



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS MÉDICAS E DA VIDA**

Cinthyá Stefany Fernandes Pires

**AVALIAÇÃO DO POLIMORFISMO RS8111989 DO GENE *CKM* EM
ATLETAS DA CAMINHADA ECOLÓGICA DE GOIÁS, BRASIL.**

**Goiânia
2025**

**AVALIAÇÃO DO POLIMORFISMO RS8111989 DO GENE *CKM* EM
ATLETAS DA CAMINHADA ECOLÓGICA DE GOIÁS, BRASIL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Biológicas - Modalidade Médica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito obrigatório para a obtenção do Título de Bacharelado. O presente trabalho foi elaborado em formato de artigo científico.

Orientadora: Dra. Lysa Bernardes Minasi

Goiânia
©2025

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio e colaboração de diversas pessoas, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Em primeiro lugar, agradeço a minha orientadora, Professora Dra. Lysa Bernardes Minasi, pela confiança, paciência, orientação precisa e valiosas sugestões que foram cruciais para o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa. Sua expertise e dedicação foram inspiradoras.

Aos membros da banca examinadora, Me. Jakeline Soares Fortes e Dra. Juliana Ferreira da Silva, pelo tempo dedicado à leitura e análise deste trabalho.

A minha família, por todo o amor, apoio incondicional, incentivo e compreensão, especialmente nos momentos mais desafiadores.

A Deus, pela força, saúde e discernimento concedidos para superar os obstáculos e alcançar este objetivo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste sonho, muito obrigada!

RESUMO

Introdução: O desempenho esportivo é influenciado por fatores genéticos, uma vez que determinadas variações genéticas estão associadas a um maior risco de lesões. Este trabalho teve como objetivo avaliar o polimorfismo rs8111989 do gene *CKM* em atletas da Caminhada Ecológica de Goiás.

Métodos: Estudo com 26 atletas que participaram da 31ª Caminha Ecológica que ocorreu nos dias 22 a 27 de julho de 2024. Foram coletados dados sociodemográficos, antropométricos, hábitos de vida e aplicada a avaliação da versão brasileira do Questionário Nórdico. Posteriormente, houve a coleta de material biológico para extração de DNA usando o Kit *PureLink Genomic DNA Mini Kit* (ThermoFisher, EUA). As amostras foram quantificadas através do uso do espectrofotômetro NanoDrop (ThermoFisher, EUA). Para a genotipagem, foi usado o termociclador *QuantStudio™ 5 Real-Time PCR System* (ThermoFisher, EUA) e o kit TaqMan Real Time PCR® (SNP Genotyping kit, da AppliedBiosystems, EUA). Foi utilizado o teste do X^2 para avaliar o equilíbrio de Hardy-Weinberg, comparação entre frequências alélicas e genotípicas e para avaliar a associação entre a variante genética e sintomas osteomusculares.

Resultados: O alelo T apresentou maior frequência (67%), com predominância do genótipo CT (50%). Dos 26 atletas, 8 (30,8%) relataram presença de sintomas de dor nos 12 meses que antecederam a caminhada, enquanto 4 (15,4%) relataram a presença de sintomas nos últimos 7 dias após início da caminhada. Não houve diferença estatística significativa entre a distribuição genotípica dos atletas e as populações Global ($p= 0,26$) e América Latina 1 ($p=0,34$), apenas com a população da América Latina 2 ($p<0,001$). A frequência alélica só apresentou diferença estatística significativa ($p<0,007$) com a população da América Latina 2.

Conclusão: Os genótipos analisados não influenciaram significativamente os resultados, e a ocorrência de sintomas osteomusculares não apresentou diferença estatisticamente significativa.

INTRODUÇÃO

A performance esportiva tem relação direta com fatores ambientais, genéticos, anatômicos, fisiológicos e psicológicos (1). Estudos comprovam que cerca de 66% do desempenho individual do atleta está relacionado a fatores genéticos, que afetam o risco de lesões, principalmente em corrida de longa distância (2), em que se faz necessário o uso da força muscular, resistência e potência quando comparado com outras atividades (3).

Diferenças na estrutura, função e regeneração entre músculos, ligamentos e tendões sugerem que é provável que haja marcadores genéticos específicos de tecidos, alguns dos quais podem afetar o desempenho físico e o risco de lesões, ou a recuperação após a lesão ter ocorrido (4). Variantes genéticas têm sido associadas a um risco aumentado de lesões musculoesqueléticas relacionadas ao esporte ou a fenótipos que predisõem os atletas a lesões, como: rs17602729 (*AMPDI*), rs4646994 (*ACE*), rs1815739 (*ACTN3*), rs8111989 (*CKM*), rs2849757 e rs2700352 (*MLCK*), rs1800012 (*COL1A1*), rs12722 (*COL5A1*) e rs970547 (*COL12A1*) (5,2).

O gene Creatina quinase específica do músculo (*CKM*), regula a energia durante o exercício (1), pois catalisa de forma reversível o fosfato da fosfocreatina para difosfato de adenosina e gera posteriormente o trifosfato de adenosina, sustentando o canal de Ca^{2+} - ATPase do retículo sarcoplasmático (6).

O gene codificador *CKM* está localizado na região 19q13.32 e coordenadas genômicas (GRCh38): 19:45,306,413-45,322,875 (7). Foram mapeados cerca de 260 polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs) no *CKM*, porém o mais pesquisado está na posição 3' não traduzida, o rs8111989, em que há troca da adenina por guanina na região 800 do nucleotídeo (3). Acredita-se que essa variante afeta a expressão do *CKM*, por alterar o sinal de localização celular no mRNA, importante para a ação correta da regulação de energia, apesar de estar em uma região não codificadora (8). Constatou-se que o alelo G do polimorfismo reduz os níveis de creatina quinase no músculo esquelético em exercícios de longo prazo, dando indicativos de que esse alelo protege contra danos musculares por esforço (5).

A Genômica esportiva tem como objetivo o acompanhamento físico e nutricional personalizado, além da prevenção de doenças relacionadas ao exercício através de métodos moleculares (4). Por ainda não haver consenso sobre a associação das alterações C/T com o desempenho atlético (9), o presente estudo visa avaliar o polimorfismo rs8111989 do gene *CKM* em atletas da Caminhada Ecológica de Goiás.

MÉTODOS

Delineamento do Estudo e Grupo Amostral

A Caminhada Ecológica é um evento anual, no Estado de Goiás, realizado pelo grupo Jaime Câmara, através do Jornal O Popular e do Sesc. O principal objetivo da caminhada é a conscientização sobre a preservação do Cerrado e do Rio Araguaia. Tem como ponto de partida o Santuário Basílica Divino Pai Eterno, localizado na cidade de Trindade. Os atletas

percorrem cerca de 60km por dia e fazem parada nas cidades Goianira, Brazabrantes, Caturai, Inhumas, Itauçu, Itaberaí, Goiás, Faina, e Araguapaz, tendo como ponto de chegada a cidade de Aruanã às margens do Rio Araguaia (10).

Os atletas que integram o presente estudo participaram da 31ª Caminha Ecológica que ocorreu nos dias 22 a 27 de julho de 2024 e teve como tema “Cuidar do Cerrado, tem que ser agora” (10). Um total de 26 atletas que participaram da 31ª Caminha Ecológica foram convidados a participar do estudo e os que concordaram assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da PUC Goiás. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da PUC Goiás, com o CAAE 69982623.0.0000.0037 e parecer nº 6137377.

Coleta do Material Biológico

Após assinatura do TCLE, foi realizada a coleta de sangue periférico, por venopunção. O material foi armazenado em tubos à vácuo com EDTA. Após a coleta, as amostras de sangue com EDTA foram encaminhadas para laboratório Núcleo de Pesquisas Replicon (NPR) da PUC Goiás para armazenamento e realização dos testes genéticos.

Coleta de dados clínicos

Foram realizadas as coletas de dados sociodemográficos, antropométricos e hábitos de vida, além da avaliação dos sintomas osteomusculares dos 12 meses que antecedem a caminhada, a partir da Versão brasileira do Questionário Nórdico. Todos estes dados foram coletados um dia antes do início da caminhada ecológica.

No penúltimo dia da caminhada, foram avaliados os sintomas osteomusculares considerando a última questão do Questionário Naórdico que avalia a presença de algum problema (como dor, formigamento e dormência) nos últimos 7 dias.

Extração do DNA Genômico e Quantificação das Amostras

A extração de DNA foi realizada usando o Kit de extração de *DNA PureLink Genomic DNA Mini Kit* (ThermoFisher, EUA), seguindo o protocolo do fabricante. Após a purificação do DNA, as amostras foram quantificadas através do uso do espectrofotômetro NanoDrop (ThermoFisher, EUA), seguindo o protocolo do fabricante.

Genotipagem do SNP rs8111989

O polimorfismo rs8111989 do gene *CKM* foi analisado através da técnica de PCR em tempo real, usando o termociclador *QuantStudio™ 5 Real-Time PCR System* (ThermoFisher,

EUA) e o kit TaqMan Real Time PCR[®] (SNP Genotyping kit, da AppliedBiosystems, EUA), seguindo recomendações do fabricante. O ensaio consiste na utilização de duas sondas TaqMan[®] MGB com as sequências GCTTTCTAGGAGAAATGGGGAGCCA[C/T]GGCAGGTTCTTGAGAAAGTAAGGGA marcadas com fluoróforos. Na primeira sonda é encontrado um fluoróforo VIC marcado para o alelo C e a segunda sonda o fluoróforo FAM marcado para o alelo T.

Análise dos dados

Os genótipos e as informações fornecidas pelos participantes da pesquisa, foram tabulados no *Microsoft Excel*[®] 2013. Em seguida, a planilha foi exportada para o software de análise estatística *Statistical Package for the Social Sciences*[®] (SPSS), versão 20.0.

Através deste software, foi realizado a análise descritiva das variáveis quantitativas contínuas mediante cálculo de médias, desvios padrões e percentis. As variáveis foram analisadas por meio de frequência absolutas e relativas. O teste do X^2 foi usado para verificar a conformidade com o equilíbrio de Hardy-Weinberg (HWE) e para avaliar associação entre os grupos genotípicos e a ocorrência de sintomas osteomusculares. Além disto, foi realizada a análise estatística adotando nível de significância de 5%.

RESULTADOS

No presente estudo foram avaliados 26 atletas participantes da caminhada ecológica de Goiás no ano de 2024, sendo 19,2% (5/26) do sexo feminino e 80,8% (21/26) do sexo masculino. A média geral da idade dos participantes foi de 49,6 anos, com limite inferior de 28 anos e superior de 73 anos. Em relação à prática de atividade física, todos os atletas declaram praticar atividade física, sendo que a maioria pratica 6 vezes por semana. Foi relatado pelos atletas problema ortopédico em 15,3% (04/26) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise descritiva dos dados sociodemográficos, clínicos e antropométricos dos atletas da caminhada ecológica, Goiás, 2024.

Variáveis		Média ou f (%)	Mínimo	Máximo
Sociodemográficos	Idade (anos) ¹ (\pm DP)	49,6 (\pm 9,67)	28	73
	Faixa etária			
	< 40	4 (15,4)	na	na
	40 a 59	18 (69,2)	na	na
	\geq 60	4 (15,4)	na	na

	Sexo			
	Feminino	5 (19,2)	na	na
	Masculino	21 (80,8)	na	na
Prática de Atividade Física	Frequência Semanal			
	2 vezes	1 (3,8)	na	na
	3 vezes	4 (15,4)	na	na
	4 vezes	5 (19,2)	na	na
	5 vezes	6 (23,1)	na	na
	6 vezes	7 (27)	na	na
	7 vezes	3 (11,5)	na	na
Clínica	Problema Ortopédico			
	Sim	4 (15,3)	na	na
	Não	21 (80,7)	na	na
Antropométricas (Médias)	Altura (m) ¹ (±DP)	1,7 (±0,10)	1,59	1,87
	Peso (Kg) ¹ (±DP)	67,2 (±10,6)	53	92
	IMC (Kg/m ²) ¹ (±DP)	22,9 (±2,1)	19,15	27,43

¹Médias; F: Frequência absoluta; ±DP: Desvio Padrão; m= metros; Kg= quilograma; Kg/m²= quilograma metro ao quadrado; na: não se aplica.

Com relação aos sintomas osteomusculares, dor, desconforto ou dormência, 8 (30,8%) dos atletas relataram presença de sintomas de dor nos últimos 12 meses que antecederam a caminhada, enquanto, 4 (15,4%) relataram a presença de sintomas nos últimos 7 dias da caminhada. As regiões anatômicas com maior presença de dor nos últimos 12 meses foram pescoço e parte inferior das costas, e para os últimos 7 dias a região anatômica com maior presença de dor foi tornozelos/pés. (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição da prevalência de sintomas osteomusculares, dor, desconforto ou dormência, segundo local da dor, nos últimos 12 meses e 7 dias, em atletas da caminhada ecológica, Goiás, 2024.

Local	Dor 12 meses		Dor 7 dias	
	n	%	n	%
Geral	8	30,8	4	15,4
Pescoço	3	11,5	0	0
Ombros	1	3,8	0	0
Parte Superior das Costas	1	3,8	1	3,8
Cotovelos	0	0	0	0
Punhos / Mãos	1	3,8	0	0
Parte Inferior das Costas	3	11,5	0	0
Quadril / Coxas	0	0	1	3,8
Joelhos	1	3,8	0	0
Tornozelos / Pés	0	0	2	7,7

No que diz respeito aos atletas com impedimento de realizar atividades habituais (trabalho, atividades domésticas e de lazer), apenas 1 (3,8%) atribuiu a limitação a um problema na parte inferior das costas. Dos 26 atletas do estudo, apenas 5 (19,2%) consultaram

um profissional da saúde, sendo as regiões anatômicas mais relatadas a parte inferior das costas e os joelhos, ambos com 7,7%.

Em relação a avaliação genotípica dos atletas, foram calculadas as frequências genotípica e alélica do *CKM* e o HWE foi estimado para o SNP rs8111989 (Tabela 3). Foi observado que a população do estudo apresentou em conformidade com HWE ($p < 0,05$), conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3. Frequências genotípicas e alélicas da variante rs8111989 do gene *CKM* testadas para o Equilíbrio de Hardy-Weinberg em atletas da caminhada ecológica, Goiás, 2024.

Genótipo	f(n)	FR (%)	χ^2	p
TT	11	42	2,85	0,24
CT	13	50		
CC	2	8		
Alelo				
T	35	67		
C	17	33		

F: Frequência absoluta; FR: Frequência relativa; X^2 :qui quadrado; p: valor de p.

Foi realizado um levantamento sobre a frequência da distribuição alélica e genotípica do banco de dados ALFA (*Allele Frequency Aggregator*) para a população global, América Latina 1 e América Latina 2, as informações estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Levantamento das frequências da distribuição genotípica e alélica das populações Global, América Latina 1 e América Latina 2 do banco de dados ALFA.

Genótipo	População Global	População América Latina 1	População América Latina 2
TT	46%	46%	64%
CT	42%	49%	31%
CC	11%	5%	5%
Alelo			
T	67%	71%	79%
C*	32%	33%	21%

*Alelo de menor frequência (alelo de risco)

Assumindo que a população do presente estudo esteja em equilíbrio de Hardy-Weinberg, foi aplicado o teste X^2 para observar se há diferença entre a distribuição genotípica identificada no grupo de atletas e a distribuição obtida no banco de dados ALFA. Não houve diferença estatisticamente significativa entre a distribuição genotípica dos atletas e as populações Global e América Latina 1, com $p = 0,26$ e $0,34$, respectivamente. No entanto,

quando comparado a distribuição genotípica dos atletas com a população da América Latina 2 houve diferença estatística entre os grupos ($p < 0,001$), sendo que a diferença entre os grupos se deu pela população América Latina 2 apresentar uma frequência do genótipo TT superior quando comparado com a frequência do mesmo genótipo na população de atletas.

Ao realizar a mesma comparação para a frequência alélica, foi observado diferença estatisticamente significativa apenas quando comparado a distribuição alélica dos atletas com a população da América Latina 2 ($P < 0,007$), devido a uma maior frequência do alelo T na população da América Latina 2. Já os grupos da população global e América Latina 1 não são diferentes da frequência alélica dos atletas com $p = 0,832$ e $p = 0,509$, respectivamente.

O teste X^2 de independência foi realizado para avaliar se há uma associação significativa entre os grupos TT e grupo CT+CC e a ocorrência de sintomas osteomusculares nos últimos 12 meses que antecedeu à caminhada ecológica e 7 dias da caminhada, com os genótipos do polimorfismo rs8111989 do *CKM*. O resultado do teste indicou não haver diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p > 0,05$).

Tabela 5. Comparação entre sintomas osteomusculares, dor, desconforto ou dormência, nos últimos 12 meses e 7 dias e os grupos de genótipos rs8111989 do gene *CKM* nos indivíduos em atletas da caminhada ecológica, Goiás, 2024.

Genótipos	Com Sintomas Osteomusculares	Sem Sintomas Osteomusculares	χ^2	p
Grupo TT	6	16	0,48	0,49
Grupo CT+CC	6	24		

DISCUSSÃO

No presente estudo observamos diferença estatística das frequências alélicas e genotípicas entre o grupo amostral e a população da América Latina 2, devido ao genótipo TT estar em maior frequência quando comparado ao mesmo genótipo na população de atletas. A população América Latina 2 é composta de indivíduos latino-americanos com ascendência predominantemente europeia e nativa americana (11), enquanto a América Latina 1 é composta de indivíduos latino-americanos com ascendência afro-caribenha (12).

A ancestralidade da população brasileira apresenta variações conforme a região geográfica do país. Embora a ancestralidade europeia seja predominante, representando entre 58,9% e 59,72%, é mais frequente nas regiões Sul e Sudeste. A ancestralidade africana, que varia de 27,13% a 27,19%, predomina na região Nordeste. Já a ancestralidade indígena nativa, com valores entre 13,14% e 13,36%, é mais expressiva na região Norte do Brasil. Ao

investigar os processos históricos da miscigenação no Brasil, durante os anos de 1808 e 1888, mais de 2 milhões de africanos foram traficados e trazidos para o Brasil (13). Estima-se que, no século XIX, 80% da população de Goiás era composta por pessoas pardas e negras, oriundos do sul de Minas Gerais, Nordeste e Norte, que impactados pela crise aurífera e abolição da escravidão, buscavam o Sertão de Goiás para estabelecer a família (14).

Os resultados do presente estudo evidenciaram que o alelo T possui maior frequência populacional, com predominância do genótipo CT, que corrobora com o estudo realizado com karatecas profissionais iranianos, em que se observou que o genótipo CT tem maior frequência (56,9%) (15). Em contrapartida, o estudo realizado com atletas profissionais de alta performance russos e lituanos, apresentou T como alelo de maior frequência e o genótipo TT (3). Em um estudo com alpinistas russos, japoneses e poloneses, observou-se, respectivamente, maior frequência do alelo C (41%) e do genótipo CT (44%) entre os russos; do alelo C (10%) e do genótipo TT (81%) entre os japoneses; e do alelo C (36%) e do genótipo CT (53%) entre os poloneses. (16).

Ao avaliar se há uma associação significativa entre o grupo de genótipos e a ocorrência de sintomas osteomusculares, ou seja, se as proporções de sintomas diferem significativamente entre os grupos, verificamos que não existe uma associação significativa entre os grupos e a ocorrência de sintomas osteomusculares na população de atletas. Segundo o estudo de Ginevičiene, et al (2021), atletas com o genótipo TT têm seis vezes mais probabilidade de sofrer ruptura muscular por esforço do que os genótipos CT ou CC, sugerindo que o alelo C protege contra danos musculares por esforço.

Não há consenso entre a influência dos níveis séricos de CK elevados com dano muscular, pois pode ser influenciada por alguns fatores, como etnicidade, hidratação, atividade enzimática, depuração no soro e intensidade dos exercícios (17). Entretanto, ao ser associada ao genótipo, pode ter significado clínico, em que o alelo C exerce papel protetor frente aos danos musculares relacionados à atividade física intensa, sugerindo sua possível relevância na prevenção de lesões em atletas (18).

A dor que precede a corrida de rua está diretamente associada a frequência de treino semanal (19). Os atletas que relataram dor treinavam, no mínimo, três vezes por semana. No caso específico da Caminhada Ecológica de Goiás, são percorridos 60 km por dia, que exige grande esforço ao sistema musculoesquelético e grande intensidade dos treinos, o que pode favorecer o surgimento de dores. As lesões que mais acometem os atletas são originadas de micro traumas acumulativos e determinam lesão por sobrecarga (20).

O presente estudo identificou que o alelo T apresentou maior frequência, sendo o genótipo heterozigoto CT o mais prevalente entre os participantes. Sendo observado um perfil de distribuição genotípica e alélica diferente entre a população de atletas e a população da América Latina 2. Além disso, não foi observado influência dos genótipos e a presença de sintomas osteomusculares não revelou significância estatística. É recomendável estudos adicionais com amostras ampliadas para melhor compreensão do papel desse polimorfismo neste contexto esportivo dos atletas da caminhada ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GINEVIČIENĖ, V.; URNIKYTĖ, A. Association of COL12A1 rs970547 polymorphism with elite athlete status. **Biomedicines**, Basel, v. 10, n. 10, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines10102500>.
2. DINES, H. R. et al. Collagen gene polymorphisms previously associated with resistance to soft-tissue injury are more common in competitive runners than nonathletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 799–805, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004291>.
3. GINEVIČIENĖ, V. et al. CKM gene rs8111989 polymorphism and power athlete status. **Genes**, Basel, v. 12, n. 10, p. 1499, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes12101499>.
4. AHMETOV, I. I. et al. Advances in sports genomics. In: MAKOWSKI, G. S. (ed.). **Advances in Clinical Chemistry**. Amsterdam: Elsevier, 2022. v. 107, p. 215–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2021.07.004>.
5. MAESTRO, A. et al. Genetic profile in genes associated with muscle injuries and injury etiology in professional soccer players. **Frontiers in Genetics**, Lausanne, v. 13, p. 1035899, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1035899>.

6. SPROUSE, C. et al. CK-MM polymorphism is associated with physical fitness test scores in military recruits. **Military Medicine**, Bethesda, v. 180, n. 9, p. 1001–1005, 2015. DOI: <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00445>
7. UNITED STATES. JOHNS HOPKINS UNIVERSITY. *Online Mendelian Inheritance in Man – OMIM®: MIM number 123310*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University, [2024]. Disponível em: <https://www.omim.org/entry/123310?search=123310&highlight=123310>. Acesso em: 10 maio 2024.
8. GREALY, Rebecca et al. Evaluation of a 7-Genetic Profile for Athletic Endurance Phenotype in Ironman Championship Triathletes. **PloS one**, v. 10, n. 12, p. e0145171, 2015.
9. CHEN, C. et al. A meta-analysis of the association of CKM gene rs8111989 polymorphism with sport performance. **Biology of Sport**, Warsaw, v. 34, n. 4, p. 323–330, 2017.
10. G1 GOIÁS. Mais de 300 km de percurso e ações de preservação ambiental: caminhada ecológica reúne mais de 20 atletas em Goiás. *G1*, Goiás, 23 jul. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2024/07/23/mais-de-300-km-de-percurso-e-acoes-de-preservacao-ambiental-caminhada-ecologica-reune-mais-de-20-atletas-em-goias.ghtml>. Acesso em: 30 março 2025.
11. UNITED STATES. NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. *BioSample: SAMN10492700, Homo sapiens*. Bethesda, MD: NCBI, [2018]. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/biosample/SAMN10492700>. Acesso em: 20 maio 2025.
12. UNITED STATES. NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. *BioSample: SAMN10492699, Homo sapiens*. Bethesda, MD: NCBI, [2018]. Disponível em:

- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/biosample/SAMN10492699>. Acesso em: 20 maio 2025.
13. NUNES, K. et al. Admixture's impact on Brazilian population evolution and health. **Science**, Washington, DC, v. 388, n. 6748, p. ead13564, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adl3564>.
 14. OLIVEIRA, H. A. de. 1804 – A população de Goiás na transição da mineração para a pecuária. **História Revista**, Goiânia, v. 21, n. 1, p. 154–187, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5216/hr.v21i1.33600>.
 15. BATAVANI, M. R. et al. Comparison of muscle-specific creatine kinase (CK-MM) gene polymorphism (rs8111989) among professional, amateur athletes and non-athlete karatekas. **Asian Journal of Sports Medicine**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. e43210, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5812/asjasm.43210>.
 16. SAITO, M. et al. Genetic profile of sports climbing athletes from three different ethnicities. **Biology of Sport**, Warsaw, v. 39, n. 4, p. 913–919, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5114/biolport.2022.109382>.
 17. BAIRD, M. F. et al. Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage: implications for muscle performance and recovery. **Journal of Nutrition and Metabolism**, [S.l.], v. 2012, p. 1–13, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/960363>.
 18. HELED, Y. et al. CM-MM and ACE genotypes and physiological prediction of the creatine kinase response to exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 103, n. 2, p. 504–510, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00081.2007>.
 19. TIÊ, G. et al. Prevalência de dor musculoesquelética em corredores de rua no momento em que precede o início da corrida. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 807–820, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-32892011000300013>.

20. SARAGIOTTO, B. T. et al. Desequilíbrio muscular dos flexores e extensores do joelho associado ao surgimento de lesão musculoesquelética relacionada à corrida: um estudo de coorte prospectivo. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 64–68, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rbce.2015.10.004>.