

Perfil inflamatório e lesão tecidual em corredores (5, 10, 15 km) e ultramaratona: IL-6, mioglobina

Inflammatory profile and tissue injury in runners (5, 10, 15 km) and ultramarathon: IL-6, myoglobin

Helvio de Oliveira Affonso^{1,2} , Mylena Barros de Souza¹ 

1. Appto Assessoria Esportiva, Vitória, ES, Brasil

2. Universidade de Vila Velha (UVV), Vila Velha, ES, Brasil

RESUMO

Introdução: Compreender respostas inflamatórias e alterações nos biomarcadores de dano muscular provocadas pelo exercício de endurance é crucial para otimizar protocolos de treino e recuperação. **Método:** Este estudo analisou os níveis de interleucina-6 (IL-6) e mioglobina (MYO) em 75 corredores recreacionais em Vitória-ES, distâncias de 5, 10, 15 km e ultramaratona 12 h (79,93 ± 28,65 km). Os corredores apresentaram paces médios de 5,19 ± 1,22 min/km (5 km), 5,16 ± 0,57 min/km (10 km), 4,36 ± 0,12 min/km (15 km) e 10,91 ± 5,83 min/km (ultramaratona). As amostras de sangue capilar foram coletadas em micro tubos EDTA, com punção digital e lancetas automáticas, analisadas por tecnologia POCT (point of care testing). **Resultados:** 5 km IL-6: PRÉ 4,33 ± 2,28 pg/ml e PÓS: 3,16 ± 2,64 pg/ml, (-27,30%). Mioglobina: PRÉ: 22,39 ± 8,50 ng/ml e PÓS 63,11 ± 28,70 ng/ml, (+ 240,41%). 10 km IL-6: PRÉ: 4,78 ± 2,11 pg/ml PÓS: 4,17 ± 2,53 pg/ml, (-13,99%). Mioglobina: PRÉ: 30,43 ± 12,30 ng/ml e PÓS: 129,70 ± 45,60 ng/ml (+343,31%). 15 km IL-6: PRÉ: 5,99 ± 1,98 pg/ml. PÓS: 5,70 ± 2,45 pg/ml (-3,10%). Mioglobina: PRÉ: 28,91 ± 10,70 ng/ml. PÓS: 263,88 ± 85,50 ng/ml (+1062,61%). Ultramaratona IL-6: Pré: 7,66 ± 3,77 pg/ml Meio: 48,55 ± 81,57 pg/ml (+ 533,68%), Pós: 26,54 ± 20,82 pg/ml, (- 91,84%) em relação ao pré-exercício. Oito dias após: 4,07 ± 1,47 pg/ml (- 46,86%) em relação ao pré-exercício. Mioglobina: Pré: 22,42 ± 19,73 ng/ml, Meio da prova: 314,19 ± 160,76 ng/ml (+1300,85%), Pós: 423,07 ± 149,65 ng/ml, (+ 1787,20%) em relação ao pré-exercício. Oito dias após: 40,50 ± 18,81 ng/ml (+ 80,70%) em relação ao pré-exercício. **Conclusão:** A variabilidade nas respostas reforça a necessidade de monitoramento e abordagens individualizadas, considerando as adaptações biopositivas e bionegativas resultantes da individualidade biológica e lastro fisiológico.

Palavras-chave: interleucina-6; mioglobina; corrida; inflamação; biomarcadores; fadiga muscular.

ABSTRACT

Introduction: Understanding the inflammatory responses and changes in muscle damage biomarkers induced by endurance exercise is crucial for optimizing training and recovery protocols. **Method:** This study analyzed interleukin-6 (IL-6) and myoglobin (MYO) levels in 75 recreational runners in Vitória-ES, across distances of 5, 10, 15 km, and a 12-hour ultramarathon (79.93 ± 28.65 km). The runners had average paces of 5.19 ± 1.22 min/km (5 km), 5.16 ± 0.57 min/km (10 km), 4.36 ± 0.12 min/km (15 km), and 10.91 ± 5.83 min/km (ultramarathon). Capillary blood samples were collected using micro EDTA tubes, with digital puncture and automatic lancets, and analyzed by point of care testing (POCT) technology. **Results:** 5 km, IL-6 decreased by 27.30% and MYO increased by 240.41%. 10 km, IL-6 decreased by 13.99% and MYO increased by 343.31%. 15 km, IL-6 decreased by 3.10% and MYO increased by 1062.61%. Ultramarathon IL-6: Pre: 7.66 ± 3.77 pg/ml, Mid-race: 48.55 ± 81.57 pg/ml (+ 533.68%), Post-race: 26.54 ± 20.82 pg/ml (-91.84% relative to pre-exercise). Eight days later: 4.07 ± 1.47 pg/ml (-46.86% relative to pre-exercise). Myoglobin: Pre: 22.42 ± 19.73 ng/ml, Mid-race: 314.19 ± 160.76 ng/ml (+ 1300.85%), Post-race: 423.07 ± 149.65 ng/ml (+1787.20% relative to pre-exercise). Eight days later: 40.50 ± 18.81 ng/ml (+ 80.70% relative to pre-exercise). **Conclusion:** The variability in responses reinforces the need for monitoring and individualized approaches, considering biopositive and bionegative adaptations resulting from biological individuality and physiological capacity.

Keywords: interleukin-6; myoglobin; running; inflammation; biomarkers; muscle fatigue.

Introdução

A corrida de longa distância emergiu como uma prática amplamente adotada no Brasil, especialmente em centros urbanos vibrantes como a região metropolitana de Vitória-ES [1-3]. Este fenômeno não só reflete uma tendência de busca por saúde e bem-estar, mas também oferece uma plataforma rica para investigar as complexidades das respostas fisiológicas ao exercício [3]. Em 2021, a cidade de Vitória foi reconhecida como uma das “Cidades Brasileiras Amigas da Atividade Física” pela PUC-PR, um reconhecimento que sublinha o compromisso local com práticas saudáveis e o desenvolvimento urbano sustentável [4].

O exercício de endurance, enquanto amplamente reconhecido por seus benefícios para a saúde cardiovascular e o bem-estar geral [5,6], também induz uma resposta inflamatória aguda [7-10]. Esta resposta pode resultar no dano muscular induzido pelo exercício (EIMD), caracterizado por um aumento na demanda metabólica e na produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) [11, 12]. Estas ROS têm o potencial de comprometer a integridade das membranas celulares musculares, resultando na liberação de biomarcadores teciduais na corrente sanguínea [11].

Dentro deste contexto, dois biomarcadores se destacam: a interleucina-6 (IL-6) e a mioglobina. A IL-6, que é liberada tanto pelos músculos quanto pelo sistema imunológico durante atividades físicas intensas [14], serve como uma mediadora central da resposta inflamatória [13,15,10,16-19]. Sua liberação é um indicador claro de estresse físico e inflamatório, essencial para adaptar e modular a resposta imunológica do corpo ao exercício [13,14,16-19]. A mioglobina, uma proteína muscular essencial, é liberada na corrente sanguínea quando ocorre dano celular [20-22], servindo como um marcador direto de lesão muscular e refletindo a extensão do dano tecidual induzido pelo esforço físico [20-22].

O monitoramento desses biomarcadores é crucial devido à variabilidade interindividual [23], influenciada por fatores como idade, nível de treinamento, genética e nutrição [13]. Essa variabilidade é especialmente importante para corredores recreacionais, pois afeta significativamente a recuperação e o risco de lesões [2]. Compreender os padrões de resposta inflamatória e de dano muscular em populações específicas permite a otimização de estratégias de recuperação e a prescrição de exercícios, melhorando a qualidade de vida dos praticantes e prevenindo complicações de saúde a longo prazo [23].

Este estudo visa caracterizar os níveis de IL-6 e mioglobina em corredores recreacionais de diversas distâncias na região metropolitana de Vitória-ES. Além disso, busca correlacionar essas respostas com variáveis antropométricas e de desempenho, destacando a importância do monitoramento desses biomarcadores na gestão do exercício. Ao entender essas respostas, podemos desenvolver abordagens mais personalizadas para a recuperação e a prevenção de lesões, promovendo uma prática esportiva mais segura e eficaz. Isso não apenas contribui para a saúde dos indivíduos, mas também para o avanço do conhecimento científico na área do esporte e do exercício físico.

Métodos

Delineamento do estudo

Este estudo foi realizado durante eventos de corrida de 5 km, 10 km, 15 km e ultramaratona (12h de duração, com distância média percorrida de aproximadamente 80 km) na região metropolitana de Vitória-ES. O estudo possui um delineamento longitudinal e observacional, sem intervenção, focando em acompanhar alterações ao longo do tempo. Não houve randomização de protocolos ou participantes, caracterizando-o como um estudo de coorte. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Vila Velha (CAAE 78770017.0.0000.5064), e todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) antes da coleta de dados.

Crítérios de elegibilidade da amostra

A amostra incluiu 75 corredores recreacionais, distribuídos entre as distâncias de 5 km, 10 km, 15 km e ultramaratona (12h de duração distância média percorrida de aproximadamente 80km). Os critérios de inclusão foram: (1) idade superior a 18 anos; (2) participação em ao menos um evento de corrida no último ano; (3) ausência de lesões musculoesqueléticas agudas. Critérios de exclusão incluíram: (1) presença de infecções ou doenças inflamatórias crônicas; (2) uso de anti-inflamatórios nos sete dias anteriores à coleta; (3) gestação; (4) impossibilidade de participar da coleta de sangue pré-exercício.

Crítérios de elegibilidade para ultramaratonistas

Idade: superior a 18 anos; não participação em mais de uma ultramaratona nesse ano; Ausência de lesões musculoesqueléticas agudas; participação em pelo menos um evento de corrida no último ano. Exclusões: presença de infecções ou doenças inflamatórias crônicas; uso de anti-inflamatórios nos sete dias anteriores à coleta; gestação; impossibilidade de participar da coleta de sangue pré-exercício.

Coleta de dados

A tabela abaixo apresenta o desempenho avaliado pelo ritmo de corrida (pace), em minutos por quilômetro, usando dados de (Global Positioning System) GPS de wearables individuais dos atletas, confirmados e ou ajustados pelo resultado oficial de prova.

Tabela I - Desempenho avaliado pelo ritmo de corrida (pace)

Distância (km)	Número de corredores	Pace médio (min/km)
5 km	27	5,19 ± 1,22
10 km	18	5,16 ± 0,57
15 km	6	4,36 ± 0,12
Ultramaratona (79,93 ± 28,65)	24	10,91 ± 5,83

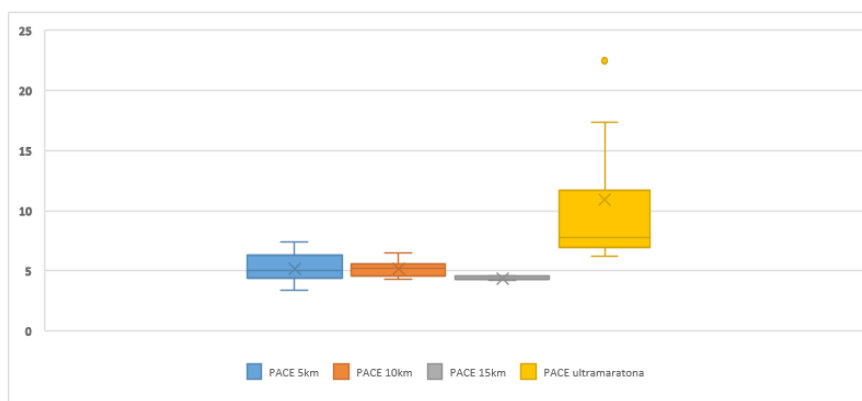


Figura 1 - Resumo dos grupos de corredores

Coleta e análise de amostras sanguíneas

Amostras de sangue capilar foram coletadas em microtubos de EDTA, por punção no lobo dos dedos, utilizando lancetas automáticas G-Tech mais conforto 28G, em dois momentos: (1º) pré-exercício, em repouso, pelo menos 30 minutos antes da corrida; (2º) imediatamente após a corrida, para os grupos 5, 10 e 15km. E em quatro momentos para o grupo ultramaratona, (1º) pré-exercício, em repouso, pelo menos 30 minutos antes da corrida; (2º) no meio da corrida (aprox. 6h de prova); (3º) imediatamente pós corrida (12h pós) e (4º) oito dias pós prova. As amostras foram analisadas utilizando o equipamento AFIAS-6, um sistema automatizado de testes de imuno ensaio por fluorescência point-of-care, que permite rapidez e precisão na identificação de biomarcadores.

Determinação de biomarcadores inflamatórios

Os níveis de interleucina-6 (IL-6) para entendimento do status de resposta inflamatória e mioglobina para entendimento do status de lesão tecidual (muscular) foram medidos no equipamento AFIAS-6, que combina a acessibilidade dos sistemas point-of-care com a robustez dos sistemas automatizados. Este método oferece resultados rápidos e confiáveis para avaliação de biomarcadores.

Análise estatística

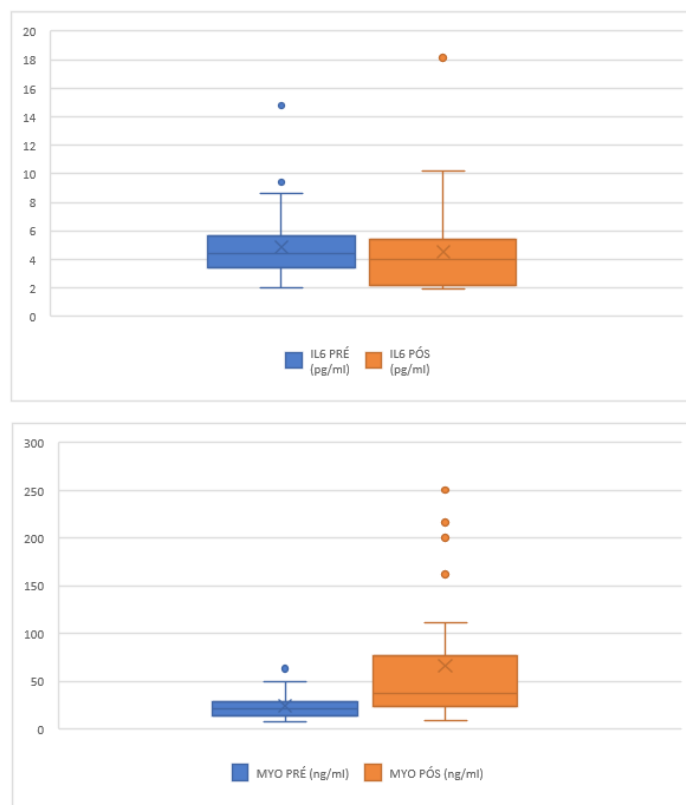
Realizou-se análise descritiva com cálculos de média, desvio padrão, mínimo e máximo para os biomarcadores nos momentos pré e pós-exercício. O percentual de variação foi calculado pela fórmula: $[(\text{Valor pós} - \text{Valor pré}) / \text{Valor pré}] \times 100$. As correlações entre peso corporal e variação de biomarcadores foram testadas pelo coeficiente de correlação de Pearson. Todas as análises foram realizadas em software estatístico com nível de significância $p < 0,05$.

Resultados

A tabela abaixo apresenta os valores médios, mínimos e máximos dos biomarcadores IL-6 e Mioglobina, referentes ao grupo de corredores de 5km, antes e após o exercício, juntamente com a porcentagem de variação observada.

Tabela II - Alterações nos Biomarcadores Pré e Pós-Exercício 5km

Biomarcador	Pré-exercício	Pós-exercício	% de variação
IL-6 (pg/ml)	Média: 4,33 ± 2,28	Média: 3,16 ± 2,64	-27,30%
	Mínimo: 1,05	Mínimo: 0,50	
	Máximo: 8,67	Máximo: 7,90	
Mioglobina (ng/ml)	Média: 22,39 ± 8,50	Média: 63,11 ± 28,70	240,41%
	Mínimo: 10,25	Mínimo: 22,00	
	Máximo: 45,30	Máximo: 110,00	

**Figura 2** – Resultados 5 km

A tabela abaixo apresenta os valores médios, mínimos e máximos dos biomarcadores IL-6 e Mioglobina, referentes ao grupo de corredores de 10km, antes e após o exercício, juntamente com a porcentagem de variação observada.

Tabela III - Alterações nos Biomarcadores Pré e Pós-Exercício 10km

Biomarcador	Pré-exercício	Pós-exercício	% de Variação
IL-6 (pg/ml)	Média: 4,78 ± 2,11	Média: 4,17 ± 2,53	-13,99%
	Mínimo: 1,50	Mínimo: 0,95	
	Máximo: 9,20	Máximo: 8,70	
Mioglobina (ng/ml)	Média: 30,43 ± 12,30	Média: 129,70 ± 45,60	343,31%
	Mínimo: 15,50	Mínimo: 50,00	
	Máximo: 60,00	Máximo: 200,00	

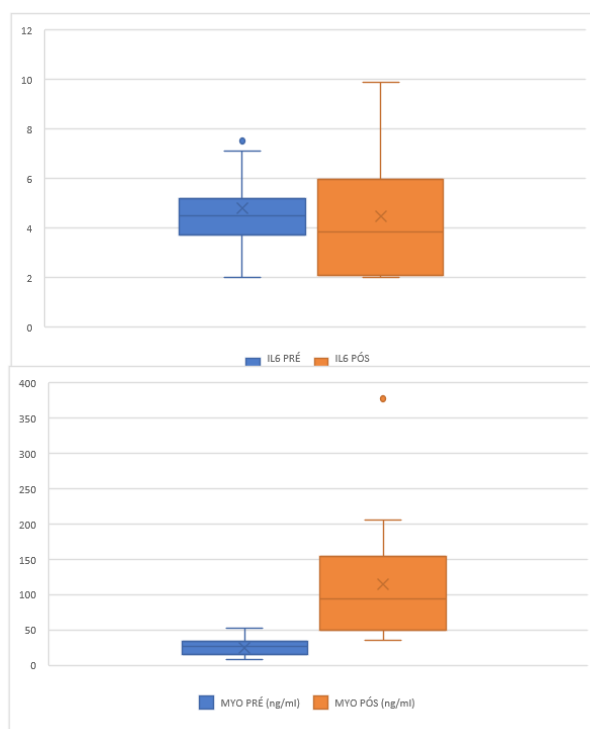


Figura 3 – Resultados 10 km

A tabela abaixo apresenta os valores médios, mínimos e máximos dos biomarcadores IL-6 e Mioglobina, referentes ao grupo de corredores de 15km, antes e após o exercício, juntamente com a porcentagem de variação observada.

Tabela IV - Alterações nos Biomarcadores Pré e Pós-Exercício 15km

Biomarcador	Pré-exercício	Pós-exercício	% de Variação
IL-6 (pg/ml)	Média: 5,99 ± 1,98	Média: 5,70 ± 2,45	-3,10%
	Mínimo: 3,50	Mínimo: 2,50	
	Máximo: 8,50	Máximo: 9,00	
Mioglobina (ng/ml)	Média: 28,91 ± 10,70	Média: 263,88 ± 85,50	1062,61%
	Mínimo: 18,00	Mínimo: 150,00	
	Máximo: 55,00	Máximo: 400,00	

A tabela V apresenta os valores médios, mínimos e máximos dos biomarcadores IL-6 e Mioglobina, referentes ao grupo de corredores de ultra maratona, antes e após o exercício, juntamente com a porcentagem de variação observada.

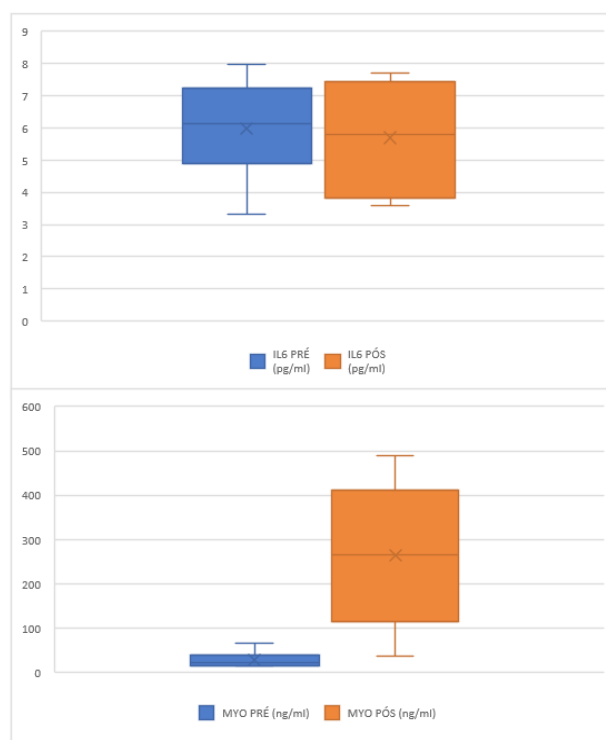


Figura 4 – Resultados 15 km

Tabela V - Alterações nos Biomarcadores Pré e Pós-Exercício - Ultra maratona

	Mínimo	Média	Máximo	
km	32	79,93 ± 28,65	116	
Pace (min/km)	22,5	10,91± 5,83	6,2	
Biomarcador	Pré-exercício	Durante ½	Pós-exercício	8 dias pós
IL-6 (pg/ml)	Média: 7,66 ± 3,77	Média: 48,55 ± 81,57	Média: 26,54 ± 20,82	Média: 4,07 ± 1,47
	Mínimo: 3,43	Mínimo: 6,84	Mínimo: 2,39	Mínimo: 3,04
	Máximo: 20,39	Máximo: 389,26	Máximo: 94,67	Máximo: 6,99
% variação	Pré-exercício	Durante ½	Pós-exercício	8 dias pós
	892,91 ± 1234,72	91,84 ± 41,58		555,37 ± 537,69
	Mínimo: 122,37	Mínimo: 10,01	Mínimo: 104,15	Mínimo: 122,37
	Máximo: 5529,26	Máximo: 234,67	Máximo: 1883,88	Máximo: 5529,26
Mioglobina (ng/ml)	Média: 22,42 ± 19,73	Média: 314,19 ± 160,76	Média: 423,07 ± 149,65	Média: 40,50 ± 18,81
	Mínimo: 5,47	Mínimo: 97,87	Mínimo: 64,65	Mínimo: 23,65
	Máximo: 83,02	Máximo: 500	Máximo: 500	Máximo: 78,90
% Variação	Pré-exercício	Durante ½		
		2219,44 ± 1828,47		
		Durante ½	Pós-exercício	
			85,75 ± 36,28	
			Pós-exercício	8 dias pós
			1322,92 ± 710,82	
	Mínimo: 312,79	Mínimo: 25,47		Mínimo: 50,12
	Máximo: 7062,15	Máximo: 326,73		Máximo: 2114,16

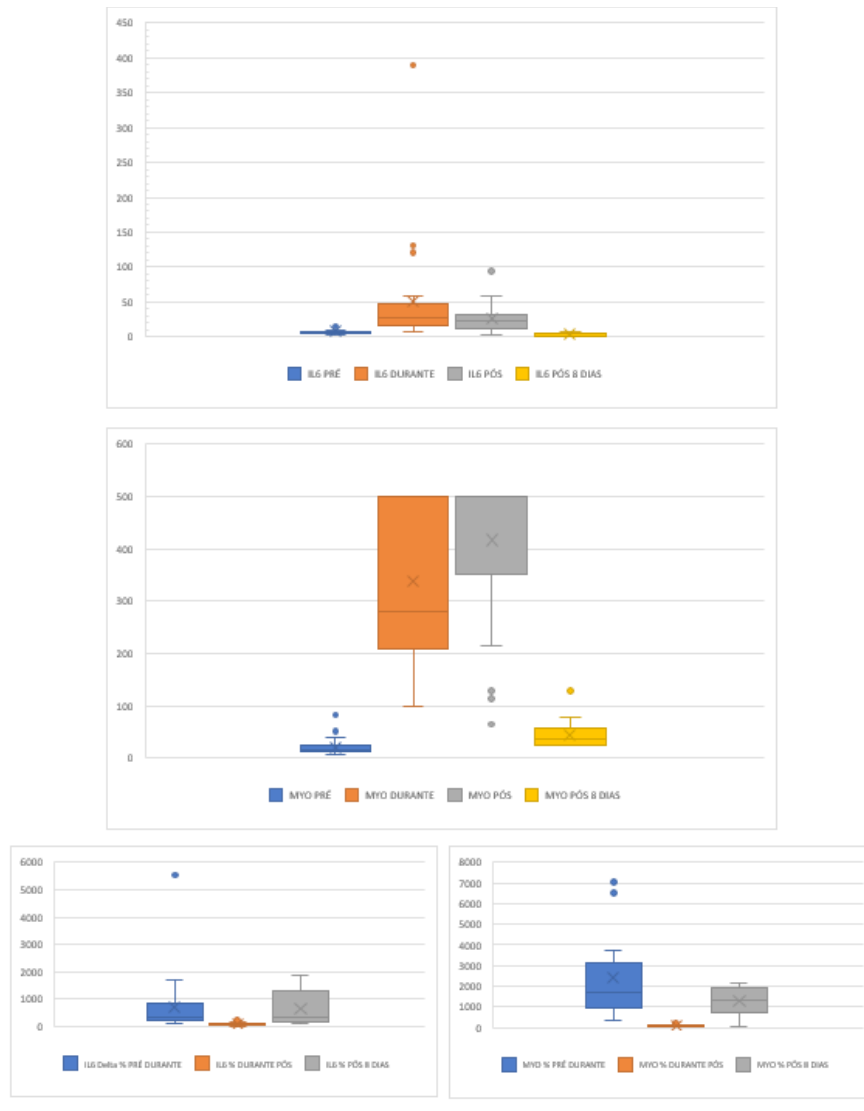


Figura 5 – Resultados ultramaratona

Correlações entre pace e variação de biomarcadores

A tabela abaixo apresenta os dados de correlação entre pace e os biomarcadores (IL6 e Mioglobina) referente a cada grupo de corredores.

Tabela VI - Correlações entre pace e variação de biomarcadores

Distância	Pace vs. IL-6	Pace vs. mioglobina
5 km	$r = 0,10$ ($p > 0,05$)	$r = 0,46$ ($p > 0,05$)
10 km	$r = 0,32$ ($p > 0,05$)	$r = 0,04$ ($p > 0,05$)
15 km	$r = 0,49$ ($p > 0,05$)	$r = 0,02$ ($p > 0,05$)
Ultramaratona	$r = 0,27$ ($p > 0,05$)	$r = 0,50$ ($p > 0,05$)

Discussão

A prática de corrida de longa distância, especialmente em eventos de ultramaratona, oferece uma oportunidade única para explorar as complexidades das respos-

tas fisiológicas ao exercício, particularmente no contexto urbano de Vitória-ES [2], uma cidade reconhecida por seu compromisso com práticas saudáveis [4]. A ultramaratona, que envolve corridas de 12 horas, apresenta desafios significativos ao corpo humano, destacando a necessidade de compreender as respostas inflamatórias e de dano muscular associadas a esse tipo de exercício extremo.

O exercício de endurance, como a ultramaratona, é amplamente reconhecido por seus benefícios para a saúde cardiovascular e o bem-estar geral [5,6]. No entanto, ele também provoca uma resposta inflamatória aguda [7,8,10], que pode resultar em dano muscular induzido pelo exercício (EIMD) [11]. Esse fenômeno é caracterizado por um aumento na demanda metabólica e na produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) [11,12], que podem comprometer a integridade das membranas celulares musculares e liberar biomarcadores teciduais na corrente sanguínea.

Dois biomarcadores críticos nesse contexto são a interleucina-6 (IL-6) e a mioglobina. Durante a ultramaratona, os níveis de IL-6 experimentam um aumento significativo, refletindo a intensa resposta inflamatória e o estresse físico associados a essas corridas prolongadas [10,14]. A IL-6, liberada tanto pelos músculos quanto pelo sistema imunológico [15-17], atua como uma mediadora central da resposta inflamatória [18,19], modulando a resposta imunológica ao exercício intenso. Por outro lado, a mioglobina, uma proteína muscular [20,21], é liberada no sangue quando ocorre dano celular, servindo como um marcador direto de lesão muscular [22]. Durante a ultramaratona, os níveis de mioglobina aumentam substancialmente, indicando a extensão do dano tecidual.

O monitoramento da cinética desses biomarcadores é crucial devido à variabilidade interindividual [9], influenciada por fatores como idade, nível de treinamento, genética e nutrição [13]. Essa variabilidade é especialmente relevante para corredores recreacionais que participam de ultramaratonas [2], pois afeta significativamente a recuperação e o risco de lesões. Compreender os padrões de resposta inflamatória e de dano muscular em eventos de ultramaratona permite otimizar estratégias de recuperação e prescrição de exercícios, melhorando a qualidade de vida dos participantes e prevenindo complicações de saúde a longo prazo [23].

Este estudo visa aprofundar a compreensão das respostas de IL-6 e mioglobina em corredores de ultramaratona na região metropolitana de Vitória/ES. Além disso, busca correlacionar essas respostas com variáveis antropométricas e de desempenho [3], sublinhando a importância do monitoramento desses biomarcadores na gestão do exercício. Compreender essas respostas permite o desenvolvimento de abordagens mais personalizadas para a recuperação e a prevenção de lesões, promovendo uma prática esportiva mais segura e eficaz. Isso não apenas contribui para a saúde dos indivíduos, mas também avança o conhecimento científico na área de esportes e exercícios físicos, fornecendo insights valiosos para treinadores, atletas e profissionais de saúde.

Análise por distância de corrida

5 km

IL-6 níveis pré vs. pós: Houve uma diminuição de $4,33 \pm 2,28$ pg/ml para $3,16 \pm 2,64$ pg/ml (- 27,30%). Essa redução sugere que em corridas mais curtas a resposta inflamatória pode ser mínima ou que a recuperação comece rapidamente após a corrida.

Mioglobina níveis pré vs. pós: Houve um aumento de $22,39 \pm 8,50$ ng/ml para $63,11 \pm 28,70$ ng/ml (+240,41%), indicando algum grau de dano muscular, mas em menor escala comparado a distâncias mais longas.

10 km

IL-6: Níveis pré vs. pós: Os níveis diminuíram de $4,78 \pm 2,11$ pg/ml para $4,17 \pm 2,53$ pg/ml (- 13,99%). A leve diminuição sugere uma resposta inflamatória moderada, que é rapidamente regulada.

Mioglobina níveis pré vs. pós: Aumentou de $30,43 \pm 12,30$ ng/ml para $129,70 \pm 45,60$ ng/ml (+ 343,31%), mostrando um aumento mais pronunciado no dano muscular em comparação com os 5 km.

15 km

IL-6 níveis pré vs. pós: Houve uma ligeira redução de $5,99 \pm 1,98$ pg/ml para $5,70 \pm 2,45$ pg/ml (-3,10%). Isso indica que a resposta inflamatória é mais sustentada, mas ainda controlada.

Mioglobina níveis pré vs. pós: Subiu de $28,91 \pm 10,70$ ng/ml para $263,88 \pm 85,50$ ng/ml (+1062,61%), indicando um aumento substancial no dano muscular, que se torna mais pronunciado com o aumento da distância.

Ultramaratona

IL-6 Níveis: níveis pré vs. meio: Aumento de $7,66 \pm 3,77$ pg/ml para $48,55 \pm 81,57$ pg/ml (+ 533,68%), refletindo uma resposta inflamatória intensa.

Pré vs. Pós: Redução para $26,54 \pm 20,82$ pg/ml (-91,84% em relação ao pré) e mais uma diminuição para $4,07 \pm 1,47$ pg/ml oito dias após (-46,86% em relação ao pré), indicando um processo de recuperação prolongado.

Mioglobina níveis pré vs. meio: Aumento de $22,42 \pm 19,73$ ng/ml para $314,19 \pm 160,76$ ng/ml (+1300,85%), mostrando um aumento acentuado de dano muscular.

Pré vs. Pós: Aumento para $423,07 \pm 149,65$ ng/ml (+1787,20%), com níveis ainda elevados oito dias depois ($40,50 \pm 18,81$ ng/ml, + 80,70% em relação ao pré), sugerindo que a recuperação muscular é mais demorada.

Discussão geral

Os dados deste estudo destacam uma correlação clara entre a distância percorrida e a intensidade das respostas fisiológicas, especificamente em termos de in-

flamação e dano muscular. À medida que a distância da corrida aumenta, há uma escalada tanto na resposta inflamatória quanto nos indicadores de dano muscular, como evidenciado pelos níveis crescentes de interleucina-6 (IL-6) e mioglobina.

Respostas em corridas de curta distância

Em corridas mais curtas, como de 5 km, observa-se que as respostas inflamatórias são mais moderadas e a recuperação é rápida. Isso pode ser atribuído à menor duração de esforço físico intenso, permitindo que o corpo gerencie melhor o estresse metabólico e o dano tecidual. Estudos demonstram que atividades de menor duração resultam em respostas inflamatórias menos pronunciadas, facilitando uma recuperação mais eficiente [13].

Respostas em corridas de média distância

Para corridas de 10 km e 15 km, há um aumento mais notável nos níveis de IL-6 e mioglobina. Este aumento sugere que, conforme a distância e a intensidade do esforço aumentam, o corpo enfrenta uma demanda metabólica mais significativa, resultando em uma resposta inflamatória mais robusta e em danos musculares mais evidentes. Um estudo destaca que corredores de meia maratona exibem aumentos moderados em biomarcadores inflamatórios, correlacionando-se com o aumento da distância [10].

Respostas em ultramaratonas

Nos eventos de ultramaratona, a resposta inflamatória e o dano muscular se tornam significativamente mais pronunciados. A corrida prolongada resulta em uma produção substancial de espécies reativas de oxigênio (ROS), aumentando o estresse oxidativo e o dano muscular. Este tipo de exercício extremo demanda estratégias de recuperação mais elaboradas e prolongadas. Um estudo sobre ultramaratonistas documenta o aumento considerável de biomarcadores inflamatórios e de dano muscular após eventos prolongados, ressaltando a necessidade de intervenções nutricionais e de treinamento específicas para mitigar esses efeitos [12].

Importância do monitoramento individualizado

A variabilidade interindividual nas respostas fisiológicas, influenciada por fatores como idade, nível de treinamento e genética, sublinha a necessidade de um monitoramento personalizado. A literatura enfatiza a importância de adaptar estratégias de recuperação e treinamento às necessidades individuais dos atletas, considerando suas características únicas e o tipo de competição [7].

Implicações para treinamento e recuperação

Compreender a relação entre distância de corrida e resposta fisiológica é crucial para o desenvolvimento de programas de treinamento eficazes. Os treinadores e atletas podem usar essas informações para ajustar a carga de treino e implementar estratégias de recuperação que maximizem o desempenho e minimizem o risco de

lesões. Além disso, este conhecimento pode informar a prescrição de exercícios e o aconselhamento nutricional, garantindo que os atletas estejam fisicamente preparados para lidar com os desafios de corridas de longa distância. Em suma, este estudo não apenas ressalta a importância de adaptar as estratégias de recuperação à distância e intensidade do exercício, mas também enfatiza a necessidade de abordagens individualizadas, considerando a complexidade das respostas fisiológicas envolvidas.

Conclusão

Compreender essas dinâmicas fisiológicas permite o desenvolvimento de abordagens mais personalizadas para a recuperação e a prevenção de lesões, promovendo uma prática esportiva mais segura e eficaz. Além disso, o monitoramento preciso dos biomarcadores fornece insights valiosos para a otimização do desempenho e a redução do risco de lesões, contribuindo para avanços significativos no campo da ciência do esporte e do exercício.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Fontes de financiamento

Estudo realizado sem apoio financeiro específico.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho: Affonso HO; **Coleta de dados:** Affonso HO, Souza MB; **Análise e interpretação:** Affonso HO, **Redação do manuscrito:** Affonso HO, Souza MB, **Revisão crítica:** Affonso HO

Referências

1. Knopp M, Muñoz-Pardos B, Wackerhage H, Schonfelder M, Guppy F, Pitsiladis Y, *et al.* Variability in running economy of Kenyan world-class and European amateur male runners with advanced footwear running technology: experimental and meta-analysis results. *Sports Med.* 2023;53:1255–71. doi: 10.1007/s40279-023-01816-1
2. McKenzie G, Romm D, Féré C, Guerrero Balarezo ML. Gender differences in urban recreational running: A data-driven approach. *J Transp Geogr.* 2025;124:104171. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2025.104171
3. Ribalta C, Garrandes F, Bermon S, Adami PE, Ibarrola-Ulzurrun E, Rivas I, *et al.* Dynamic and stationary monitoring of air pollutant exposures and dose during marathons. *Sci Total Environ.* 2024;927:171997. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.171997
4. Rodrigo R, Adriano A, Priscila G. Relatório do ranking das capitais brasileiras amigas da atividade física. *Veja Saude* [Internet]. 2018 [cited 2025 Dec 12]. Available from: <https://saude.abril.com.br/fitness/relatorio-do-ranking-das-capitais-brasileiras-amigas-da-atividade-fisica/?fbclid=iwar3aktlopu-qsa9nfidhexgt5ohpkgaxpqc9p1onr3ycdvftwtlanos8b5rjs>
5. Niemiro GM, Allen JM, Mailing LJ, Khan NA, Holscher HD, Woods JA, De Lisio M. Effects of endurance exercise training on inflammatory circulating progenitor cell content in lean and obese adults. *J Physiol.* 2018 Jul;596(14):2811–22. doi: 10.1113/JP276023
6. Abd El-Kader SM, Al-Shreef FM. Long-term aerobic-resistance combined training improves health in young adult women by improving inflammatory mediators. *Comp Exerc Physiol.* 2025;21(2):105–17. doi: 10.1163/17552559-00001099
7. Gleeson M. Immune function in sport and exercise. *J Appl Physiol.* 2007 Aug;103(2):693–9. doi: 10.1152/jappphysiol.00008.2007

8. Nieman DC. Exercise immunology: practical applications. *Int J Sports Med.* 1997;18(Suppl 1):S91-100. doi: 10.1055/s-2007-972702
9. Dominguez-Muñoz A, Adsuar JC, Villafaina S, Leon-Llamas JL, Dominguez-Muñoz FJ. Test-retest reliability of ankle mobility, balance, and jump tests in amateur trail running athletes. *Sports.* 2025;13(10):352. doi: 10.3390/sports13100352
10. Weight LM, Alexander D, Jacobs P. Strenuous exercise: analogous to the acute-phase response? *Clin Sci (Lond).* 1991;81(5):677-83. doi: 10.1042/cs0810677
11. Suzuki K, Peake J, Nosaka K, Okutsu M, Matsumoto K. Changes in markers of muscle damage, inflammation and HSP70 after an Ironman triathlon race. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98:525-534. doi: 10.1007/s00421-006-0296-4
12. Żychowska M. Changes in the acid-base balance and lactate concentration in the blood in amateur ultramarathon runners during a 100-km run. *Biology of Sport.* 2015;32(4):301-306. doi: 10.5604/20831862.1163372
13. Nieman DC, Davis JM, Henson DA, Walberg-Rankin J, Shute M, Dumke CL, et al. Carbohydrate ingestion influences skeletal muscle cytokine mRNA and plasma cytokine levels after a 3-h run. *J Appl Physiol.* 2003;94(5):1917-25. doi: 10.1152/jappphysiol.01130.2002
14. Chowdhury S, Schulz L, Palmisano B, Singh P, Berger JM, Yadav VK, et al. Muscle-derived interleukin 6 increases exercise capacity by signaling in osteoblasts. *J Clin Invest* 2020;130(6):2888-2902. doi: 10.1172/JCI133572
15. Pedersen BK, Febbraio MA. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev.* 2012;93(3):1379-406. doi: 10.1152/physrev.00018.2011
16. Callegari IOM, Oliveira AG. Efeitos do exercício físico na resposta da interleucina-6 durante o tratamento da síndrome metabólica. *Saúde e Desenvolvimento Humano.* 2022;10(3). doi: 1018316/sdh.v10i3;9029
17. Reis ASLS, Comper MLC, Menucchi MRTP, Furtado GE, Borges GF. Resposta da IL-6 ao exercício aeróbico na imunossenescência: uma revisão narrativa. *RBPFE - Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício.* 2023;17(111):438-46.
18. Fischer CP. Interleukin-6 in acute exercise and training: what is the biological relevance? *Exerc Immunol Rev.* 2006;12:6-33. PMID: 17201070
19. Koma R, Shibaguchi T, Yamada T, Nonaka Y, Jue T, Yamazaki A, Masuda K. Endurance training increases mitochondrial myoglobin and enhances its interaction with complex IV in rat plantaris muscle. *Acta Physiol (Oxf).* 2024;240(5):e14139. doi: 10.1111/apha.14139
20. Zoladz JA, Grandys M, Smeda M, Kij A, Kurpinska A, Kwiatkowski G, et al. Myoglobin deficiency impairs maximal oxygen uptake and exercise performance: a lesson from Mb^{-/-} mice. *J Physiol.* 2024 Mar;602(5):855-73. doi: 10.1113/JP285067
21. Stathopoulos A, Petridou A, Kantouris N, Mougios V. A comparison of leg muscle oxygenation, cardiorespiratory responses, and blood lactate between walking and running at the same speed. *Sports.* 2024;12(2):48. doi: 10.3390/sports12020048
22. Dominguez-Muñoz A, Adsuar JC, Villafaina S, Leon-Llamas JL, Dominguez-Muñoz FJ. Test-retest reliability of ankle mobility, balance, and jump tests in amateur trail running athletes. *Sports.* 2025;13(10):352. doi: 10.3390/sports13100352
23. Peake JM, Markworth JF, Nosaka K, Raastad T, Wadley GD, Coffey VG. Modulating exercise-induced hormesis: does less equal more? *J Appl Physiol.* 2015;119:172-89. doi: 10.1152/jappphysiol.01055.2014

