determinantes (hidrodinâmicos, cinemáticos e eficiência) podem apresentar aumentos ou diminuições ligeiras e circunstanciais entre momentos de avaliação (Tabela 1). Mais especificamente, estes aumentos e/ou diminuições não ocorrem simultaneamente e no mesmo sentido (aumento ou diminuição) em todos os fatores determinantes (p.e., entre M1 e M2 a Vel e DC diminuíram, e o D_a aumentou; e entre M5 e M6 a Vel aumentou e a DC e D_a diminuíram). A maior parte dos estudos com nadadores jovens procuram determinar/predizer quais os fatores determinantes da performance, mas com apenas um único momento de avaliação^{6,14}. Esses estudos transversais não permitem perceber as variações que ocorrem nos fatores determinantes da performance, inclusive na mesma época desportiva. Esta variação parece estar relacionada com o planeamento do processo de treino (Figura 1)^{1,10}.

A melhor solução para classificar os nadadores avaliados durante duas épocas desportivas revelou consistir em 3 clusters, optando-se por utilizar a nomenclatura já existente¹⁰. Esta formação de clusters acontece devido à semelhança/diferença entre nadadores. Ao longo dos 7 momentos de avaliação, diferentes fatores foram responsáveis pela formação dos clusters (Tabela 2), enfatizando assim a multidimensionalidade da performance em natação^{2,10}. Para nadadores de uma faixa etária semelhante, e incluídos no mesmo escalão de competição, verificou-se que os principais fatores que contribuíram para o agrupamento de nadadores (principal fator de diferenciação) foram diferentes nos vários momentos de avaliação (p.e., em M1 foi a Est, e em M7 foi a Vel) (Tabela 1). Esta informação é de extrema relevância para

treinadores e nadadores, dado que é possível afirmar que dentro da mesma faixa etária e/ou escalão de competição é possível agrupar nadadores de acordo com as suas características antropométricas e/ou técnicas. Isto sugere que os treinadores não devem aplicar o mesmo treino a todos os nadadores da mesma faixa etária e/ou escalão de competição, e devem programar o treino de acordo com a evolução das características antropométricas e biomecânicas de cada um dos subgrupos de nadadores de uma determinada faixa etária e/ou escalão de competição.

Foi sugerido que a evolução de um grupo de nadadores, de uma forma geral, decorre de um processo de seleção natural. Por exemplo, durante uma época desportiva, o cluster dos nadadores “talentosos” diminui a sua percentagem de nadadores incluídos, e os “não-proficientes” aumenta o número de nadadores¹⁰. No entanto, existe apenas uma apreciação global da estabilidade dos nadadores em cada cluster. Efetivamente, ainda não existe uma abordagem mais profunda sobre o número de nadadores que “entra” e/ou “sai” de cada um dos clusters, para perceber a sua constituição. Por exemplo, um cluster pode manter o seu número de nadadores de um momento de avaliação para outro, se entrar o mesmo número de nadadores que saíram. Desta forma, a estabilidade mantém-se, embora não se consiga perceber a variação individual de cada nadador. Esta questão da individualidade parece ser de extrema importância, dado que alguns estudos indicam que cada atleta deve ser visto como “único” e que existem vários caminhos para melhorar a performance^{5,11}.

Através dos resultados é possível perceber que a perspectiva de seleção natural existe, dado que o número de nadadores “talentosos” diminuiu de 12 (M1) para 8 (M7). No entanto, também é possível observar que existiram nadadores (S8, S18 e S21) que entre M1 e M7 passaram do cluster 2 (“proficientes”) para o cluster 1 (“talentosos”). Esta situação significa que, apesar do número global de nadadores incluídos no cluster 1 diminuir ao longo do tempo, também existem nadadores que conseguem “subir” para esse mesmo cluster (Figura 2). O mesmo raciocínio pode ser feito para os restantes clusters. Ao realizar uma inspeção visual mais aprofundada, é possível constatar que 4 nadadores (S19, S20, S21 e S23) estiveram incluídos (em momentos diferentes) nos 3 clusters. Este facto, realça a variabilidade dos nadadores jovens ao longo do tempo, neste caso particular ao longo de duas épocas desportivas, pela qual os fatores biomecânicos parecem desempenhar um papel de extrema relevância.

Conclusão

Tendo em consideração a análise efetuada durante duas épocas desportivas, foi possível agrupar um conjunto de nadadores da mesma faixa etária e/ou escalão de competição em 3 clusters (subgrupos) diferentes. Nos 7 diferentes momentos de avaliação os fatores determinantes pela formação dos clusters foram diferentes, enaltecendo a multidimensionalidade da performance em natação. Constatou-se ainda que cada nadador deve ser visto como um sujeito único, dado que durante duas épocas desportivas pode “passar” por diferentes clusters (subgrupos). Assim, os treinadores deverão estar conscientes que durante a mesma época desportiva cada nadador poderá passar por uma variação dos fatores influenciadores do seu rendimento, exigindo um controlo adequado às suas necessidades.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio da Universidade da Beira Interior e Santander Universidades (Bolsa BIPD/ICIFCSH-Santander Universidades-UBI/2017).

Referências Bibliográficas

1. Barbosa TM, Morais JE, Marques MC, Silva AJ, Marinho DA, Kee YH. Hydrodynamic profile of young swimmers: changes over a competitive season. *Scan J Med Sci Sports* 2015;25:184-196.
2. Barbosa TM, Morais JE, Costa MJ, Gonçalves J, Marinho DA, Silva AJ. Young swimmers' classification based in kinematics, hydrodynamics and anthropometrics. *J Appl Biomech* 2014;30:310-315.
3. Costill DL, Kovaleski J, Porter D, Kirwan R, Fielding R, King D. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med* 1985;6:266–270.
4. Craig A, Pendergast D. Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports* 1979;11:278-283.

5. Durand-Bush N, Salmela J. The development and maintenance of expert athletic performance: perceptions of world and Olympic champions. *J Appl Sport Psychol* 2002;14:154-171.
6. Garrido ND, Silva AJ, Fernandes RJ, Barbosa TM, Costa AM, Marinho DA, Marques MC. High level swimming performance and its relation to non-specific parameters: A cross-sectional study on maximum handgrip isometric strength. *Percept Mot Skills* 2012;114(3), 936-948.
7. Kolmogorov S, Duplishcheva O. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force in different swimming strokes at maximal velocity. *J Biomechanics* 1992;25:311-318.
8. Lätt E, Jürimäe J, Haljaste K, Cicchella A, Purge P, Jürimäe T. Longitudinal development of physical and performance parameters during biological maturation of young male swimmers. *Percept Mot Skills* 2009;108:297–307.
9. Marinho D, Barbosa T, Costa M, Figueiredo C, Reis V, Silva A, Marques M. Can 8 weeks of training affect active drag in young swimmers? *J Sports Sci Med* 2010a;9:71-78.
10. Morais JE, Silva AJ, Marinho DA, Seifert L, Barbosa TM. Cluster stability as a new method to assess changes in performance and its determinant factors over a season in young swimmers. *Int J Sports Physiol Perform* 2015;10(2):261-168.
11. Morais JE, Marques MC, Marinho Da, Silva AJ, Barbosa TM. Longitudinal modeling in sports: young swimmers' performance and biomechanics profile. *Hum Mov Sci* 2014;37:111-122.
12. Morais JE, Costa MJ, Mejias EJ, Marinho DA, Silva AJ, Barbosa TM. Morphometric study for estimation and validation of trunk transverse surface area to assess human drag force on water. *J Hum Kinetics* 2011;28:5-13.
13. Rein R, Button C, Davids K, Summers J. Cluster analysis of movement patterns in multiarticular actions: a tutorial. *Mot Control* 2010;14:211–239.
14. Saavedra JM, Escalante Y, Ferran AR. A multivariate analysis of performance in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci* 2010;22:135-151.
15. Zacca R, Azevedo R, Chainok P, Vilas-Boas JP, Castro FAd, Pyne Db, Fernandes RJ. Monitoring age-group swimmers over a training macrocycle: energetics, technique, and anthropometrics. *J Strength Cond Res* 2018;[Epub ahead of print].
16. Zamparo P. Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *Eur J Appl Physiol* 2006;97(1):52-58.