

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA

CAROLINA PEREIRA DE ARRUDA CAMARGO

**ATIVIDADE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DA BIOLOGIA EVOLUTIVA:
Uma revisão integrativa**

Florianópolis,

2021

Carolina Pereira de Arruda Camargo

**ATIVIDADE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DA BIOLOGIA EVOLUTIVA:
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Educação Física – Bacharelado do Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Educação Física.

Orientador: Prof. Cassiano Ricardo Rech, Dr..

Coorientadora: Profa. Carla Elane Silva Godtsfriedt, Ma.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Camargo, Carolina Pereira de Arruda
Atividade física sob a perspectiva da biologia
evolutiva: uma revisão integrativa / Carolina Pereira de
Arruda Camargo ; orientador, Cassiano Ricardo Rech,
coorientadora, Carla Elane Silva Godtsfriedt, 2021.
39 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Desportos, Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Atividade física. 3. Saúde humana.
4. Evolução. 5. Biologia. I. Rech, Cassiano Ricardo. II.
Godtsfriedt, Carla Elane Silva. III. Universidade Federal
de Santa Catarina. Graduação em Educação Física. IV. Título.

Carolina Pereira de Arruda Camargo

**ATIVIDADE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DA BIOLOGIA EVOLUTIVA:
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Educação Física” e aprovado em sua forma final pelo Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina, com a nota 10.

Florianópolis, 23 de setembro de 2021.

Banca Examinadora:

Prof. Cassiano Ricardo Rech, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa Bruna Barboza Seron, Dra
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Joel de Almeida Siqueira Junior, Esp.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico esse trabalho aos meus colegas de profissão e aos apaixonados por atividade física.

RESUMO

A atividade física definiu a história do ser humano e está mais atrelada à sua biologia do que o contexto atual deixa transparecer. A relação entre biologia humana e atividade física contada por meio da biologia evolutiva é o tema deste trabalho, que tem por objetivo apresentar algumas das evidências científicas sobre atividade física à luz da perspectiva evolutiva. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, realizada nas bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science, SportDiscus, SciELO e LILACS publicadas até julho de 2021. Foram analisados 18 estudos, dos quais 11 foram do tipo revisão, 5 originais e 2 de opinião. Os estudos mostram que a formação da biologia do ser humano está atrelada aos hábitos de atividade física dos seus ancestrais, que por sua vez determina as respostas fisiológicas do organismo frente aos estímulos da atividade física e auxiliam na compreensão dos desafios enfrentados em escala populacional frente a um estilo de vida que não mais requer os mesmos níveis de atividade física que moldaram a biologia do ser humano. Desta forma, conclui-se que a perspectiva evolutiva contribui na compreensão do fenômeno da atividade física na sua esfera biológica.

Palavras-chave: Evolução. Atividade física. Biologia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de seleção dos estudos sobre a atividade física na perspectiva evolutiva	16
Figura 2 - Esquema dos modelos de gasto energético total aditivo e constricto.....	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização dos estudos incluídos	18
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO GERAL.....	11
1.3	DEFINIÇÃO DE TERMOS	12
2	METODOLOGIA.....	14
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	14
2.2	PROCESSO DE ELABORAÇÃO DA REVISÃO INTEGRATIVA	14
2.3	ESTRATÉGIA DE BUSCA	14
2.4	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO DOS ESTUDOS	15
2.5	EXTRAÇÃO DOS DADOS.....	15
2.6	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	15
2.7	ASPECTOS ÉTICOS	15
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1	QUANTITATIVO DA BUSCA SISTEMÁTICA	15
3.2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS ESTUDOS	16
3.3	TECENDO AS RELAÇÕES ENTRE A BIOLOGIA EVOLUTIVA, SAÚDE E ATIVIDADE FÍSICA	20
3.3.1	Doenças associadas ao estilo de vida	20
3.3.2	Perfil de atividade física compatível com a biologia humana.....	21
3.3.3	Perfil de comportamento sedentário compatível com a biologia humana	23
3.3.4	Regulação biológica dos níveis de atividade física.....	23
3.3.5	Adaptações musculoesqueléticas para atividade física de <i>endurance</i>.....	24
3.3.6	Adaptações cardíacas para atividade física de <i>endurance</i>	25
3.3.7	Respostas fisiológicas aos níveis de atividade física.....	26
3.3.8	Adaptações neurológicas para a atividade física de <i>endurance</i>.....	27
3.3.9	Atividade física e gasto energético total.....	28
4	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	29

REFERÊNCIAS	31
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Para o biólogo evolutivo Theodosius Dobzhansky “nada na biologia faz sentido senão sob a luz da evolução” (DOBZHANSKY, 1973). Essa frase resume a importância da perspectiva evolutiva para a biologia. Em outras palavras, pode-se dizer que a evolução é útil para compreender todas as demais áreas da biologia, reforçando a relevância de conhecer o passado para compreender o presente. Nesse sentido, aplicar uma perspectiva evolutiva sobre um fenômeno biológico seria analisá-lo considerando que o que está sendo observado é resultado também da sua história evolutiva.

A biologia evolutiva sempre foi, na sua essência, uma ferramenta para compreender a biologia humana e seus desdobramentos (EATON; CORDAIN, 2001), no entanto apenas por volta dos anos 2000, as áreas da biologia evolutiva e da saúde se aproximaram com o surgimento da chamada medicina evolutiva (WELLS; NESSE; SEAR; A JOHNSTONE; STEARNS, 2017). Nos últimos anos, pesquisadores da biologia evolutiva têm conduzido investigações explorando a relação entre a biologia do ser humano e atividade física (PONTZER, 2021; RAICHLIN; ALEXANDER, 2017; LIEBERMAN, 2015), úteis para compreender o fenômeno da atividade física dentro da sua esfera biológica.

A biologia evolutiva revela que a biologia do ser humano ainda é essencialmente a mesma daquela que foi moldada em meio a um estilo de vida que envolvia níveis elevados de atividade física, mas que atualmente se depara com um estilo de vida que requer baixos níveis de atividade física (LIEBERMAN, 2015). Desse modo, a perspectiva evolutiva sugere que algumas doenças estão fortemente associadas ao estilo de vida pouco ativo (tópico 3.3.1) e também traça um perfil dos hábitos de atividade física (tópico 3.3.2) e de comportamento sedentário (tópico 3.3.3) que seriam mais compatíveis com a biologia do ser humano, assim como explica a origem evolutiva da regulação biológica do comportamento sedentário (tópico 3.3.4). Ademais, indica as adaptações multissistêmicas para atividade física de *endurance* (tópicos 3.3.5, 3.3.6 e 3.3.8), que determinaram a biologia e a história evolutiva do ser humano. Por fim, explica as origens evolutivas das respostas fisiológicas aos níveis de atividade física (tópico 3.3.7), que inclui um modelo energético (tópico 3.3.9) que se opõe ao tradicional modelo aditivo de gasto energético total.

Esses conhecimentos permitem compreender a formação da biologia do ser humano, que está atrelada aos hábitos de atividade física dos seus ancestrais, e facilitam o entendimento do seu funcionamento, que inclui as respostas observadas frente aos estímulos da atividade física. Além disso, auxilia a esclarecer os desafios enfrentados frente ao estilo de

vida que não mais requer os mesmos níveis de atividade física que moldaram a sua biologia. Apesar da complementaridade entre as áreas, a perspectiva evolutiva não aparenta estar sendo muito explorada pelos profissionais da atividade física no Brasil, tendo em vista o número reduzido de publicações em língua portuguesa com essa temática.

Desse modo, o foco deste estudo será apresentar algumas das evidências científicas sobre atividade física à luz da perspectiva evolutiva e disponibilizá-las em língua portuguesa, como forma de aproximar os profissionais da atividade física dessa temática.

1.1 OBJETIVO GERAL

Diante da lacuna no conhecimento apresentada, o objetivo do presente estudo foi apresentar algumas das evidências científicas sobre a atividade física à luz da perspectiva evolutiva.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como justificativa pessoal, a partir do surgimento da pandemia de Coronavírus em 2020, senti que a prática de atividade física em academias estava ameaçada. Me preparando para dar aulas em ambientes abertos, comecei a estudar treinamento funcional, e ao refletir sobre a funcionalidade do corpo e dos movimentos, me questionei como se materializava essa funcionalidade na sua origem. Minhas pesquisas me colocaram em contato com o trabalho do Daniel E. Lieberman, paleoantropólogo e pesquisador da Universidade de Harvard, bastante citado nesta revisão. Me conectei imediatamente com o assunto, e estava lendo *The story of the human body*, publicado em 2013, quando iniciei a matéria de TCCI.

1.3 DEFINIÇÃO DE TERMOS

Esse tópico apresenta alguns conceitos da biologia evolutiva necessários para uma melhor compreensão do assunto abordado neste trabalho.

Evolução

Conceitual: mudanças que ocorrem ao longo do tempo (LIEBERMAN, 2014).

Evolução biológica

Conceitual: mudanças que ocorrem ao longo do tempo na biologia dos seres, ou seja, naquilo que é geneticamente determinado (LIEBERMAN, 2014).

Operacional: no presente trabalho o termo evolução será usado como sinônimo de evolução biológica.

Seleção natural

Conceitual: mecanismo por meio do qual a evolução acontece, que consiste na seleção das características geneticamente determinadas que conferem maior sucesso reprodutivo aos seres (LIEBERMAN, 2014).

Adaptações

Conceitual: características geneticamente determinadas que conferem (ou conferiram) maior sucesso reprodutivo e que foram naturalmente selecionadas (LIEBERMAN, 2014).

Hipótese

Conceitual: conjunto estruturado de argumentos que busca explicar os fenômenos observados (evidências), mas que ainda não foi comprovado (LIEBERMAN, 2014).

Operacional: há limitações para testar as hipóteses evolutivas, em razão da impossibilidade de recriar o contexto dos eventos, bem como o intervalo de tempo que eles levaram para se desenvolver (LIEBERMAN, 2014).

Gênero homo

Conceitual: gênero ao qual o ser humano faz parte. Surgiu aproximadamente 2 milhões de anos atrás, marcado pelo aparecimento de uma série de características que diferenciam a

biologia do ser humano da dos outras primatas e a aproxima da biologia atual (LIEBERMAN, 2014).

Estilo de vida caçador-coletor

Conceitual: estratégia de sobrevivência e reprodução fundamentada na caça, na coleta e em um alto grau de cooperação. Foi a estratégia de sobrevivência do ser humano desde o surgimento do gênero homo até o surgimento da agricultura, 10 mil anos atrás. Alguns grupos conservam esse estilo de vida atualmente (LIEBERMAN, 2014).

Estilo de vida de populações industrializadas

Conceitual: estilo de vida adotado pela maior parte da população mundial após a Revolução Industrial (LIEBERMAN, 2014).

Operacional: no presente trabalho esse estilo de vida é caracterizado pelos baixos níveis de atividade física necessários para a sobrevivência.

Atividade física

Operacional: no presente trabalho o conceito de atividade física se restringe ao comportamento que envolve os movimentos voluntários do corpo, com gasto de energia acima do nível de repouso (BRASIL, 2021). Níveis de atividade física baixos ou altos são comparativos entre os hábitos de atividade física de espécies vivas ou entre os hábitos de atividade física típicos do estilo de vida caçador-coletor e do estilo de vida de populações industrializadas (LIEBERMAN, 2014)

Saúde

Operacional: no presente trabalho o conceito de saúde se restringe a ausência de doenças (SCLIAR, 2007). Vale ressaltar aqui que a evolução favorece apenas as características que aumentam o sucesso reprodutivo das espécies, o que não necessariamente corresponde a saúde enquanto ausência de doença (LIEBERMAN, 2014), tampouco a saúde enquanto bem-estar físico, mental e social (SCLIAR, 2007).

2 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os procedimentos metodológicos que subsidiaram essa pesquisa. Abordou-se, primeiramente, a caracterização da pesquisa, em seguida as etapas que incluíram a definição da pergunta de pesquisa, a busca sistematizada, seleção, extração e análise para interpretação de dados. Por fim são apresentados os aspectos éticos do estudo.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Trata-se de um estudo de natureza qualitativa, exploratória do tipo revisão integrativa, que possibilita apresentar o estado da arte sobre um tema, fornecendo uma compreensão abrangente de um fenômeno particular, e permite a inclusão de estudos que adotam diversas metodologias (SOUZA; SILVA; CARVALHO; 2010). Este estudo buscou informações para contextualizar a expansão e significância do objeto de estudo, cujo foco versa sobre a atividade física na perspectiva da biologia evolutiva.

2.2 PROCESSO DE ELABORAÇÃO DA REVISÃO INTEGRATIVA

O presente estudo seguiu as seguintes etapas: (1) elaboração da pergunta norteadora; (2) busca ou amostragem na literatura; (3) coleta de dados; (4) análise crítica dos estudos incluídos; (5) discussão dos resultados; (6) apresentação da revisão integrativa (SOUZA; SILVA; CARVALHO; 2010). Na primeira etapa estabeleceu-se a seguinte questão norteadora: quais são as evidências científicas sobre atividade física à luz da perspectiva evolutiva?

2.3 ESTRATÉGIA DE BUSCA

A pesquisa foi conduzida no mês de julho de 2021, sendo incluídas todas as publicações até este período, recuperadas nas bases de dados da Publisher Medline (PubMed), Scopus, Web of Science, SportDiscus, Scientific Electronic Library On-line (SciELO) e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS). A estratégia de busca foi construída com bases nos descritores combinados com operadores booleanos nos idiomas inglês: *sports* OR *physical activity* OR *exercise*, AND *human evolution* OR

evolutionary; e português: esportes OU atividade física OU exercício E evolução humana OU evolutivo.

2.4 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO DOS ESTUDOS

Para responder à pergunta norteadora realizou-se uma busca na literatura, considerando os seguintes critérios de inclusão: textos completos de estudos originais, revisão e opinião publicados nos idiomas inglês e português com a temática da atividade física na perspectiva evolutiva. Foram excluídos relatórios de pesquisa, teses, dissertações e livros.

2.5 EXTRAÇÃO DOS DADOS

O processo de seleção e avaliação dos artigos foi realizado por dois revisores independentes e, em caso de discordância, um terceiro revisor foi solicitado para avaliar o artigo. Referências foram exportadas e as duplicadas encontradas nas bases de dados foram excluídas com auxílio do aplicativo Rayyan, desenvolvido pelo Qatar Computing Research Institute (OUZZANI et al., 2016).

2.6 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A análise e síntese dos dados extraídos dos artigos foram realizadas de forma descritiva, na qual foi possível observar, descrever e classificar os dados, com o objetivo de aglutinar o conhecimento produzido sobre o tema investigado na presente revisão.

2.7 ASPECTOS ÉTICOS

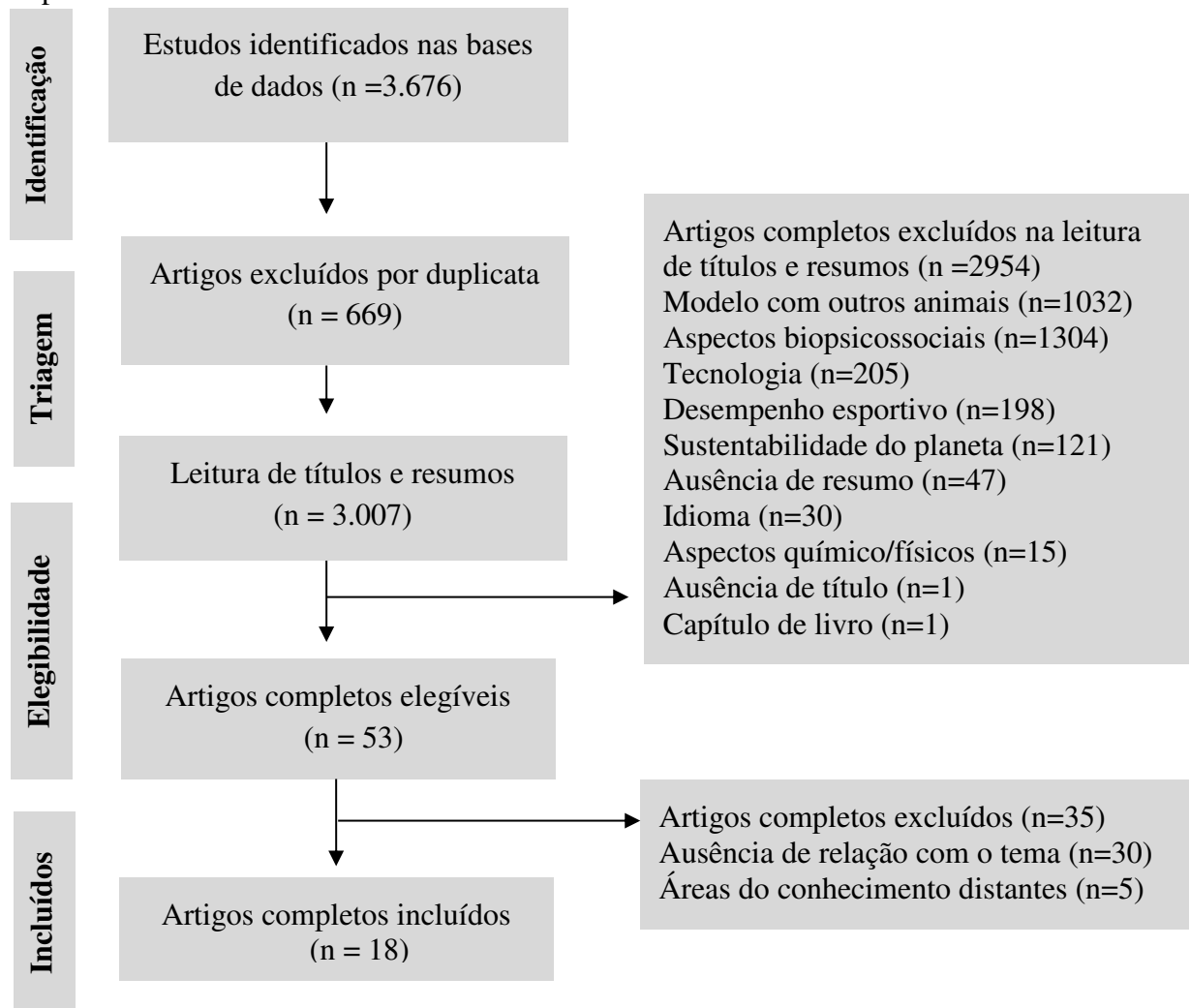
Os aspectos éticos foram respeitados na medida em que os autores das obras foram referenciados ao longo do estudo, de acordo com a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT), tendo assim os direitos autorais preservados de acordo com a Lei de direitos autorais 9.610/98 (BRASIL, 1998).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 QUANTITATIVO DA BUSCA SISTEMÁTICA

A busca na literatura identificou 3.676 estudos nas bases de dados, 669 foram excluídos por serem duplicados e 3.007 foram selecionados para leitura de títulos e resumos. Destes, 2.954 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão e exclusão do estudo. Após avaliação, 53 artigos foram selecionados para leitura na íntegra, e em seguida 35 estudos foram excluídos, resultando em 18 artigos incluídos. Dentre os motivos de exclusão dos artigos encontram-se a ausência de relação dos estudos com a temática de interesse (n=30) e pertencem a áreas do conhecimento distantes da temática de estudo (n=5) - Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de seleção dos estudos sobre a atividade física/exercício físico na perspectiva evolutiva.



3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS ESTUDOS

O quadro 1 apresenta as características gerais dos estudos que abordaram a temática de atividade física à luz da teoria evolutiva. Os estudos foram publicados entre os anos de 2004 a 2020, no idioma inglês e em sua maioria eram do tipo revisão (n=11), seguido de estudos originais (n=5) e de opinião (n=2). Dentre as áreas de conhecimento em que os estudos estão debruçados, encontram-se a Antropologia evolutiva (n=8), Biologia evolutiva (n=3), Saúde pública (n=3), Medicina esportiva (n=2), Educação física (n=1) e Biomedicina (n=1). Em relação ao assunto das pesquisas, a perspectiva da evolução, atividade física e saúde era o objeto de maior interesse (n=9), seguido da evolução e atividade física (n=3), evolução e saúde (n=2), evolução e atividade física e neurobiologia (n=2), evolução e esportes (n=1), evolução e metabolismo (n=1). Por fim, em relação ao tema, os estudos abordam

aspectos relacionados às concepções do processo saúde-doença, inatividade física, comportamento sedentário, metabolismo, estilo de vida, respostas fisiológicas e políticas públicas.

Quadro 1 - Caracterização dos estudos incluídos.

Autores (ano)	Tipo de estudo	Área de conhecimento	Assunto	Tema
Bramble e Lieberman (2004)	Revisão	Biologia Evolutiva	Evolução e AF	Relação entre evolução e <i>endurance running</i>
Raichlen e Polk (2012)	Revisão	Antropologia Evolutiva	Evolução, AF e Neurobiologia	Papel das demandas da AF no desenvolvimento da neurobiologia humana
Boullosa et al. (2013)	Opinião	Educação Física/Esportes	Evolução e Esporte	Treinamento esportivo a luz da abordagem evolutiva
Lightfoot (2013)	Revisão	Medicina Esportiva/AF	Evolução e AF	Regulação biológica do nível de AF
Lieberman (2015)	Revisão	Biologia Evolutiva	Evolução, AF e Saúde	Relação evolutiva entre AF e saúde
Raichlen et al. (2016)	Original	Antropologia Evolutiva	Evolução, AF e Saúde	Perfil de AF e saúde de caçadores-coletores
Lee et al. (2016)	Revisão	Saúde Pública	Evolução, AF e Saúde	Adesão à AF a luz da perspectiva evolutiva
Pontzer (2017)	Revisão	Antropologia Evolutiva	Evolução e AF	Relação entre evolução e <i>endurance running</i>
Raichlen e Alexander (2017)	Opinião	Antropologia Evolutiva	Evolução, AF e Neurobiologia	Efeitos da AF no cérebro por meio do Modelo ACM
Booth et al. (2017)	Revisão	Biomedicina	Evolução, AF e Saúde	Doenças crônicas e inatividade física a luz da perspectiva evolutiva
Pontzer (2018)	Revisão	Antropologia Evolutiva	Evolução e Metabolismo	Influências da AF sobre a saúde por meio do modelo energético “Constrained TEE”
Pontzer et al. (2018)	Revisão	Antropologia Evolutiva	Evolução e Saúde	Estilo de vida caçadores coletor como modelo de saúde pública
Grey et al. (2018)	Original	Saúde Pública	Evolução, AF e Saúde	Conscientização sobre AF a luz da perspectiva evolutiva

Shave et al. (2018)	Original	Medicina Esportiva	Evolução, AF e Saúde	Evolução do coração humano
Speakman (2019)	Revisão	Biologia Evolutiva	Evolução, AF e Saúde	Hipótese evolutiva sobre comportamento sedentário
Sayre et al. (2020)	Original	Antropologia Evolutiva	Evolução, AF e Saúde	AF e envelhecimento de caçadores-coletores
Raichlen et al. (2020)	Original	Antropologia Evolutiva	Evolução, AF e Saúde	Comportamento sedentário de caçadores-coletores
Gardner et al. (2020)	Revisão	Saúde Pública	Evolução e Saúde	Planejamento de políticas públicas através de uma perspectiva evolutiva

AF: atividade física. ACM: *Adaptive Capacity Model*. TEE: *Total Energy Expenditure*.

3.3 TECENDO AS RELAÇÕES ENTRE A BIOLOGIA EVOLUTIVA, SAÚDE E ATIVIDADE FÍSICA

A evolução é importante para compreender todas as áreas da biologia (EATON; CORDAIN, 2001), incluindo a biologia humana e seus desdobramentos, dentre eles a saúde e a atividade física. A biologia evolutiva revela as adaptações acumuladas na biologia do ser humano ao longo da sua evolução, que são características geneticamente determinadas que conferiram maior sucesso reprodutivo para a espécie e resultam da interação entre ser humano e ambiente (LIEBERMAN, 2013). Essa interação, durante os últimos dois milhões de anos aproximadamente, se deu por meio de um estilo de vida fundamentado na caça, na coleta e na cooperação - o estilo de vida “caçador-coletor”, mas se alterou drasticamente com o surgimento da agricultura, 10 mil anos atrás, da Revolução Industrial, 300 anos atrás, e da atual Revolução Tecnológica (LIEBERMAN, 2013).

Contudo, essas alterações transcorreram num intervalo de tempo curto em relação a escala de tempo da evolução biológica, que ocorre ao longo de milhares de anos, de modo que a biologia do ser humano hoje ainda é essencialmente a mesma daquela adaptada ao estilo de vida “caçador-coletor”.

Conhecer as adaptações da biologia humana é útil para analisar a temática da atividade física e saúde, assim como outros conceitos utilizados pela biologia evolutiva para explicar a vida na Terra (WELLS et al., 2017), que são aprofundados neste trabalho.

Os 18 artigos incluídos nessa revisão abordam o fenômeno da atividade física de forma ampla, dos quais emergiram 9 tópicos, que serão apresentados a seguir. A seleção dos tópicos foi feita com base na percepção da autora, que buscou apropriar-se da perspectiva evolutiva sobre atividade física para aproximá-la de questões pertinentes para área da Educação Física, como o papel da atividade física na formação da biologia humana e a origem evolutiva das respostas fisiológicas frente aos estímulos da atividade física.

3.3.1 Doenças associadas ao estilo de vida

A perspectiva evolutiva sugere que algumas condições com as quais convivemos hoje eram menos prevalentes ou severas no estilo de vida caçador-coletor (COLLINS, 2007). Registros fósseis indicam que osteoporose, artrose e cáries eram condições raras (LIEBERMAN, 2015), ao mesmo tempo que grupos de caçadores-coletores contemporâneos

apresentam excelentes marcadores de saúde metabólica e cardiovascular (PONTZER; WOOD; RAICHLEN, 2018).

A respeito do perfil de saúde de caçadores-coletores contemporâneos, pesquisas mostram excelentes marcadores de saúde metabólica, com prevalência próxima de 1% de diabetes tipo II ou sobrepeso (PONTZER; WOOD; RAICHLEN, 2018), e de saúde cardiovascular, com biomarcadores abaixo dos valores de risco (RAICHLEN et al., 2017). A expectativa de vida média é de 72 anos para aqueles que ultrapassam os 45, em razão da elevada taxa de mortalidade infantil e mortes por infecções e traumas. Ao longo do envelhecimento, são pouco acometidos por doenças crônicas, que configuram menos de 10% das causas de morte de indivíduos acima de 60 (PONTZER; WOOD; RAICHLEN, 2018) e mantêm uma capacidade funcional elevada até os últimos anos de vida, realizando mais de 150 minutos por dia de atividade física de intensidade moderada a vigorosa (SAYRE et al., 2020). A saúde de caçadores-coletores estaria relacionada ao estilo de vida e não à genética, uma vez que indivíduos que trocaram esse estilo de vida pelo das populações industrializadas desenvolveram as mesmas doenças nelas observadas (PONTZER; WOOD; RAICHLEN, 2018).

Com base nessas evidências, a *Mismatch Hypothesis* propõe que algumas doenças e condições patológicas, desde cáries até alguns tipos de câncer, são consequência de uma incompatibilidade entre a biologia do ser humano e o estilo de vida das populações industrializadas. Isso porque a biologia do ser humano ainda é essencialmente a mesma daquela adaptada ao estilo de vida caçador-coletor, que por sua vez difere drasticamente do estilo de vida das populações industrializadas (LIEBERMAN, 2015).

A *Mismatch Hypothesis* tem influenciado estudos na área da saúde que investigam as origens evolutivas de diversas doenças, como a osteoartrose (BERENBAUM et al., 2018), osteoporose (KRALICK; ZEMEL, 2020) e obesidade (SELLAYAH; CAGAMPANG; COX, 2014). Também tem influenciado gestores de saúde pública, que consideram que o estilo de vida caçador-coletor pode ser utilizado como uma referência para o planejamento de políticas de saúde pública (GARDNER; COLE; RYAN, 2020).

A hipótese sugere que os fatores de incompatibilidade entre a atual biologia do ser humano e o estilo de vida de populações industrializadas são inúmeros, mas dentre eles se destacam os hábitos de atividade física (PONTZER; WOOD; RAICHLEN, 2018; LIEBERMAN, 2015), objeto de estudo deste trabalho.

3.3.2 Perfil de atividade física compatível com a biologia humana

A maioria dos animais utiliza atividade física como parte da sua estratégia de subsistência (LIEBERMAN, 2015). Cada animal, porém, adota uma estratégia de sobrevivência particular e um padrão de atividade física correspondente. O último ancestral comum aos seres humanos e chimpanzés teria apresentado um estilo de vida pouco ativo, especializado em atividade física de potência e pouco adaptado para atividades de *endurance* (PONTZER, 2017). Enquanto os chimpanzés conservam esse estilo de vida até hoje, os seres humanos se afastaram dele (PONTZER, 2017), especialmente a partir da adoção do estilo de vida caçador-coletor, extremamente ativo e marcado pelas atividades de *endurance* (BRAMBLE; LIEBERMAN, 2004).

A respeito do perfil de atividade física e saúde de caçadores-coletores contemporâneos, pesquisas atuais realizadas com medidas objetivas como o frequencímetros e acelerômetros, mostram que a população de caçadores-coletores é ativa, despendendo em média 8 horas/dia em atividade física leve e mais de 200 min/dia em atividade física de intensidade moderada à vigorosa entre os indivíduos com idade até 40 anos, e mais de 150 min/dia entre os indivíduos com idade até 80 anos (SAYRE et al., 2020). Dentre as atividades realizadas diariamente destacam-se a caminhada (9 a 15 km/dia), o transporte de carga como caça, água e crianças e a corrida (PONTZER; WOOD; RAICHLEN, 2018). Os níveis de atividade física são semelhantes em ambos os sexos e se mantêm elevados ao longo de toda a vida, apesar da aptidão física decair linearmente com a idade (SAYRE et al., 2020).

A perspectiva evolutiva aponta que a biologia do ser humano está adaptada para um estilo de vida que envolve níveis elevados de atividade física de *endurance*, especialmente na forma de caminhada e corrida, de intensidade moderada, numa frequência regular, durante toda a vida (SAYRE et al., 2020; SHAVE et al., 2019; RAICHLEN; ALEXANDER, 2017). O comportamento de atividade física observado em caçadores-coletores contemporâneos é uma das evidências que compõem esse perfil, que se soma às adaptações multissistêmicas para atividade física de *endurance*, abordadas adiante deste trabalho.

A perspectiva evolutiva sugere que a biologia do ser humano está adaptada para sustentar volumes de atividade física muito acima dos 150 min/semana de atividades de intensidade moderada à vigorosa recomendados para a prevenção de doenças, que são superados em um único dia no estilo de vida caçador-coletor (PONTZER; WOOD; RAICHLEN, 2018). Ademais, pesquisadores das áreas do esporte e da saúde também

exploram estas relações, e sugerem que a resposta ao treinamento pode ser maior se os estímulos de treino forem semelhantes ao perfil de atividade física que moldou nossa biologia (BOULLOSA et al., 2013) e que o envelhecimento geneticamente programado só pode ser observado em indivíduos fisicamente ativos, uma vez que esta é a condição natural da biologia humana (HARRIDGE; LAZARUS, 2017).

3.3.3 Perfil de comportamento sedentário compatível com a biologia humana

Pesquisas atuais analisaram o comportamento sedentário de caçadores-coletores e o compararam com o de populações industrializadas. O comportamento sedentário dessas duas populações se mostrou semelhante, com tempo total de 9 horas/dia, tempo em cada período entre 11 e 15 minutos e número de transições entre 38 e 50 (RAICHLEN et al., 2020).

A principal diferença percebida foi a quantidade de ativação muscular mantida durante o período em comportamento sedentário, no qual caçadores-coletores adotam posturas que requerem de músculos dos membros inferiores ativação equivalente a 20-40% da atingida durante a marcha ou próxima da atingida na postura em pé. Tratam-se de posturas de solo que oscilam entre o quadril apoiado diretamente chão, apoiado em tocos ou pedras, ou elevado nas posturas de cócoras e de joelhos - raramente é observado apoio para o tronco (encosto). Por outro lado, a população industrializada vem adotando a postura sentada em cadeira ou objetos semelhantes, que envolvem menor ativação muscular (RAICHLEN et al., 2020).

A perspectiva evolutiva sugere que a biologia do ser humano está adaptada para ativação muscular constante, ou seja, durante todo o período acordado, inclusive quando em comportamento sedentário. Com base nisso, a *Inactivity Mismatch Hypothesis* sugere que há uma incompatibilidade entre a biologia do ser humano e os hábitos de comportamento sedentário adotados pela população industrializada atualmente.

A hipótese apresentada vai ao encontro de estudos que mostram a relação positiva entre o comportamento sedentário e doenças cardiovasculares independentemente do engajamento em atividade física moderadas a vigorosas (DUNSTAN; THORP; HEALY, 2011). Ao mesmo tempo, estudos mostram que incluir atividade física leve durante o comportamento sedentário pode reduzir os riscos de doenças (HAMILTON, 2017), sendo que a adoção de posturas semelhantes às dos caçadores-coletores parece ser uma alternativa.

3.3.4 Regulação biológica dos níveis de atividade física

As evidências que apontam a existência de genes responsáveis por regular os níveis de atividade física fortalecem a formulação de uma abordagem evolutiva sobre esse fenômeno (BOOTH et al., 2017).

Evitar a atividade física desnecessária, ou seja, aquela que não é imprescindível para realizar qualquer tarefa, é uma tendência observada em diversos animais, incluindo o homem, o que, sob uma perspectiva evolutiva, sugere que o comportamento sedentário foi fortemente selecionado (SPEAKMAN, 2019). Essa adaptação reduziria os níveis de atividade física, para economizar energia (LIEBERMAN, 2015) ou diminuir riscos como acidentes, lesões e exposição para predadores, e aumentar o sucesso reprodutivo (SPEAKMAN, 2019). Alguns animais, incluindo o homem, teriam inclusive desenvolvido algumas adaptações para contornar a forte tendência ao comportamento sedentário e encorajar a atividade física, por exemplo, os mecanismos cerebrais de recompensa à atividade física, entre eles os endocanabinoides (RAICHLEN; POLK, 2013).

Enquanto isso, a quantidade de energia aplicada em atividade física seria regulada em função das necessidades de manutenção e reprodução (LIGHTFOOT, 2013). Sobre a manutenção, a regulação se daria em função da disponibilidade de alimento ou de reservas energéticas, sendo que quanto maior a disponibilidade menor o nível de atividade física e vice-versa (LIGHTFOOT, 2013).

O encorajamento à atividade física para prevenir doenças está bem documentado na literatura (BULL, 2020; BRASIL, 2021), no entanto do ponto de vista estritamente biológico, a alternativa mais efetiva para atingir esse objetivo seria modificar o ambiente no sentido de tornar a atividade física novamente necessária (SPEAKMAN, 2020; LIEBERMAN, 2015), o que por sua vez parece pouco provável ou até mesmo desejável. Desse modo a redução do comportamento sedentário e a adesão à prática de atividades físicas parece depender, atualmente, mais dos aspectos psicossociais do que biológicos.

3.3.5 Adaptações musculoesqueléticas para atividade física de *endurance*

O surgimento do gênero homo é marcado pela aquisição de características que lhe conferiram uma capacidade multissistêmica para atividade física de *endurance*, especialmente na forma de corrida (SHAVE et al., 2019). O ser humano é um sprinter medíocre quando comparado com outros animais, sendo especializado em corrida de *endurance*, incomum entre os mamíferos e um caso único entre primatas (PONTZER, 2017; BRAMBLE; LIEBERMAN,

2004). Aparentemente a corrida de *endurance* teve um papel fundamental no surgimento do gênero homo (PONTZER, 2017), moldando sua biologia e influenciando sua história.

Dentre as inúmeras adaptações musculoesqueléticas e tegumentares específicas para a corrida de *endurance* temos o arco plantar, a distribuição das fibras musculares, o formato dos ossos, o comprimento dos membros, a distribuição da massa corporal, os mecanismos de estabilização do tronco e do crânio e a termorregulação através da pele e da respiração (BRAMBLE; LIEBERMAN, 2004). Essas e outras adaptações específicas para a *endurance* running afastaram a morfologia dos seres humanos daquela dos outros primatas e a aproximaram da morfologia do ser humano moderno (BRAMBLE; LIEBERMAN, 2004).

A literatura aponta que as adaptações para a corrida *endurance* surgiram simultaneamente à inserção da carne na dieta, sugerindo uma relação entre esses eventos (PONTZER, 2017). A inserção da carne na dieta é considerada um evento determinante na história espécie humana e portanto, teria sido a pressão seletiva sobre as adaptações para a corrida de *endurance*, que teria apoiado a estratégia de caça dos caçadores-coletores até a criação de ferramentas auxiliares, cujos primeiros registros datam de 500 mil anos atrás (LIEBERMAN, 2015). Essa estratégia de caça, também chamada de *persistence hunting*, quando praticada por seres humanos consiste em perseguir a presa ao meio dia, numa velocidade que a force a galopar e, impossibilitada de termorregular, colapse por hipertermia. Percorre-se em média 30 km, metade do tempo correndo, a outra metade caminhando (BRAMBLE; LIEBERMAN, 2004).

A perspectiva evolutiva revela como a atividade física de *endurance* influenciou a biologia e a história da espécie humana e tem orientado estudos na área da saúde, que abordam as origens (RUTKOWSKA-TALIPSKA et al., 2019) e os benefícios da atividade física (GORDON, 2019), e na área do treinamento esportivo, que passaram a compreender a corrida como um padrão de movimento ancestral (KIELLY, 2017).

3.3.6 Adaptações cardíacas para atividade física de *endurance*

O coração do ser humano também apresenta adaptações específicas para aumentar sua capacidade de *endurance*, entre elas a sua forma, volume, espessura, débito cardíaco e velocidade de contração (SHAVE et al., 2019). Essas e outras adaptações para *endurance* afastaram a morfologia e fisiologia do coração do ser humano da morfologia e fisiologia do coração dos outros primatas e a aproximaram da morfologia e fisiologia do coração tipicamente humano (SHAVE et al., 2019).

Contudo, o coração do ser humano apresenta uma plasticidade fenotípica (SHAVE et al., 2019), ou seja, varia suas características se alteram dependendo do estímulo que recebe, entre eles os da atividade física. O intervalo fenotípico do coração está entre o fenótipo que reúne características que favorecem a *endurance* (capacidade ou volume) e o fenótipo que reúne características que favorecem a potência (intensidade) (SHAVE et al., 2019), que por sua vez predispõe doenças cardiovasculares (GROSSMAN; JONES; MCLAURIN, 1975) e é semelhante ao coração de outros primatas, como os chimpanzés (SHAVE et al., 2019).

A perspectiva evolutiva sugere uma explicação para esse fenômeno, na qual o último ancestral comum aos seres humanos e chimpanzés teria tido um coração adaptado para atividade física de potência e, enquanto o coração dos chimpanzés conserva essa característica até hoje, o coração dos seres humanos adquiriu adaptações para aumentar sua capacidade de *endurance*, mas conservou uma plasticidade fenotípica que, dependendo do estímulo, expressa o fenótipo anterior (SHAVE et al., 2019). Atividade física de *endurance* de intensidade moderada estimulam o fenótipo adaptado para *endurance*, enquanto atividade física exclusivamente de força ou potência, ou ainda um quadro de hipertensão, estimulam o fenótipo adaptado para potência.

A abordagem evolutiva, portanto, fornece uma explicação para os efeitos da atividade física de *endurance* sobre a resposta cardíaca e sobre a saúde cardiovascular (WILMORE; KNUTTGEN, 2003). Além disso, reforça a hipótese de que o organismo responde mais ou melhor a estímulos semelhantes àqueles que moldaram nossa biologia e aos quais estamos adaptados (SHAVE et al., 2019; RAICHLIN; ALEXANDER, 2017; BOULLOSA et al., 2013).

3.3.7 Respostas fisiológicas aos níveis de atividade física

As evidências que apontam que as respostas ao exercício são geneticamente determinadas fortalecem a formulação de uma abordagem evolutiva sobre esse fenômeno (BOOTH et al., 2017).

Um dos eixos da biologia evolutiva, o *Energy Allocation Model*, é um modelo energético que determina que os organismos vivos distribuem uma quantidade finita de energia entre as funções de crescimento, manutenção e reprodução, que por sua vez competem entre si (PERRIN; SIBLY, 1993). A perspectiva evolutiva sugere que os sistemas fisiologicamente demandantes, cujos custos de manutenção são proporcionais à capacidade, estariam adaptados para ajustar sua capacidade em função da demanda (WEIBEL; TAYLOR;

HOPPELER, 1991), economizando uma energia que seria realocada para funções reprodutivas (PERRIN; SIBLY, 1993). Um dos estímulos que regula alguns sistemas é a atividade física, que impõe a demanda e determina a capacidade (LIEBERMAN, 2015).

A perspectiva evolutiva sugere portanto, que algumas respostas fisiológicas aos níveis de atividade física tratam-se de adaptações (RAICHLEN; ALEXANDER, 2017), por exemplo, o fenômeno de redução da capacidade dos sistemas fisiológicos que ocorre em resposta às reduções nos níveis de atividade física seria uma característica selecionada para aumentar o sucesso reprodutivo (RAICHLEN; ALEXANDER, 2017). Essa característica pode ser associada tanto ao princípio da reversibilidade do treinamento físico (MUJICA; PADILLA, 2000), quanto a algumas doenças, nas quais níveis cronicamente baixos de atividade física acabam reduzindo cronicamente a capacidade de alguns sistemas fisiológicos a ponto de predispor condições patológicas (LIEBERMAN, 2015). Alguns dos sistemas fortemente regulados pelos níveis de atividade física são o musculoesquelético, o cardiovascular e o nervoso, esse último, por sua vez, é aprofundado no próximo tópico.

3.3.8 Adaptações neurológicas para a atividade física de *endurance*

O processo de encefalização ocorreu simultaneamente ao surgimento de adaptações para atividade física de *endurance* e à inserção da carne na dieta, sugerindo que esses eventos estão associados. O acesso à proteína e gordura animal é considerado um evento determinante na história da espécie humana (BRAMBLE; LIEBERMAN, 2004) e portanto, teria exercido uma pressão seletiva sobre as demais adaptações (RAICHLEN; ALEXANDER, 2017). A abordagem evolutiva sugere que a estratégia de caça utilizada por caçadores-coletores requeria uma elevada capacidade de *endurance*, especialmente na forma de corrida, e uma elevada capacidade cognitiva, tanto para o processamento motor, quanto para a memorização e interpretação de informações do ambiente (RAICHLEN; ALEXANDER, 2017).

A perspectiva evolutiva, por meio do *Adaptive Capacity Model*, sugere que a atividade de caça não apenas demandou o aumento das capacidades físicas e cognitivas, mas também exigiu a conciliação entre elas, criando uma forte associação atividade física e atividade cognitiva. Por isso o cérebro responde aos estímulos da atividade física (neuroplasticidade) e, assim como outros sistemas fisiológicos energeticamente custosos, também está adaptado para ajustar sua capacidade em função da demanda imposta pela atividade física, de modo que níveis cronicamente baixos de atividade física impactariam negativamente a saúde do cérebro. O modelo ainda propõe que estímulos que se aproximam

das demandas físicas e cognitivas da caça teriam maiores chances de gerar resposta neural, por exemplo AF de *endurance* de intensidade moderada, longa duração, preferencialmente com alguma complexidade, de modo a demandar maior processamento, por exemplo fora de máquinas, interagindo com o ambiente e variando o contexto (RAICHLEN; ALEXANDER, 2017).

Evidências indicam que o exercício físico induz neurogênese e neuroplasticidade no cérebro adulto (LISTA; SORRENTINO, 2009), e tem se mostrado um recurso efetivo na promoção da saúde cerebral e na prevenção e tratamento de condições e doenças neurais (PETZINGER et al., 2013). A perspectiva evolutiva tem auxiliado as áreas da neurociência (SCHULKIN, 2016; MATTSON, 2012) e da atividade física (VORKAPIC-FERREIRA et al., 2017) na compreensão da associação entre atividade física e função cerebral.

3.3.9 Atividade física e gasto energético total

O gasto energético total (GET) de caçadores-coletores é semelhante ao GET de populações industrializadas, apesar da grande diferença entre os níveis de atividade física nesses dois estilos de vida (PONTZER et al., 2015). Essa constatação deu origem ao *Constrained Total Energy Expenditure Model* (PONTZER, 2015), um modelo energético que se opõe ao modelo energético tradicional, ou aditivo.

Enquanto o modelo aditivo propõe que quanto maior for o nível de atividade física maiores serão a energia gasta com atividade física e o GET (PLASQUI; BONOMI; WESTERTERP, 2013), o *Constrained Total Energy Expenditure Model* propõe que aumentos nos níveis de atividade física geram aumentos na energia gasta com atividade física, mas que ela rapidamente atinge um platô e pouco interfere no GET (PONTZER et al., 2016). Em outras palavras, o modelo sugere que o organismo regula homeosticamente o GET dentro de um intervalo estreito (PONTZER et al., 2016).

Figura 2 - Esquema dos modelos de gasto energético total aditivo e constrito.



Fonte: extraída do artigo de Pontzer et al. (2016).

A perspectiva evolutiva sugere que os seres se desenvolvem num contexto de escassez energética, de modo que restringir o GET dentro de um intervalo restrito teria sido uma adaptação (PONTZER, 2018). Os organismos vivos distribuiriam o GET entre as funções de crescimento, manutenção e reprodução, e estariam adaptados para economizar energia nas funções de crescimento e manutenção para realocá-la nas funções reprodutivas (PONTZER, 2018). No estilo de vida caçador-coletor os elevados níveis de atividade física consumiam boa parte do GET, enquanto no estilo de vida das populações industrializadas os níveis cronicamente baixos de atividades físicas estariam deixando livre um excedente de energia, que por sua vez estaria sendo aplicado em funções fisiológicas não essenciais, por exemplo no sistema imune, gerando inflamação crônica e no sistema nervoso autônomo simpático, aumentando as respostas ao estresse (PONTZER, 2018).

Diante do exposto, podemos sugerir que o modelo pode ser útil para explicar alguns fenômenos, como a fraca correlação entre emagrecimento e atividades físicas assinalado em alguns estudos (THOMAS et al., 2012), a rápida perda de peso ao iniciar um programa de atividade física seguida da dificuldade em manter essas perdas com o passar do tempo (WING; HILL, 2001) e a amenorréia em atletas (PARDINI, 2001), cuja quantidade de energia alocada em atividades físicas reduziria a energia disponível para funções reprodutivas.

4 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A revisão demonstrou a relação entre a teoria da evolução e o fenômeno da atividade física. As abordagens evolutivas permitem compreender a formação da biologia do ser humano, que está atrelada aos hábitos de atividade física dos seus ancestrais, e podem auxiliar na compreensão de fenômenos observados hoje, desde as respostas do organismo frente aos estímulos da atividade física até os desafios enfrentados em escala populacional frente a um estilo de vida que não mais requer os mesmos níveis de atividade física que moldaram a biologia do ser humano. Na área da pesquisa, ela pode apontar direções auxiliando a identificar os estímulos de atividade física que melhor se adequam a biologia do ser humano e/ou que geram mais respostas (SHAVE et al., 2019; RAICHLEN; ALEXANDER, 2017; BOULLOSA et al., 2013).

Retomando a frase que iniciou esse trabalho, “nada na biologia faz sentido senão sob a luz da evolução” (DOBZHANSKY, 1973), educadores defendem o ensino da teoria evolutiva nas escolas (DALAPICOLLA; SILVA; GARCIA, 2015; ZAMBERLAN; SILVA, 2012; TIDON; VIEIRA, 2009) e nos cursos de ensino superior que tratam da biologia humana

(DIOGO; MOLNAR, 2016; ROSA; PINHEIRO, 2015; GOEDERT, 2004). Esse trabalho, por sua vez, sugere que ela seja incluída na formação dos profissionais da atividade física, tendo em vista a sua contribuição para entender o fenômeno da atividade física, desde a sua origem até como ela se apresenta atualmente. Finalmente gostaríamos de observar que, na intenção de conservar um caráter generalista, o trabalho não incluiu, salvo algumas exceções, temas específicos dentro dos domínios da saúde e da atividade física, mas ressalta que na literatura há abordagens evolutivas para os mais diversos temas da biologia humana e deixa o convite para pesquisadores e profissionais da atividade física considerarem incluir uma abordagem evolutiva dentro dos seus campos de interesse.

REFERÊNCIAS

- BERENBAUM, Francis; WALLACE, Ian J.; LIEBERMAN, Daniel E.; FELSON, David T.. **Modern-day environmental factors in the pathogenesis of osteoarthritis**. Nature Reviews Rheumatology, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 674-681, 12 set. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41584-018-0073-x>.
- BOOTH, Frank W.; ROBERTS, Christian K.; THYFAULT, John P.; RUEGSEGGER, Gregory N.; TOEDEBUSCH, Ryan G.. **Role of Inactivity in Chronic Diseases: evolutionary insight and pathophysiological mechanisms**. Physiological Reviews, [S.L.], v. 97, n. 4, p. 1351-1402, 1 out. 2017. American Physiological Society. <http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00019.2016>.
- BOULLOSA, Daniel A.; ABREU, Laurinda; VARELA-SANZ, Adrián; MUJICA, Iñigo. **Do Olympic Athletes Train as in the Paleolithic Era?** Sports Medicine, [S.L.], v. 43, n. 10, p. 909-917, 20 ago. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-013-0086-1>.
- BRAMBLE, Dennis M.; LIEBERMAN, Daniel E.. **Endurance running and the evolution of Homo**. Nature, [S.L.], v. 432, n. 7015, p. 345-352, nov. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature03052>.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Primária à Saúde. Departamento de Promoção da Saúde. **Guia de Atividade Física para a População Brasileira** [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção Primária à Saúde, Departamento de Promoção da Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2021.
- BULL, Fiona C; AL-ANSARI, Salih s; BIDDLE, Stuart; BORODULIN, Katja; BUMAN, Matthew P; CARDON, Greet; CARTY, Catherine; CHAPUT, Jean-Philippe; CHASTIN, Sebastien; CHOU, Roger. **World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour**. British Journal Of Sports Medicine, [S.L.], v. 54, n. 24, p. 1451-1462, 25 nov. 2020. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>.
- COLLINS, Christopher. **Said Another Way**. Nursing Forum, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 39-44, jan. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-6198.2007.00064.x>.
- DALAPICOLLA, Jeronimo; SILVA, Victor de Almeida; GARCIA, Junia Freguglia Machado. **EVOLUÇÃO BIOLÓGICA COMO EIXO INTEGRADOR DA BIOLOGIA EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), [S.L.], v. 17, n. 1, p. 150-173, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-211720175170107>.

DIOGO, Rui; MOLNAR, Julia. **Links between Evolution, Development, Human Anatomy, Pathology, and Medicine, with A Proposition of A Re-defined Anatomical Position and Notes on Constraints and Morphological “Imperfections”**. Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution, v. 326, n. 4, p. 215-224, 2016.

DOBZHANSKY, Theodosius. **Nothing in Biology Makes Sense except in the Light of Evolution**. The American Biology Teacher, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 125-129, 1 mar. 1973. University of California Press. <http://dx.doi.org/10.2307/4444260>.

DUNSTAN, David W.; THORP, Alicia A.; HEALY, Genevieve N.. **Prolonged sitting**. Current Opinion In Cardiology, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 412-419, set. 2011. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1097/hco.0b013e3283496605>.

EATON, S. B.; CORDAIN, Loren. **An evolutionary foundation for health promotion**. Nutrition and Fitness: Metabolic Studies in Health and Disease, v. 90, p. 5-12, 2001.

GARDNER, Charles; COLE, Donald C.; RYAN, Loretta. **Public health for the hunter-gatherer in us all**. Canadian Journal Of Public Health, [S.L.], v. 111, n. 5, p. 701-704, 6 ago. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.17269/s41997-020-00341-2>.

GOEDERT, Lidiane et al. **A formação do professor de biologia na UFSC e o ensino da evolução biológica**. 2004.

GORDON, Scott E.. **Fitting into Our Genes: evolutionary theory of the health benefits of physical activity**. Quest, [S.L.], v. 71, n. 4, p. 375-386, 11 set. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00336297.2019.1656652>.

GREY, Elisabeth B; GILLISON, Fiona B; THOMPSON, Dylan. **Can evolutionary mismatch help generate interest in health promotion messages?** Health Education Journal, [S.L.], v. 77, n. 5, p. 515-526, 29 jan. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0017896918754923>.

GROSSMAN, W; JONES, D; MCLAURIN, L P. **Wall stress and patterns of hypertrophy in the human left ventricle**. Journal Of Clinical Investigation, [S.L.], v. 56, n. 1, p. 56-64, 1 jul. 1975. American Society for Clinical Investigation. <http://dx.doi.org/10.1172/jci108079>.

HAMILTON, Marc T. **The role of skeletal muscle contractile duration throughout the whole day: reducing sedentary time and promoting universal physical activity in all people**. The Journal Of Physiology, [S.L.], v. 596, n. 8, p. 1331-1340, 26 jul. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1113/jp273284>.

HARRIDGE, Stephen D. R.; LAZARUS, Norman R.. **Physical Activity, Aging, and Physiological Function**. *Physiology*, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 152-161, mar. 2017. American Physiological Society. <http://dx.doi.org/10.1152/physiol.00029.2016>.

KIELY, John. **The robust running ape**: unraveling the deep underpinnings of coordinated human running proficiency. *Frontiers in Psychology*, v. 8, p. 892, 2017.

KRALICK, Alexandra E.; ZEMEL, Babette S. **Evolutionary perspectives on the developing skeleton and implications for lifelong health**. *Frontiers in endocrinology*, v. 11, p. 99, 2020.

LIEBERMAN, Daniel E. **Is Exercise Really Medicine?** An Evolutionary Perspective. *Current Sports Medicine Reports*, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 313-319, 2015. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1249/jsr.0000000000000168>.

LIEBERMAN, Daniel. **The story of the human body: evolution, health, and disease**. Vintage, 2014.

LIGHTFOOT, J. Timothy. **Why Control Activity? Evolutionary Selection Pressures Affecting the Development of Physical Activity Genetic and Biological Regulation**. *Biomed Research International*, [S.L.], v. 2013, p. 1-10, 2013. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/821678>.

LISTA, I.; SORRENTINO, G. **Biological Mechanisms of Physical Activity in Preventing Cognitive Decline**. *Cellular And Molecular Neurobiology*, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 493-503, 30 dez. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10571-009-9488-x>.

MATTSON, Mark P. **Evolutionary aspects of human exercise**—Born to run purposefully. *Ageing Research Reviews*, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 347-352, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arr.2012.01.007>.

MUJIK, I?Igo; PADILLA, Sabino. **Detraining**: loss of training-induced physiological and performance adaptations. part i. *Sports Medicine*, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 79-87, 2000. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200030020-00002>.

OUZZANI, Mourad; HAMMADY, Hossam; FEDOROWICZ, Zbys; ELMAGARMID, Ahmed. **Rayyan**—a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 5-210, dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>.

PARDINI, Dolores P.. **Alterações hormonais da mulher atleta**. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, [S.L.], v. 45, n. 4, p. 343-351, ago. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0004-27302001000400006>.

PERRIN, Nicolas; SIBLY, Richard M.. **Dynamic Models of Energy Allocation and Investment**. Annual Review Of Ecology And Systematics, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 379-410, nov. 1993. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.24.110193.002115>.

PETZINGER, Giselle M; FISHER, Beth e; MCEWEN, Sarah; A BEELER, Jeff; WALSH, John P; JAKOWEC, Michael W. **Exercise-enhanced neuroplasticity targeting motor and cognitive circuitry in Parkinson's disease**. The Lancet Neurology, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 716-726, jul. 2013. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1474-4422\(13\)70123-6](http://dx.doi.org/10.1016/s1474-4422(13)70123-6).

PLASQUI, G.; BONOMI, A. G.; WESTERTERP, K. R.. **Daily physical activity assessment with accelerometers: new insights and validation studies**. Obesity Reviews, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 451-462, 7 fev. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/obr.12021>.

PONTZER, H.; WOOD, B. M.; RAICHLLEN, D. A.. **Hunter-gatherers as models in public health**. Obesity Reviews, [S.L.], v. 19, p. 24-35, dez. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/obr.12785>.

PONTZER, Herman. **Constrained Total Energy Expenditure and the Evolutionary Biology of Energy Balance**. Exercise And Sport Sciences Reviews, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 110-116, jul. 2015. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1249/jes.0000000000000048>.

PONTZER, Herman. **Economy and Endurance in Human Evolution**. Current Biology, [S.L.], v. 27, n. 12, p. 613-621, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.031>.

PONTZER, Herman. **Energy Constraint as a Novel Mechanism Linking Exercise and Health**. Physiology, [S.L.], v. 33, n. 6, p. 384-393, 1 nov. 2018. American Physiological Society. <http://dx.doi.org/10.1152/physiol.00027.2018>.

PONTZER, Herman. **Metabolism myths**. New Scientist, [S.L.], v. 249, n. 3323, p. 32-36, fev. 2021. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0262-4079\(21\)00332-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0262-4079(21)00332-8).

PONTZER, Herman; DURAZO-ARVIZU, Ramon; DUGAS, Lara R.; PLANGE-RHULE, Jacob; BOVET, Pascal; FORRESTER, Terrence E.; LAMBERT, Estelle V.; COOPER, Richard S.; SCHOELLER, Dale A.; LUKE, Amy. **Constrained Total Energy Expenditure and Metabolic Adaptation to Physical Activity in Adult Humans**. Current Biology, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 410-417, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.046>.

PONTZER, Herman; RAICHLLEN, David A.; WOOD, Brian M.; THOMPSON, Melissa Emery; RACETTE, Susan B.; MABULLA, Audax Z.P.; MARLOWE, Frank W.. **Energy expenditure and activity among Hadza hunter-gatherers**. American Journal Of Human Biology, [S.L.], v. 27, n. 5, p. 628-637, 30 mar. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ajhb.22711>.

RAICHLLEN, David A. et al. **Physical activity patterns and biomarkers of cardiovascular disease risk in hunter-gatherers**. American Journal of Human Biology, v. 29, n. 2, p. e22919, 2017.

RAICHLLEN, David A.; ALEXANDER, Gene E.. **Adaptive Capacity**: an evolutionary neuroscience model linking exercise, cognition, and brain health. Trends In Neurosciences, [S.L.], v. 40, n. 7, p. 408-421, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tins.2017.05.001>.

RAICHLLEN, David A.; POLK, John D.. **Linking brains and brawn**: exercise and the evolution of human neurobiology. Proceedings Of The Royal Society B: Biological Sciences, [S.L.], v. 280, n. 1750, p. 20122250, 7 jan. 2013. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2250>.

RAICHLLEN, David A.; PONTZER, Herman; ZDERIC, Theodore W.; HARRIS, Jacob A.; MABULLA, Audax Z. P.; HAMILTON, Marc T.; WOOD, Brian M.. **Sitting, squatting, and the evolutionary biology of human inactivity**. Proceedings Of The National Academy Of Sciences, [S.L.], v. 117, n. 13, p. 7115-7121, 9 mar. 2020. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1911868117>.

ROSA, Cristiane; PINHEIRO, Felipe Lima. **DIFICULDADES NO ENSINO-APRENDIZAGEM DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA A NÍVEL SUPERIOR PODEM TER ORIGEM NA EDUCAÇÃO BÁSICA?**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 7, n. 3, 2015.

RUTKOWSKA-TALIPSKA, Joanna et al. **What made us physically active?** Part II. Polish Annals of Medicine, v. 26, n. 1, 2019.

SAYRE, M. Katherine; PONTZER, Herman; ALEXANDER, Gene E.; WOOD, Brian M.; PIKE, Ivy L.; MABULLA, Audax Z. P.; RAICHLLEN, David A.. **Ageing and physical function in East African foragers and pastoralists**. Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences, [S.L.], v. 375, n. 1811, p. 20190608, 21 set. 2020. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0608>.

SCHULKIN, Jay. **Evolutionary basis of human running and its impact on neural function**. Frontiers in systems neuroscience, v. 10, p. 59, 2016.

SCLIAR, Moacyr. **História do conceito de saúde**. Physis: Revista de saúde coletiva, v. 17, n. 1, p. 29-41, 2007.

SELLAYAH, Dyan; CAGAMPANG, Felino R.; COX, Roger D.. **On the Evolutionary Origins of Obesity**: a new hypothesis. Endocrinology, [S.L.], v. 155, n. 5, p. 1573-1588, 1 maio 2014. The Endocrine Society. <http://dx.doi.org/10.1210/en.2013-2103>.

SHAVE, Robert E.; LIEBERMAN, Daniel E.; DRANE, Aimee L.; BROWN, Marcel G.; BATTERHAM, Alan M.; WORTHINGTON, Steven; ATENCIA, Rebeca; FELTRER, Yedra; NEARY, Jennifer; WEINER, Rory B.. **Selection of *endurance* capabilities and the trade-off between pressure and volume in the evolution of the human heart.** Proceedings Of The National Academy Of Sciences, [S.L.], v. 116, n. 40, p. 19905-19910, 16 set. 2019. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1906902116>.

SPEAKMAN, John R.. **An Evolutionary Perspective on Sedentary Behavior.** Bioessays, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 1900156, 12 dez. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/bies.201900156>.

THOMAS, D. M.; BOUCHARD, C.; CHURCH, T.; SLENTZ, C.; KRAUS, W. E.; REDMAN, L. M.; MARTIN, C. K.; SILVA, A. M.; VOSSEN, M.; WESTERTERP, K.. **Why do individuals not lose more weight from an exercise intervention at a defined dose? An energy balance analysis.** Obesity Reviews, [S.L.], v. 13, n. 10, p. 835-847, 11 jun. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-789x.2012.01012.x>.

TIDON, Rosana; VIEIRA, Eli. **O ensino da evolução biológica: um desafio para o século XXI.** ComCiência, n. 107, p. 0-0, 2009.

VORKAPIC-FERREIRA, Camila; GÓIS, Rayanne Souza; GOMES, Luis Paulo; BRITTO, Andre; AFRÂNIO, Bastos; DANTAS, Estélio Henrique Martins. **NASCIDOS PARA CORRER: a importância do exercício para a saúde do cérebro.** Revista Brasileira de Medicina do Esporte, [S.L.], v. 23, n. 6, p. 495-503, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1517-869220172306175209>.

WEIBEL, E. R.; TAYLOR, C. R.; HOPPELER, H.. **The concept of symmorphosis: a testable hypothesis of structure-function relationship.** Proceedings Of The National Academy Of Sciences, [S.L.], v. 88, n. 22, p. 10357-10361, 15 nov. 1991. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.88.22.10357>.

WELLS, Jonathan C K; NESSE, Randolph M; SEAR, Rebecca; A JOHNSTONE, Rufus; STEARNS, Stephen C. **Evolutionary public health: introducing the concept.** The Lancet, [S.L.], v. 390, n. 10093, p. 500-509, jul. 2017. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)30572-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(17)30572-x).

WILMORE, Jack H.; KNUTTGEN, Howard G.. **Aerobic Exercise and *Endurance*.** The Physician And Sportsmedicine, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 45-51, maio 2003. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.3810/psm.2003.05.367>.

WING, Rena R; HILL, James O. **SUCCESSFUL WEIGHTLOSS MAINTENANCE.** Annual Review Of Nutrition, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 323-341, jul. 2001. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.nutr.21.1.323>.

ZAMBERLAN, E. S. J; SILVA, M. R. **O ensino de evolução biológica e sua abordagem em livros didáticos.** Educação & Realidade, v. 37, p. 187-212, 2012.