ALEXANDRE DE PAIVA LUCIANO

NA DOSE CERTA

A IMPORTÂNCIA DO EXERCÍCIO FÍSICO NA PREVENÇÃO E NO TRATAMENTO DAS DOENÇAS MUSCULOESQUELÉTICAS

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS E APLICAÇÃO CLÍNICA



edUNITAU

ALEXANDRE DE PAIVA LUCIANO

NA DOSE CERTA

A IMPORTÂNCIA DO EXERCÍCIO FÍSICO NA PREVENÇÃO E NO TRATAMENTO DAS DOENÇAS MUSCULOESQUELÉTICAS

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS E APLICAÇÃO CLÍNICA

edUNITAU
EDITORA DA UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Taubaté-SP
2026

EXPEDIENTE

edUNITAU - Editora da Universidade de Taubaté

Presidente

| Pró-reitora de Extensão: Profa. Dra. Alexandra Magna Rodrigues

Conselho Editorial

| Assessor de Difusão Cultural: Prof. Dr. Mauro Castilho Gonçalves
| Coordenadora do Sistema Integrado de Bibliotecas: Shirlei de Moura Righeti
| Representante da Pró-reitoria de Graduação: Profa. Dra. Emari Andrade
| Representante da Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação: Profa. Dra. Monica Franchi Carniello
| Área de Biociências: Profa. Dra. Eliane Stevanato
| Área de Exatas: Profa. Dra. Kátia Celina da Silva Richetto
| Área de Humanas: Prof. Dr. Fernando Gentil Gizzi de Almeida Pedroso

Consultoria Ad hoc (link equipe consultores)

| Representante: Profa. Dra. Adriana Leônidas de Oliveira (Universidade de Taubaté)

Equipe Técnica

| Coordenador de Produção Editorial: Alessandro Squarcini
| Grupo de Estudos em Língua Portuguesa – GELP
| Sistema Integrado de Bibliotecas - SiBI

Avaliação, parecer e revisão por pares

| Esta obra foi avaliada por pares e indicada para publicação

Projeto Gráfico

| Capa: Alessandro Squarcini - NDG/UNITAU
| Diagramação: Rafael Campos de Jesus - NDG/UNITAU
| Revisão: Alexandre de Paiva Luciano
| Impressão: Eletrônica - E-book

Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi/ UNITAU
Grupo Especial de Tratamento da Informação – GETI

Luciano, Alexandre de Paiva
L937n Na dose certa : a importância do exercício físico na prevenção e no tratamento das doenças musculoesqueléticas : fundamentos científicos e aplicação clínica [recurso eletrônico] / Alexandre de Paiva Luciano. – Dados eletrônicos. – Taubaté: EdUnitau, 2026.
1 recurso online (165 p.).

Formato: PDF
Requisitos do sistema: Adobe
Modo de acesso: world wide web

ISBN: 978-85-9561-246-4 (online)

1. Exercício físico. 2.Terapia por exercícios. 3. Envelhecimento. 4. Doenças musculoesqueléticas. 5. Promoção da saúde. I. Título.

CDD – 613.71

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ana Beatriz Ramos – CRB-8/6318

Índice para Catálogo sistemático

Exercício físico – 613.71
Terapia por exercícios – 615.82
Envelhecimento – 618.97
Doenças musculoesqueléticas – 616.7
Promoção da saúde – 613

https://doi.org/10.66717/9788595612464

Copyright © by Editora da UNITAU, 2026
Nenhuma parte desta publicação pode ser gravada, armazenada em sistema eletrônico, fotocopiada, reproduzida por meios mecânicos ou outros quaisquer sem autorização prévia do editor.

Editora afiliada:
ABEC BRASIL
Associação Brasileira de Editores Científicos

NOTA DE RESPONSABILIDADE

O presente livro destina-se a profissionais da área da saúde e foi elaborado com base em evidências científicas disponíveis à época de sua publicação. As informações aqui apresentadas não substituem o julgamento clínico individualizado, devendo ser interpretadas à luz das características específicas de cada paciente, bem como das diretrizes vigentes e da prática assistencial atual.

O autor não se responsabiliza pelo uso inadequado das informações aqui contidas, ressaltando que a prescrição de exercícios constitui ato clínico que requer avaliação individualizada.

SUMÁRIO

PREFÁCIO.....08

APRESENTAÇÃO.....11

INTRODUÇÃO.....13

PARTE I – FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS E CONCEITUAIS.....15

1. Evolução da locomoção humana e economia biológica de energia.....16

2. Princípios da anatomia e fisiologia aplicadas à prescrição do exercício.....23

2.1 Mecanismo e tipos de Contração muscular.....24

2.2 Sistemas metabólicos de geração de energia.....27

2.3 Tipos de fibra muscular e suas características adaptativas com o treinamento.....37

2.4 Memória muscular como expressão das adaptações fisiológicas do treinamento.....43

3. Conceitos fundamentais.....45

3.1 Sedentarismo, Inatividade Física, Atividade Física e Exercícios: Conceitos e Terminologia....45

3.2 Métodos de Avaliação do Nível de Atividade física.....48

3.3 Relação dose–resposta no Exercício Terapêutico.....50

4. Recomendações atuais de atividade física para manutenção da saúde corporal e mental.....56

4.1 Diretrizes internacionais.....57

4.2 Interpretação clínica crítica: Diretrizes Globais e Especificidade Musculoesquelética.....61

4.3 Novos horizontes – a evolução das Diretrizes de Atividade Física: da Ciência de Volume à Medicina humanizada.....62

PARTE II – APLICAÇÃO CLÍNICA NAS PRINCIPAIS CONDIÇÕES.....65

5. Exercício e Osteoartrite.....66

5.1 Fisiopatologia, classificação estrutural e implicações para prescrição do exercício.....66

5.2 Educação sobre exercício na osteoartrite: estratégia para aumentar a adesão ao exercício terapêutico.....70

5.3 Elaboração de uma rotina saudável de exercícios para pacientes com osteoartrite.....72

5.4 Modelo prático de prescrição de exercícios em Osteoartrite.....74

6. Exercício e Osteoporose.....78

6.1 Bases fisiopatológicas.....78

6.2 Mecanotransdução Óssea e Justificativa Biológica do Exercício na Osteoporose.....83

6.3 Modelo prático de prescrição – Exercício físico na osteoporose.....85

7. Exercício e Sarcopenia.....88

7.1 Fisiopatologia do Envelhecimento muscular.....88
7.2 Estratégia terapêutica estruturada.....93
7.3 Modelo prático para prescrição.....96
8. Exercício físico como forma de prevenção e tratamento da dor lombar.....99
8.1 Dor lombar: entre o laudo de imagem e a experiência clínica.....102
8.2 Recidiva na dor lombar: particularidades e conduta baseada em carga.....105
8.3 Prescrição estruturada.....105
9. Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME).....111
9.1 Fundamentação Epidemiológica e Fragmentação Histórica das Doenças Muscoesqueléticas.....111
9.2 Convergência Biológica no Envelhecimento.....112
9.3 O Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento como Modelo Integrativo.....113
9.4 Nutrição como base, farmacoterapia quando indicada.....115
9.5. Obesidade, Sarcopenia e sua Centralidade no Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME).....116
9. 6. Treinamento resistido como fator de aumento do consumo de oxigênio pós-exercício – o conceito EPOC, no auxílio da perda de peso.....120
9.7 Implicações Clínicas e Perspectivas Futuras.....122

PARTE III – IMPLEMENTAÇÃO NA PRÁTICA CLÍNICA.....123
10. Avaliação pré-participação (APP) com ênfase clínica.....124
11. Adesão e comportamento: o elo entre prescrição e resultado.....131
12. Estratégias ambientais e motivacionais práticas para engajamento e manutenção do exercício físico.....140

PARTE IV – SÍNTESE INTEGRATIVA.....144
13. O exercício físico como intervenção terapêutica estruturada na prática clínica contemporânea.....145
14. Mensagem final ao leitor.....149

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....151

MANIFESTO CLÍNICO

Recomendar movimento é simples;
estruturá-lo como terapia é responsabilidade clínica.
Alexandre de Paiva Luciano.

PREFÁCIO

É tempo de cuidar.

Minha relação com esta obra começou muito antes de receber o convite para escrever este prefácio. Há quase duas décadas, quando decidi iniciar na corrida, encontrei no Dr. Alexandre de Paiva Luciano um médico que compreendia que a prática esportiva exige muito mais do que entusiasmo. Exige conhecimento, segurança e orientação baseada em evidências.

Como corredora iniciante, aprendi essa lição na prática. Com toda a certeza — ele nem se lembra disso, mas sob sua orientação, com exercícios e alongamentos que faço até hoje —descobri que correr não significava apenas colocar um pé à frente do outro, mas compreender o próprio corpo, respeitar seus limites e reconhecer que o exercício físico, quando corretamente orientado, é uma das mais poderosas ferramentas de promoção da saúde. Passados todos esses anos, continuo encontrando na corrida uma fonte inesgotável de equilíbrio, bem-estar e qualidade de vida.

Como pesquisadora, professora universitária, essa experiência adquiriu um significado ainda maior. Sempre defendi a ciência como condição sine qua non de toda prática que pretende transformar positivamente a vida das pessoas e, consequentemente, da sociedade. Foi justamente por isso que recebi com entusiasmo o projeto desta obra.

Aqui, prezado leitor, você não encontrará uma defesa apaixonada — e muito menos cega — do exercício físico. Encontrará algo muito mais sólido: uma construção cuidadosamente fundamentada na ciência e na sua sensibilidade como médico “raiz”. O Dr. Alexandre conduz o leitor por um percurso consistente, que parte dos fundamentos biológicos e fisiológicos, percorre as evidências científicas, aprofunda-se nas principais doenças musculoesqueléticas e culmina na prática clínica, oferecendo instrumentos para transformar conhecimento em conduta.

Apesar disso, o sentido da obra vai além de reunir evidências (isso, convenhamos, tem-se de sobra por aí). Ela propõe uma verdadeira mudança de paradigma.

Durante muito tempo, o exercício físico foi tratado como uma recomendação complementar, quase um conselho obrigatório ao final da consulta médica. E aí, se dá o ponto da virada, porque o autor nos convida a enxergá-lo sob outra perspectiva: a de uma intervenção terapêutica.

E toda intervenção terapêutica exige responsabilidade.

Assim como um medicamento, o autor ensina, o exercício possui indicação, dose, intensidade, frequência, progressão e acompanhamento. Quando bem prescrito, produz benefícios extraordinários. Quando inadequadamente indicado, pode não alcançar os resultados esperados ou até provocar efeitos indesejáveis. É justamente essa compreensão que diferencia uma recomendação genérica de uma prescrição verdadeiramente individualizada.

Talvez resida aí um dos maiores paradoxos da saúde contemporânea.

Todos sabem — inclusive quem não pertence à área da saúde, como eu, que amo — que a atividade física faz bem. Ainda assim, convivemos com índices crescentes de sedentarismo, obesidade e doenças crônicas. Isso nos leva a uma reflexão inevitável: informação, por si só, não transforma comportamento. É preciso convencimento, engajamento.

Pode ser que nós, profissionais, educadores (como eu) e vocês, da área da saúde, ainda não tenhamos comunicado e prescrito esse "medicamento" com toda a precisão que ele merece. Arrisco dizer que recomenda-se o exercício de forma ampla, quando deve-se prescrevê-lo de maneira personalizada, respeitando suas indicações, limitações e potencial terapêutico.

É exatamente nessa lacuna que esta obra se torna indispensável.

Ela não pretende apenas reafirmar os benefícios da atividade física — isso a ciência já estabeleceu de maneira inequívoca. Seu propósito é mais ambicioso e, ao mesmo tempo, mais necessário: oferecer ao profissional da saúde os fundamentos para compreender melhor, prescrever melhor e, consequentemente, favorecer maior adesão dos pacientes àquela que talvez seja uma das intervenções terapêuticas mais eficazes, acessíveis e transformadoras da medicina contemporânea.

Em uma sociedade que envelhece rapidamente e enfrenta os desafios impostos pelo sedentarismo e pelas doenças crônicas, não basta tratar enfermidades quando elas surgem. É preciso preservar autonomia, funcionalidade, independência e qualidade de vida. Esse compromisso exige uma medicina que vá além do diagnóstico e do tratamento; exige uma medicina que saiba promover saúde.

Tenho convicção de que este livro contribuirá significativamente para essa transformação. Não apenas pela consistência científica de seu conteúdo, mas pela forma como aproxima

o conhecimento da prática clínica e convida o profissional da saúde a repensar sua maneira de orientar, prescrever e cuidar.

Arrisco dizer que esse seja o maior mérito desta obra: lembrar-nos de que prescrever movimento é, antes de tudo, um ato de cuidado. E cuidar, em sua forma mais nobre, é devolver às pessoas aquilo que nenhuma doença deveria lhes retirar: a liberdade de viver plenamente.

Por enquanto, como paciente, é o que a corrida tem me proporcionado, desde a minha primeira consulta com o médico e professor Alexandre Paiva. Obrigada, doc!

Profa. Dra. Letícia Maria Pinto da Costa

Corredora amadora, Jornalista e Reitora da Universidade de Taubaté – SP (2026-30).

APRESENTAÇÃO

Minha relação com o ensino começou antes mesmo da Medicina. Cresci em um ambiente em que educar fazia parte da rotina familiar, filho de uma pedagoga e de um médico, exímio professor de curso pré-vestibular. A docência, portanto, não foi uma escolha eventual, mas um caminho que se desenhou de forma natural.

Em 1994, ingressei na Faculdade de Medicina e, paralelamente à graduação, iniciei minha atuação como professor de Biologia em curso pré-vestibular. Lecionei até o quinto ano médico, quando os plantões se tornaram incompatíveis com a continuidade das aulas. Me formei médico em 1999 pela Universidade de Taubaté (SP), tornei-me especialista em Ortopedia e Traumatologia em 2002 e, posteriormente, obtive sub especialização em Medicina Esportiva e Traumatologia do Esporte em 2005.

Após mais de uma década dedicado exclusivamente à prática clínica, retornei à docência em 2010, como professor na mesma instituição onde havia me formado. Foi nesse momento que compreendi que dominar conteúdo não significa, necessariamente, saber ensinar. A segurança nas aulas expositivas era insuficiente diante da complexidade da formação em saúde. Ensinar exigia método, ciência e responsabilidade.

Iniciei, então, um processo de amadurecimento acadêmico que culminou no mestrado e no doutorado em Ciências da Saúde. Essa trajetória ampliou minha compreensão sobre metodologia científica, pensamento crítico e, sobretudo, o real papel do educador na construção de profissionais capazes de tomar decisões fundamentadas.

Com o tempo, tornou-se evidente que formar especialistas tecnicamente competentes não é suficiente. Precisamos formar profissionais capazes de integrar conhecimento, ética e aplicabilidade clínica. Essa percepção transformou minha forma de ensinar e direcionou minha busca por conteúdos cientificamente sustentáveis, mas aplicáveis à realidade cotidiana dos serviços de saúde.

Nesse percurso, a atividade física emergiu como eixo central de reflexão. A literatura científica é consistente ao demonstrar seu impacto na prevenção e no tratamento das doenças crônicas, na preservação da funcionalidade e na promoção da qualidade de vida. Mas, ainda, convivemos com o avanço do sedentarismo.

O paradoxo é claro: todos reconhecem a importância da atividade física. Todos orientam. Poucos prescrevem de forma estruturada, individualizada e baseada em

evidências. Entre o conhecimento disponível e a prática cotidiana existe uma lacuna. É nessa lacuna que este livro se posiciona.

Esta obra não se destina ao público leigo, tampouco pretende ser excessivamente técnica. Seu propósito é dialogar com os profissionais da saúde em sua pluralidade, oferecendo fundamentos científicos claros e aplicáveis, capazes de transformar a orientação genérica em prescrição responsável.

Isso porque, na saúde contemporânea, não basta recomendar movimento, é preciso prescrevê-lo com ciência, intenção e compromisso.

Prof. Dr. Alexandre de Paiva Luciano

INTRODUÇÃO

O paradoxo contemporâneo do movimento na prática clínica

O movimento humano constitui um determinante biológico fundamental da saúde ao longo da vida. O sistema musculoesquelético, composto por músculos, ossos, tendões e articulações, representa a base estrutural da autonomia funcional, da produtividade e da longevidade ativa. A deterioração dessa estrutura não resulta apenas em limitação física, mas em perda progressiva de independência, impacto psicossocial e sobrecarga significativa aos sistemas de saúde.

A atividade física é definida como qualquer movimento corporal produzido pelo sistema musculoesquelético que resulte em gasto energético. Quando planejada, estruturada e repetitiva, com objetivo de melhorar ou manter componentes da aptidão física, passa a ser denominada exercício físico. Embora o reconhecimento empírico da importância do movimento seja milenar, sua consolidação como estratégia científica de prevenção e tratamento é relativamente recente, ganhando maior robustez a partir do desenvolvimento da epidemiologia moderna no século XX.

Um marco fundamental nessa consolidação foi o estudo clássico conduzido por Morris e colaboradores (1953), que demonstrou maior incidência de doença arterial coronariana entre trabalhadores fisicamente inativos quando comparados a indivíduos com maior demanda ocupacional de movimento. Essa evidência representou uma mudança de paradigma ao posicionar a atividade física como fator protetor independente, estabelecendo as bases da prescrição do exercício como intervenção preventiva.

Nas últimas décadas, o mundo vivenciou uma transição epidemiológica caracterizada pela redução das doenças infecciosas e pelo aumento das doenças crônicas não transmissíveis. Paralelamente, transformações tecnológicas e ocupacionais reduziram substancialmente o gasto energético diário da população. Esse cenário foi agravado pela pandemia da COVID-19, que intensificou o isolamento social, consolidou o trabalho remoto, restringiu o acesso a espaços públicos e reduziu drasticamente oportunidades estruturadas de prática de exercício físico. Estudos conduzidos após 2020 demonstraram redução significativa nos níveis de atividade física moderada a vigorosa, aumento do tempo de tela e piora de marcadores metabólicos e de saúde mental em diferentes faixas etárias (Wilke et al. 2022). Portanto, a pandemia não criou o problema da inatividade física, mas atuou como catalisador de uma tendência já estabelecida, aprofundando um padrão comportamental de baixo gasto energético diário.

Estima-se que aproximadamente um terço dos adultos em âmbito global não atinja os níveis recomendados de atividade física, configurando importante fator de risco modificável para morbidade e mortalidade (World Health Organization, 2022).

Nesse contexto, as doenças musculoesqueléticas assumem relevância crescente. Afetam mais de 1,7 bilhão de pessoas em todo o mundo e figuram entre as principais causas de anos vividos com incapacidade (GBD, 2019, Musculoskeletal Disorders et al. 2023). Diferentemente de outras condições crônicas, raramente constituem causa primária de morte; contudo, são determinantes centrais de dor persistente, limitação funcional e redução da qualidade de vida. O impacto tende a se intensificar diante do envelhecimento populacional acelerado, uma vez que projeções demográficas indicam crescimento expressivo da população acima de 60 anos nas próximas décadas (GBD, 2019; Musculoskeletal Disorders Collaborators, 2023; United Nations, 2022).

Apesar da consistência das evidências científicas que sustentam o papel do exercício físico na prevenção e no tratamento de múltiplas condições crônicas, sua aplicação na prática clínica permanece heterogênea. Frequentemente, a atividade física é recomendada de forma inespecífica, sem critérios claros de dose, progressão ou individualização. Tal lacuna entre evidência e prática contribui para a manutenção de altos níveis de sedentarismo e para o manejo subótimo das doenças musculoesqueléticas.

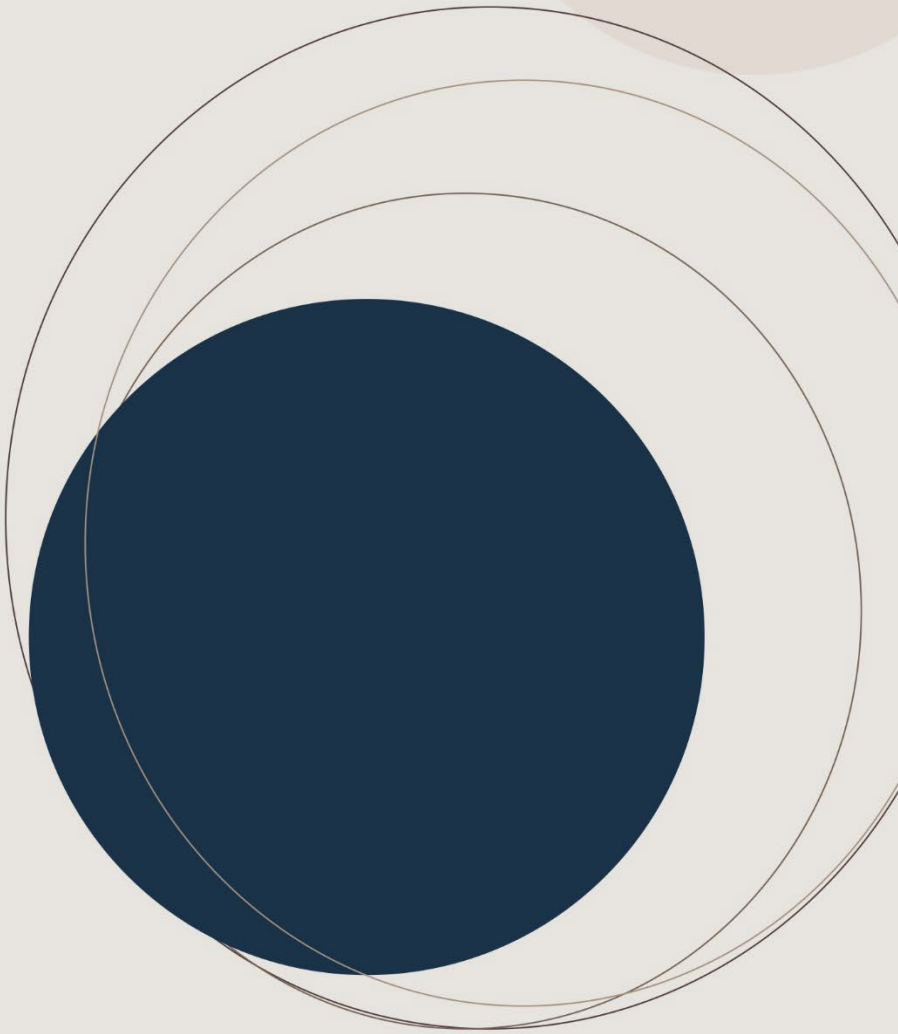
Diante desse cenário, esta obra tem como objetivo apresentar fundamentos conceituais e bases científicas que sustentam o exercício físico como intervenção terapêutica estruturada na prevenção e no tratamento das principais doenças musculoesqueléticas. Propõe-se integrar aspectos fisiológicos, epidemiológicos e clínicos, fornecendo subsídios para a tomada de decisão baseada em evidências.

A organização do livro segue progressão lógica. A Parte 1 aborda os fundamentos da atividade física e da saúde musculoesquelética, estabelecendo os conceitos necessários para compreensão das aplicações clínicas subsequentes. As partes seguintes discutem, de forma aplicada, condições prevalentes como osteoartrose, dor lombar, osteoporose e sarcopenia, culminando em diretrizes práticas e considerações finais.

O exercício físico, quando devidamente compreendido e prescrito, deve ser reconhecido como intervenção terapêutica com princípios próprios de indicação, dose, progressão e monitoramento, equiparável, em rigor, a outras estratégias médicas consolidadas.

PARTE I

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS E CONCEITUAIS



1. EVOLUÇÃO DA LOCOMOÇÃO HUMANA E ECONOMIA BIOLÓGICA DE ENERGIA

A locomoção humana constitui uma das manifestações mais complexas da atividade física e representa função biológica central para a manutenção da autonomia ao longo do ciclo vital. Caminhar, correr, realizar mudanças de direção e transpor desníveis requer integração coordenada dos sistemas musculoesquelético, neurológico, cardiovascular e metabólico. Mesmo se tratando de uma manifestação complexa, a maioria realiza essas tarefas diariamente sem pensar e com gasto energético baixo, o que as faz imaginar que o ser humano é extremamente adaptado à locomoção do ponto de vista evolutivo.

A integridade dessa função complexa que realizamos com “maestria” está diretamente associada à independência funcional, redução do risco de quedas, dor e incapacidade, particularmente em indivíduos com doenças musculoesqueléticas.

Sob a perspectiva clínica, preservar e otimizar a locomoção deve constituir objetivo prioritário da avaliação funcional e da prescrição de exercício físico enquanto intervenção estruturada. Programas que contemplem força muscular, mobilidade articular, coordenação neuromotora e resistência cardiorrespiratória promovem melhora do desempenho locomotor e contribuem para a prevenção de doenças musculoesqueléticas, modulação de sobrecargas articulares e manutenção da independência funcional.

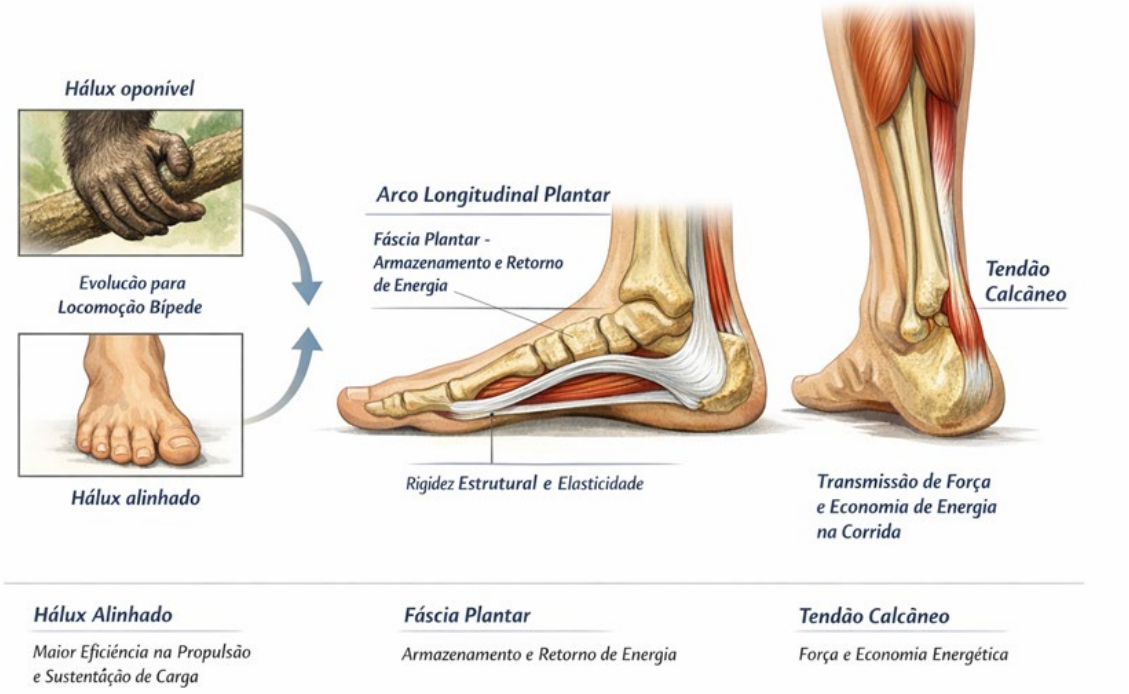
A compreensão da locomoção humana atual exige análise de sua base evolutiva. Evolução é descrita como “descendência com modificação”, conceito que expressa a transmissão de características hereditárias associada à variação biológica ao longo do tempo (Hall, 2020). Evidências genômicas e antropológicas indicam que o Homo sapiens emergiu no continente africano, com diversificação populacional complexa e posterior dispersão global (Schlebusch, 2017; Hublin et al., 2017; Bergström, 2021).

Entre as transformações adaptativas que marcaram a linhagem humana, a consolidação do bipedalismo, ou seja, a locomoção caracterizada pela sustentação e progressão corporal predominantemente sobre dois membros inferiores, com manutenção da postura ereta durante o deslocamento, representa evento central na evolução humana. Estudos recentes indicam que a eficiência energética do deslocamento foi fator determinante na seleção de adaptações locomotoras humanas (Raichlen; Pontzer, 2016). O bipedalismo proporcionou economia metabólica em deslocamentos prolongados, ampliou o campo visual e liberou os membros superiores para manipulação e transporte.

A evolução do gênero Homo associa-se ao refinamento da capacidade de locomoção terrestre de longa distância, com adaptações relacionadas à resistência e ao desempenho energético (Raichlen; Pontzer, 2016; Pontzer, 2017). Essas adaptações incluem alterações na morfologia pélvica, alongamento relativo dos membros inferiores e reorganização da dinâmica musculoesquelética.

Transformações estruturais no pé humano desempenharam papel decisivo nesse processo. A reorganização funcional do hálux, alinhado ao eixo longitudinal do pé, aumentou a eficiência propulsiva (Holowka; Lieberman, 2018). O desenvolvimento dos arcos longitudinal e transverso promoveu combinação entre rigidez estrutural e capacidade elástica, conferindo estabilidade e economia energética durante a marcha (Venkadesan, 2020). Estudos anatômicos e biomecânicos demonstram que a fáscia plantar atua como mecanismo de armazenamento e retorno de energia elástica, o alongamento dos membros inferiores, robustez do tendão calcâneo e capacidade de dissipação energética constituem exemplos dessas adaptações, contribuindo para a eficiência locomotora (Sichting, 2020; Nozaki, 2022). Além disso, a evolução do modo de caminhar bípede necessitou de maior reorganização na estrutura e função da pelve, dos ossos da perna e de seus músculos associados até alcançarmos o que se entende por uma marcha humana considerada normal. (Figura 1).

Figura 1 – Transformações estruturais no pé humano

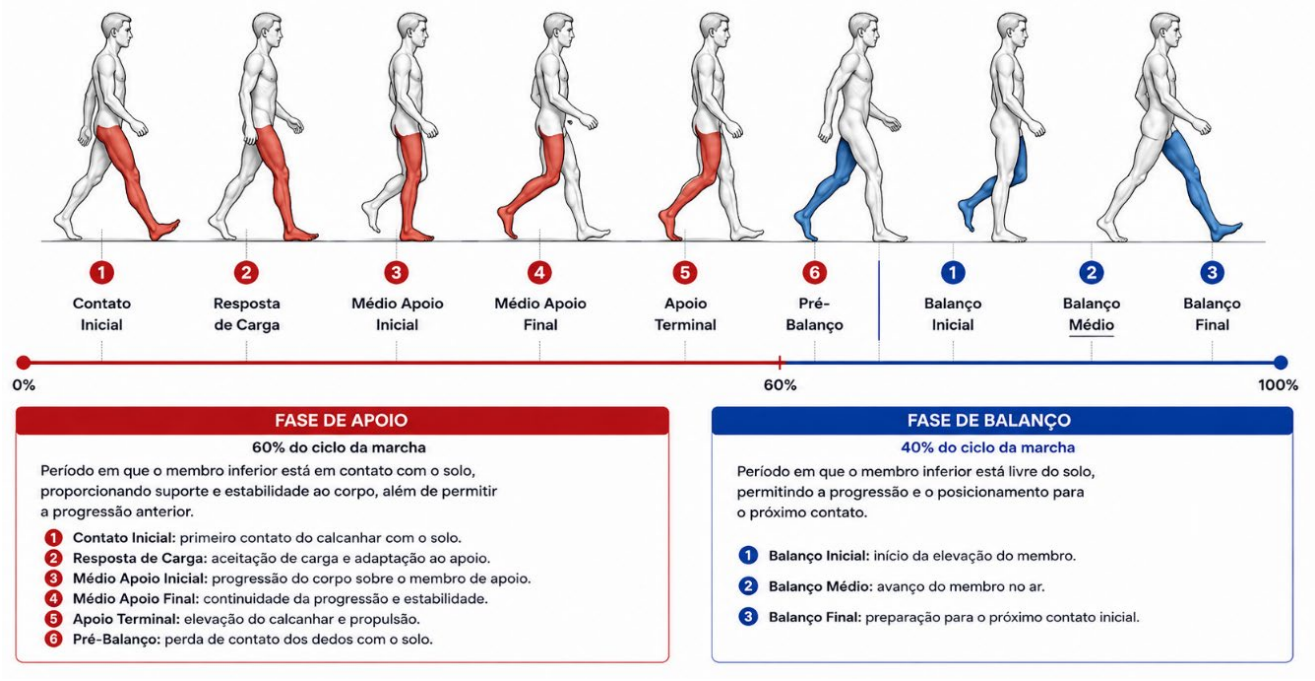


Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

MARCHA HUMANA NORMAL

A marcha humana moderna caracteriza-se por padrão cíclico composto por fase de apoio e fase de balanço detalhados na figura 2.

Figura 2 – Ciclo da marcha normal



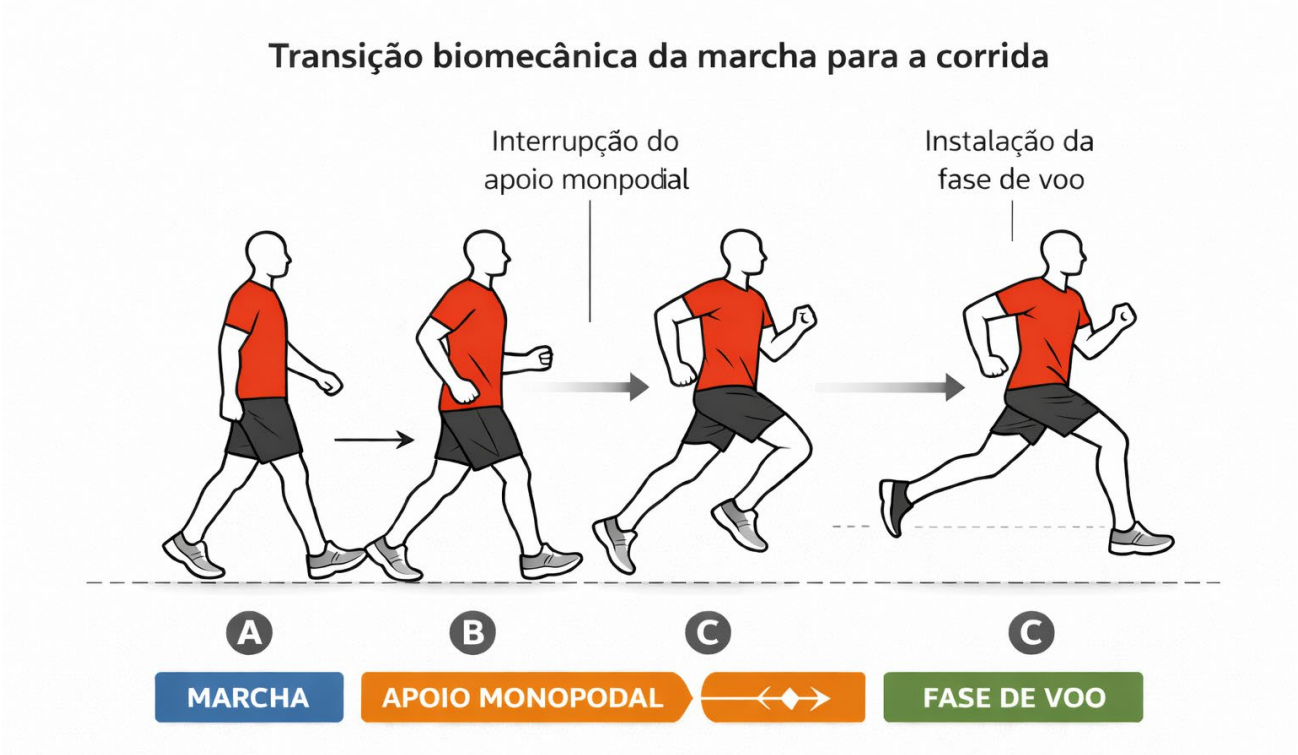
Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada.

Descrição da Figura: Detalhado em Fase de Apoio: percorre 60% de todo o ciclo da marcha e é subdividida em: 1) Contato Inicial; 2) Resposta de Carga; 3) Médio Apoio Inicial; 4) Médio Apoio Final; 5) Apoio Terminal; 6) Pré-Balanço. Fase de balanço: percorre 40% de todo o ciclo da marcha e é subdivida em: 1) Balanço Inicial, 2) Balanço Médio, 3) Balanço Final.

A dinâmica da marcha reflete princípios de otimização energética, nos quais comprimento do passo, cadência (número de passos em uma unidade de tempo, por exemplo, passos/minuto) e velocidade são frequentemente auto selecionados para minimizar o custo metabólico, ou seja, gastar menos energia (Pontzer, 2017; Farris; Sawicki, 2017).

A transição da marcha para a corrida ocorre em velocidades nas quais a manutenção do padrão pendular torna-se energeticamente menos eficiente. Modelos experimentais demonstram que a corrida segue critérios de otimização metabólica e mecânica distintos da marcha (Steudel-Numbers; Wall-Scheffler, 2009; Miller et al., 2016). Durante a corrida, a presença da fase de voo e o aumento das forças de reação do solo impõem maiores demandas mecânicas e fisiológicas (Farris; Sawicki, 2017).

Figura 3 — Resumo da transição biomecânica da marcha para a corrida



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da Figura: Na marcha (A), **pelo menos um dos membros inferiores permanece em contato com o solo durante todo o ciclo da marcha.** Com o aumento da velocidade ocorre redução do tempo de apoio e transição do padrão locomotor (B). Na corrida (C), o apoio monopodial é **substituído por uma fase de voo**, momento no qual **nenhum dos membros inferiores mantém contato com o solo.**

O crescimento exponencial das corridas de rua e das maratonas nas últimas décadas sugere que o deslocamento em alta intensidade, anteriormente associado à sobrevivência, passou a integrar dimensões de lazer, identidade social e autorrealização. Esse fenômeno pode refletir, em parte, a compatibilidade entre a arquitetura biomecânica humana e o desempenho em corrida de resistência, embora fatores psicossociais e culturais desempenhem papel determinante na adesão individual. Do ponto de vista evolutivo, a hipótese da corrida de resistência sustenta que adaptações do gênero Homo favoreceram deslocamentos prolongados associados à caça persistente e à exploração territorial (Raichlen; Pontzer, 2016; Rolian, 2017).

Para além das considerações evolutivas e comportamentais, a diferenciação entre marcha e corrida torna-se mais evidente quando analisada sob a ótica das cargas mecânicas. A força de reação do solo constitui, nesse cenário, um marcador central da magnitude de estresse imposto às articulações durante o deslocamento humano.

Os valores clássicos de força de reação do solo (ground reaction force, GRF) durante a locomoção humana demonstram que, na marcha, o pico vertical situa-se tipicamente entre 1,0 e 1,2 vezes o peso corporal, conforme descrito em análises biomecânicas consolidadas de marcha normal (Winter, 2009; Whittle, 2007), enquanto na corrida esses valores se elevam para aproximadamente 2,0 a 3,0 vezes o peso corporal, podendo variar de acordo com velocidade, padrão de pisada e outras condições experimentais (Novacheck, 1998; Cavanagh et al.,1980; Nigg, 1997). Estudos utilizando plataformas de força já demonstravam valores médios próximos de 2,5 vezes o peso corporal (Cavanagh et al., 1980), posteriormente confirmados por revisões biomecânicas e investigações mais recentes, incluindo análises do padrão de contato do pé e sua influência sobre o pico de impacto (Nigg, 1997; Lieberman de et al., 2010). Esses achados foram reproduzidos na literatura internacional e sustentam a noção de que a corrida impõe maior carga mecânica instantânea às articulações em comparação à caminhada; entretanto, tais picos de carga devem ser interpretados no contexto da exposição cumulativa e da capacidade adaptativa dos tecidos musculoesqueléticos, não sendo, isoladamente, determinantes de dano estrutural articular. A Tabela 1 sintetiza, de forma integrativa, os principais parâmetros biomecânicos, biológicos e clínicos que diferenciam a caminhada da corrida, destacando suas implicações para a saúde articular.

Tabela 1 - Comparação biomecânica, biológica e clínica entre caminhada e corrida: síntese integrativa de evidência disponível

DOMÍNIO	CAMINHADA	CORRIDA	Síntese Baseada em Evidência Científica
Força de reação do solo (GRF)	~1,0–1,2 × peso corporal (Winter DA, 2009; Whittle MW, 2007)	~2,0–3,0 × peso corporal (Novacheck TF, 1998; Cavanagh et al ,1980; Nigg BM, 1997)	Corrida apresenta maior pico de carga, porém isso não se traduz diretamente em maior dano estrutural.
Carga cumulativa	Moderada	Variável (dependente de volume e intensidade)	O risco articular está mais relacionado à carga cumulativa total do que ao pico de impacto isolado.
Resposta da cartilagem	Estímulo mecânico leve	Estímulo mecânico moderado–alto	Cartilagem é mecanossensível; cargas adequadas sem patologia articular prévia, induzem resposta anabólica (↑proteoglicanos, ↑ espessura funcional) (Miller *et al*. 2016).

Prevalência de condropatia e osteoartrose	Sem efeito protetor robusto isolado	Pode ter uma incidência MENOR em corredores recreacionais (~3,5%) *vs* sedentários (~10,2%). Necessita de mais estudos.	Corrida recreacional pode ser associada a menor risco de osteoartrose; possível efeito dose-dependente (Alentorn-Geli *et al*. 2017).
Comparação ajustada por gasto energético	Benefícios cardiovasculares e funcionais	Benefícios semelhantes ou superiores	Corrida e caminhada apresentam efeitos semelhantes quando equivalentes energeticamente, com possível vantagem para corrida (Williams & Thompson, 2013).
Adaptação neuromuscular	Baixa–moderada	Elevada	Corrida promove maior eficiência biomecânica e redistribuição de carga articular (Lieberman de *et al.* 2010).

Nota: Os dados apresentados derivam de estudos com diferentes delineamentos metodológicos. A presente síntese tem caráter integrativo resumido, com finalidade de organização conceitual e aplicação para raciocínio clínico.

Entretanto, a maior carga mecânica associada à corrida tem implicações clínicas relevantes, principalmente nas articulações dos membros inferiores e coluna vertebral. Em indivíduos com doenças musculoesqueléticas, especialmente osteoartrite dos membros inferiores, a exposição repetitiva a forças elevadas pode exacerbar sintomas e acelerar a progressão estrutural da doença. Em contrapartida, estímulos mecânicos adequadamente dosados podem promover adaptações benéficas, incluindo incremento da densidade mineral óssea em pacientes portadores de osteopenia e osteoporose. Pesquisas recentes sugerem que a corrida recreativa pode, inclusive, ser um fator protetivo da cartilagem articular em pacientes sem doenças musculoesqueléticas prévias (Alexander, 2024).

Nesse contexto, observa-se que uma orientação aparentemente simples, como a recomendação de caminhadas ou corrida, pode influenciar diretamente a evolução clínica de um paciente, contribuindo tanto para a melhora quanto para a piora dos sintomas quando prescrita de forma inadequada. Dessa forma, o conhecimento das doenças musculoesqueléticas, da biomecânica do movimento e das demandas específicas de cada modalidade esportiva torna-se elemento central para a adequada prescrição do exercício físico. **Da mesma maneira que um médico deve conhecer o mecanismo de ação, os efeitos colaterais e a posologia dos medicamentos, a prescrição do exercício também requer compreensão precisa das cargas mecânicas envolvidas, da intensidade, do**

volume e da progressão do estímulo aplicado. Assim, o exercício físico deve ser compreendido como uma intervenção terapêutica estruturada, cuja eficácia e segurança dependem de uma prescrição individualizada e fundamentada em princípios científicos.

É nesse ponto que a análise do padrão de locomoção humana se torna particularmente relevante, uma vez que a locomoção humana representa expressão fundamental da interação entre estrutura anatômica, controle neuromuscular e ambiente mecânico. Portanto, a análise biomecânica da locomoção constitui ferramenta essencial na prática clínica, ou seja, o exame clínico começa quando o paciente entra no consultório, com a avaliação inicial da marcha. A avaliação do alinhamento segmentar, padrões de ativação muscular e distribuição de cargas permite identificar fatores predisponentes a dor e lesões.

A compreensão da locomoção à luz da evolução amplia o raciocínio clínico, permitindo interpretar dor, sobrecarga e degeneração articular como fenômenos que emergem da interação entre arquitetura biológica ancestral e demandas ambientais modernas. Nesse contexto, o exercício físico estruturado representa intervenção terapêutica capaz de restabelecer estímulos compatíveis com a biologia para a qual o corpo humano foi moldado durante milhões de anos de evolução constante.

2. PRINCÍPIOS DA ANATOMIA E DA FISIOLOGIA APLICADOS À PRESCRIÇÃO DO EXERCÍCIO

A performance física, independentemente da modalidade esportiva, é determinada pela capacidade do sistema musculoesquelético de gerar força, produzir potência e sustentar contração ao longo do tempo. Em termos fisiológicos, essa capacidade decorre da integração entre estrutura contrátil, controle neural e disponibilidade energética. O músculo esquelético pode ser compreendido como tecido especializado na conversão de energia química em trabalho mecânico, processo dependente da hidrólise da adenosina trifosfato (ATP). O ATP (adenosina trifosfato) é a principal fonte imediata de energia para a contração muscular, funcionando como uma espécie de combustível bioquímico para o músculo.

A magnitude da força desenvolvida, a velocidade de encurtamento e a resistência à fadiga são propriedades que emergem da organização microscópica da fibra muscular. A disposição ordenada de filamentos de actina e miosina nas miofibrilas permite a geração de tensão por meio do mecanismo de deslizamento filamentar. Entretanto, a mecânica da contração não é fenômeno isolado; ela depende de controle neural preciso e de sistemas metabólicos capazes de sustentar a ressíntese contínua de ATP.

A Fisiologia do Exercício dedica-se à compreensão dessa integração. O desempenho físico resulta da coordenação entre recrutamento de unidades motoras, frequência de disparo neural, disponibilidade de substratos energéticos e eficiência das vias metabólicas aeróbicas e anaeróbicas. A predominância de determinada via metabólica depende da intensidade, da duração e do tipo de exercício executado, explicando por que esforços explosivos de curta duração diferem substancialmente, em termos fisiológicos, de atividades de longa duração.

Do ponto de vista clínico, compreender esses mecanismos é essencial para a prescrição de exercício físico enquanto intervenção estruturada. A adaptação muscular depende da magnitude, da frequência e da progressão do estímulo contrátil, que desencadeia respostas celulares responsáveis por hipertrofia, melhora da capacidade oxidativa e aumento da eficiência neuromuscular.

2.1 Mecanismo e tipos de Contração Muscular

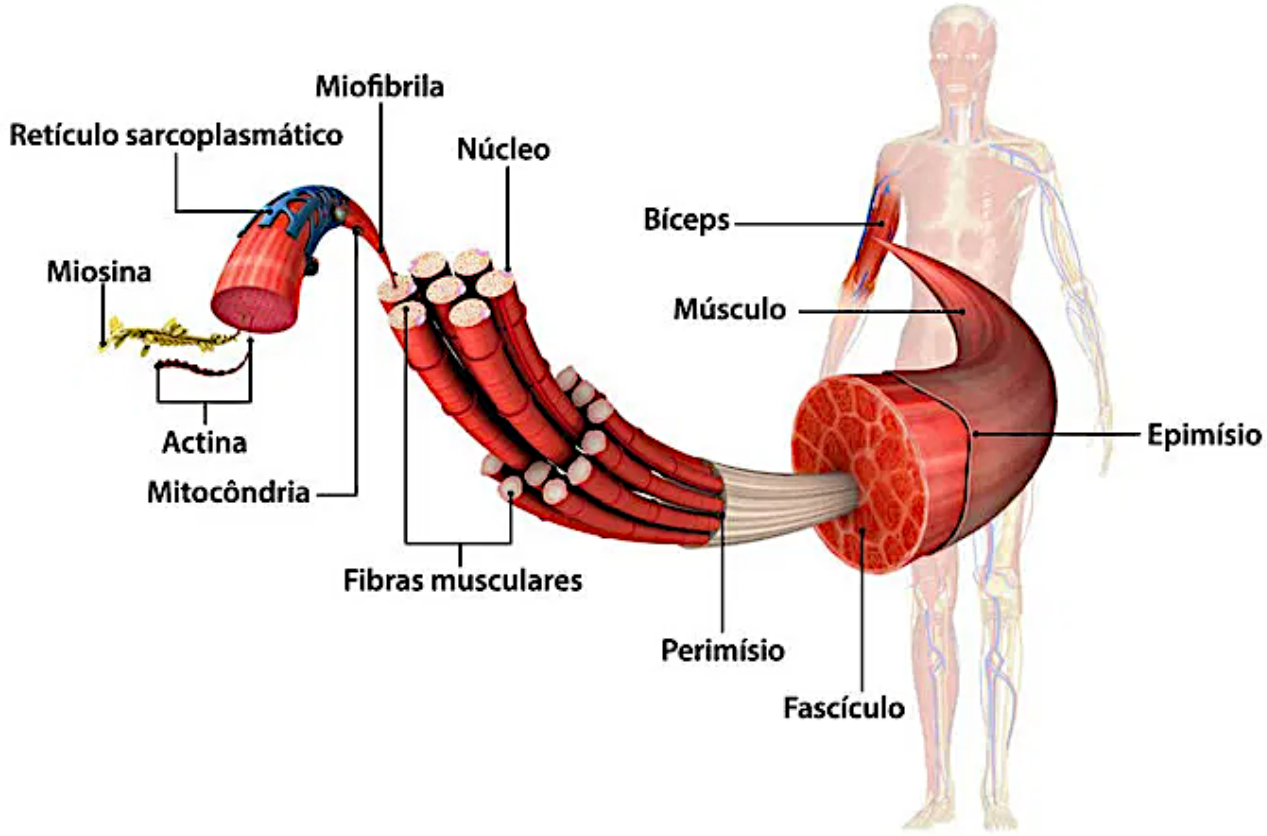
A contração muscular representa o evento central da função musculoesquelética e constitui o principal estímulo biológico para adaptação tecidual. A ativação repetida e adequadamente dosada desencadeia cascatas mecânicas, metabólicas e moleculares que modulam síntese proteica, preservação da massa muscular, manutenção da densidade mineral óssea e integridade articular. Dessa forma, a contração muscular assume papel fundamental tanto na prevenção quanto no tratamento das doenças musculoesqueléticas ao longo do ciclo de vida.

O processo de contração muscular envolve sequência organizada de eventos eletrofisiológicos e bioquímicos que serão resumidamente listados:

1. Um potencial de ação é conduzido ao longo do axônio motor até a junção neuromuscular.
2. A chegada do impulso nervoso promove liberação de acetilcolina na fenda sináptica.
3. A acetilcolina liga-se a receptores nicotínicos na membrana da fibra muscular, aumentando sua permeabilidade ao sódio (Na^+).
4. O influxo de Na^+ desencadeia despolarização da membrana e geração de potencial de ação na fibra muscular.
5. O potencial de ação propaga-se pelo sarcolema e pelos túbulos T, estimulando a liberação de cálcio (Ca^{2+}) do retículo sarcoplasmático.
6. O Ca^{2+} liga-se à troponina, promovendo alteração conformacional que expõe os sítios ativos da actina, permitindo a formação de pontes cruzadas com a miosina.
7. A hidrólise do ATP fornece energia para o deslizamento dos filamentos de actina sobre os de miosina, gerando encurtamento sarcomérico e produção de força.
8. A remoção ativa do Ca^{2+} para o retículo sarcoplasmático encerra o ciclo contrátil, permitindo relaxamento muscular.
9. A eficiência desse sistema depende da integridade estrutural das fibras musculares, da disponibilidade energética e do controle neural adequado. Alterações em qualquer um desses componentes podem comprometer desempenho físico e capacidade funcional.

A figura 1 representa o mecanismo da contração muscular:

Figura 1 – Mecanismo de contração muscular



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

As ações musculares podem ser classificadas, do ponto de vista mecânico, em concêntricas, excêntricas e isométricas. Essa distinção baseia-se na relação entre desenvolvimento de tensão e alteração do comprimento do músculo durante a contração.

A ação muscular concêntrica ocorre quando há desenvolvimento de tensão simultaneamente ao encurtamento das fibras musculares. Esse padrão é observado, por exemplo, nos músculos extensores do joelho durante a subida de escadas, quando a força produzida supera a resistência imposta pela massa corporal, resultando em elevação do centro de gravidade.

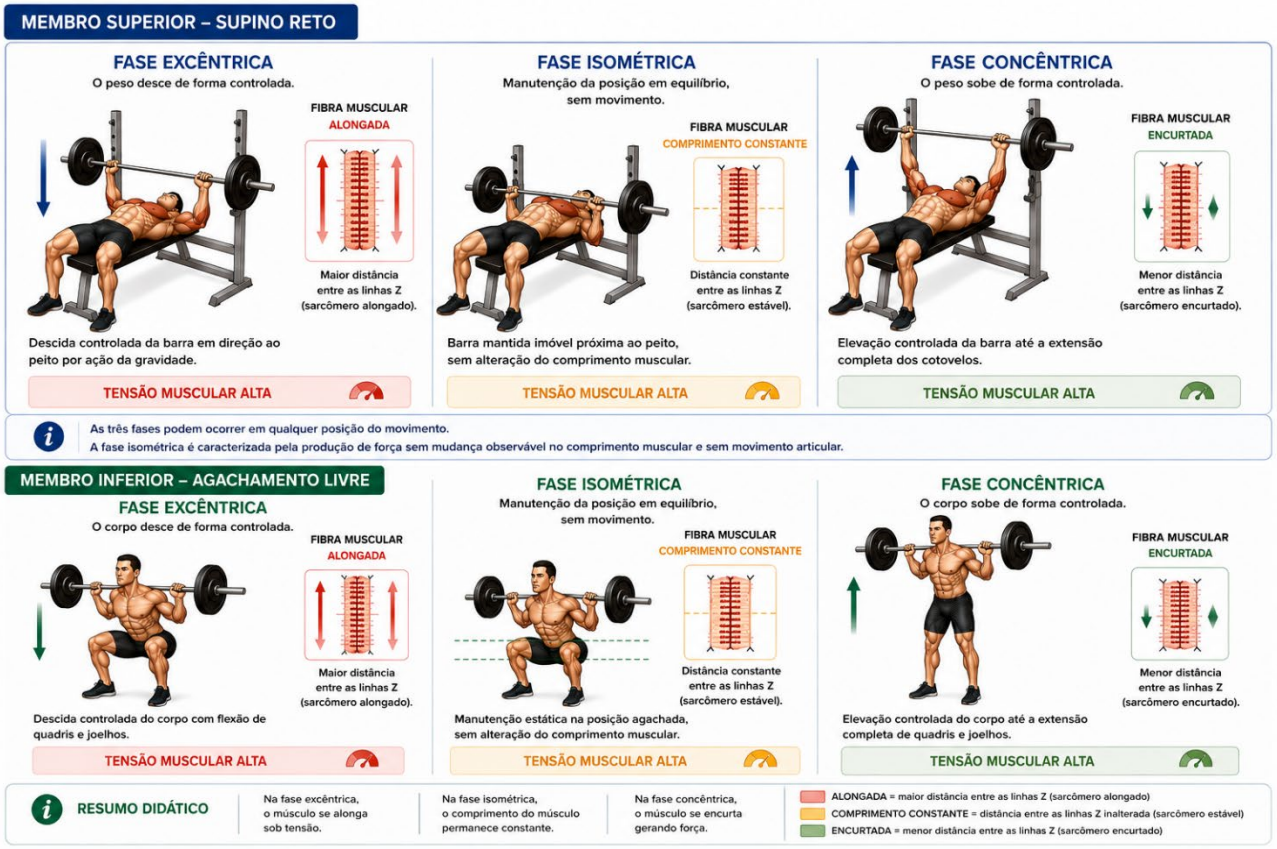
A ação muscular excêntrica caracteriza-se pelo desenvolvimento de tensão durante o alongamento ativo do músculo. Nesse caso, a força externa excede momentaneamente a força interna produzida pelas pontes cruzadas, porém o músculo permanece ativado. Durante a descida de escadas, os mesmos músculos extensores do joelho atuam de forma excêntrica, controlando a desaceleração da massa corporal e modulando a absorção de impacto.

A ação muscular isométrica envolve geração de tensão sem alteração mensurável do comprimento muscular. Esse tipo de contração é fundamental para estabilização articular e manutenção da postura, desempenhando papel essencial na coordenação intermuscular e no controle do movimento.

Esses três padrões podem ser observados em exercícios resistidos convencionais, como o supino. Durante a fase de elevação da barra ocorre ação muscular predominantemente concêntrica dos músculos peitorais e tríceps braquial; na fase de descida, predomina ação excêntrica; e em momentos de estabilização, ocorre ativação isométrica para controle articular.

A figura 2 ilustra os tipos de contração muscular durante o supino.

Figura 2 –Tipos de contração muscular durante as diferentes fases do supino



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada.

Além da implementação diferencial dessas ações musculares durante a contração, existem outras diferenças proeminentes entre elas. Em humanos, a ação muscular excêntrica pode produzir maior pico de tensão quando comparado a outros tipos de contração, o que acarreta implicações clínicas importantes. Em particular nas lesões e dor muscular de origem tardia, aquela dor do “dia seguinte” da academia. E, especialmente, as

lesões musculares indiretas no esporte são, em sua maioria, causadas por contrações musculares bruscas de origem excêntrica.

Integração Metabólica e Adaptação ao Exercício

A contração muscular consome ATP, trifosfato de adenosina (adenosina – PO3 ~ PO3 ~ PO3) de maneira contínua. Como as reservas intracelulares são limitadas, a manutenção da atividade depende da rápida ressíntese por três sistemas principais:

1. Sistema fosfagênio (ATP–fosfocreatina), predominante em esforços máximos de curta duração;
2. Sistema glicogênio – ácido lático ou glicólise anaeróbica, que sustenta exercícios de intensidade elevada por períodos intermediários;
3. Metabolismo oxidativo aeróbico, responsável pela manutenção de atividades prolongadas.

A adaptação ao treinamento decorre da repetição sistemática do estímulo contrátil. O treinamento resistido promove hipertrofia por meio da ativação de vias intracelulares associadas à síntese proteica. O treinamento aeróbico induz aumento da densidade mitocondrial, da capilarização e da eficiência oxidativa. Ambos os modelos de exercício exercem impacto positivo sobre o sistema musculoesquelético quando adequadamente prescritos.

Sob perspectiva clínica, a compreensão desses princípios permite individualizar a prescrição de exercício físico, ajustando intensidade, volume, frequência e progressão de acordo com objetivo terapêutico, condição clínica e estágio funcional do indivíduo.

2.2 Sistemas metabólicos de geração de energia

É importante conhecermos os sistemas metabólicos do exercício, pois eles determinam a demanda energética, a intensidade tolerada, a duração da atividade e as respostas fisiológicas impostas ao organismo. Dessa forma, é possível otimizar os benefícios funcionais, reduzir o risco de sobrecarga ou eventos adversos e potencializar adaptações musculares, cardiovasculares e metabólicas, tornando o exercício uma intervenção mais segura, eficiente e individualizada.

Os principais substratos energéticos utilizados pelo organismo para a produção de energia são os carboidratos, os lipídios (gordura) e, em menor proporção, as proteínas.

Esses compostos são continuamente mobilizados por meio de processos catabólicos e anabólicos, envolvendo a quebra e a interconversão de moléculas, com o objetivo de manter a disponibilidade de intermediários metabólicos capazes de sustentar a produção de ATP. Entre esses substratos, os carboidratos ocupam posição central no metabolismo energético. Após a ingestão, são digeridos e convertidos em monossacarídeos, principalmente glicose, que passa a circular no sangue e pode ser captada pelos tecidos. Parte dessa glicose é armazenada na forma de glicogênio, sobretudo no músculo esquelético e no fígado, constituindo uma reserva prontamente mobilizável. Durante o exercício, tanto a glicose sanguínea quanto o glicogênio muscular são degradados por meio da glicólise, fornecendo substratos para a produção de ATP. Esse sistema apresenta elevada velocidade de ressíntese energética, o que torna os carboidratos particularmente relevantes em situações de maior demanda metabólica, como nos exercícios de intensidade moderada a elevada.

Durante o exercício físico, a utilização desses substratos varia de acordo com a intensidade e a duração do esforço. Em atividades de intensidade moderada a elevada, predomina o metabolismo glicolítico, dependente da disponibilidade de glicose e glicogênio muscular, permitindo maior taxa de geração de ATP e sustentação do desempenho. Por outro lado, em exercícios de menor intensidade e maior duração, os lipídios tornam-se progressivamente mais relevantes como substrato energético, sendo metabolizados predominantemente por vias oxidativas. Contudo, esse processo não ocorre de forma independente: a oxidação dos ácidos graxos permanece parcialmente dependente da disponibilidade de carboidratos. Assim, mesmo em condições de maior utilização de lipídios, os carboidratos continuam exercendo papel fundamental na sustentação da produção de ATP, refletindo o princípio clássico de que “a gordura é oxidada na presença de carboidratos”, como será detalhado a seguir.

Nesse contexto, dietas restritivas em carboidratos, frequentemente adotadas como estratégia para perda de peso, podem impactar diretamente a eficiência energética muscular. A redução da disponibilidade de glicogênio compromete a capacidade de sustentar esforços mais intensos, reduz a produção de potência e favorece a instalação precoce da fadiga. Embora ocorra certa adaptação com aumento da oxidação de lipídios, essa via não supre adequadamente as demandas energéticas de maior intensidade, em virtude da menor taxa de ressíntese de ATP quando comparada ao metabolismo dependente de carboidratos.

Sob a perspectiva clínica, esses aspectos reforçam a necessidade de alinhar estratégias nutricionais ao perfil do exercício prescrito. Intervenções voltadas exclusivamente à perda de peso, quando baseadas em restrição significativa de carboidratos, podem comprometer a qualidade do treinamento, limitar as adaptações fisiológicas desejadas e reduzir a efetividade do exercício físico como ferramenta terapêutica.

A seguir, serão abordados, de forma sistemática e resumida, os três principais sistemas de fornecimento de energia, com ênfase em suas principais características fisiológicas, mecanismos de ressíntese de ATP e papel na sustentação da atividade do sistema musculoesquelético.

1 – SISTEMA FOSFAGÊNICO

A quantidade de ATP presente no músculo, independentemente do nível do atleta, é suficiente para manter a potência muscular máxima em torno de 3 segundos. Assim, é essencial que haja formação contínua de novo ATP, o “combustível” do músculo.

A fosfocreatina (creatina ~ PO3) é um composto químico que possui ligação de fosfato de alta energia, assim como o ATP e pode ser decomposta em creatina, através da enzima fosfocreatinoquinase (CPK), liberando um íon fosfato (PO3) gerando grande quantidade de energia (≅10,3 kal/mol), maior que o próprio ATP (≅7,3 kal/mol). Assim, a fosfocreatina pode facilmente fornecer energia suficiente para reconstituir ligações de alta energia do ATP. Grande parte dessa fosfocreatina está armazenada nos músculos, os quais possuem 2 a 4 vezes mais fosfocreatina do que ATP.

Esse conjunto de fosfocreatina e ATP podem proporcionar contrações musculares máximas por um período de 8 – 10 segundos, o suficiente para esportes de contração muscular vigorosa e rápida como uma corrida de 100 metros rasos. Esses atletas normalmente têm grande volume de massa muscular para armazenar o maior número possível de energia em seus músculos, conforme figura que segue:

Figura 3 – Biotipo característico dos atletas de esportes com poucos segundos de duração



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

2 – SISTEMA GLICOGÊNIO – ÁCIDO LÁTICO

O glicogênio armazenado no músculo pode ser desdobrado em glicose, que será então utilizada como energia. O estágio inicial deste processo, é denominado de glicólise e ocorre totalmente sem o uso do oxigênio, ou seja, de maneira anaeróbica. Durante a glicólise, cada molécula de glicose é desdobrada em 2 moléculas de ácido pirúvico, sendo a energia liberada desta reação para formação de várias moléculas de ATP. Em seguida este ácido pirúvico livre pode penetrar nas mitocôndrias das células musculares reagindo com o oxigênio, formando um número ainda maior de moléculas de ATP. Todavia se houver oxigênio insuficiente para que ocorra este segundo estágio do metabolismo da glicose (oxidativo), a maior parte do ácido pirúvico é convertido em ácido lático que por difusão das células musculares segue para o líquido intersticial e para o sangue. A reconstituição do sistema glicogênio – ácido lático requer principalmente a remoção do excesso do ácido

lático acumulado em todos os líquidos corporais, pois caso contrário, quando esta remoção é insuficiente ou ineficiente este excesso de ácido lático pode causar fadiga muscular extrema que culminam em contrações musculares involuntárias, chamadas de câimbras.

O sistema glicogênio – ácido lático tem a capacidade de formar moléculas de ATP com velocidade cerca de 2,5 vezes maior que os sistema oxidativo. Assim, quando grandes quantidades de ATP se fazem necessárias por períodos moderados de contração muscular (minutos), esse mecanismo de glicólise anaeróbico pode ser utilizado como forma rápida, porém não tão rápido como o sistema fosfagênico, para o suprimento de energia muscular.

Esse conjunto de fosfagênico – ácido lático pode proporcionar 1,3 a 1,4 minutos de atividade muscular máxima, o suficiente para esportes de contração muscular rápida como uma corrida de 800 metros rasos. Tais atletas normalmente têm um moderado volume de massa muscular, para armazenar energia em seus músculos, conforme figura que segue:

Figura 4 – Biotipo característico dos atletas de esportes com poucos minutos de duração



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

3 – SISTEMA AERÓBICO

Em comparação com os sistemas fosfagênico e glicolítico anaeróbico, o sistema oxidativo (aeróbico) apresenta menor velocidade de ressíntese de ATP. Contudo, distingue-se por sua elevada capacidade de sustentação, sendo capaz de manter a produção energética por períodos prolongados, desde que haja disponibilidade adequada de oxigênio e de substratos metabólicos.

Esse sistema ocorre predominantemente no interior das mitocôndrias e depende da oxidação de carboidratos e lipídios, e em menor proporção, de aminoácidos, para a geração de ATP. O processo envolve a conversão de substratos em acetil-CoA, sua entrada no ciclo de Krebs, culminando na fosforilação oxidativa. O oxigênio atua como aceptor final de elétrons, sendo essencial para a continuidade do fluxo metabólico e para a produção eficiente de ATP.

Do ponto de vista funcional, o sistema aeróbico é responsável pela manutenção de atividades de longa duração e intensidade baixa a moderada, como caminhadas prolongadas, ciclismo longo e maratonas. Além disso, contribui significativamente para a recuperação entre esforços intermitentes, por meio da ressíntese de fosfocreatina e da remoção de metabólitos.

A eficiência desse sistema é altamente treinável. O treinamento aeróbico promove adaptações como aumento da densidade mitocondrial, maior capilarização muscular, incremento da atividade enzimática oxidativa e melhora da capacidade de transporte e utilização de oxigênio. Essas adaptações resultam em maior economia de esforço, atraso no aparecimento da fadiga e maior capacidade de sustentar o exercício por longos períodos. Esses atletas normalmente possuem baixo volume de massa muscular, pois não necessitam armazenar energia em seus músculos, conforme figura que segue:

Figura 5 – Biotipo característico dos atletas de esportes com horas de duração



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

O sistema oxidativo também tem a capacidade de recompor o ATP de todos os outros sistemas. Quando as quantidades adequadas de energia são disponíveis para o metabolismo oxidativo, a remoção do ácido lático é efetuada de duas maneiras: primeira, pequena quantidade de ácido lático é convertida novamente em ácido pirúvico e segunda,

o ácido lático restante é reconvertido em glicose, principalmente no fígado, e utilizada para reabastecer as reservas de glicogênio dos músculos.

Na sequência, a figura apresenta uma síntese comparativa das principais características morfológicas e fisiológicas dos atletas, de acordo com o predomínio dos sistemas energéticos anaeróbio alático, anaeróbio glicolítico e oxidativo.

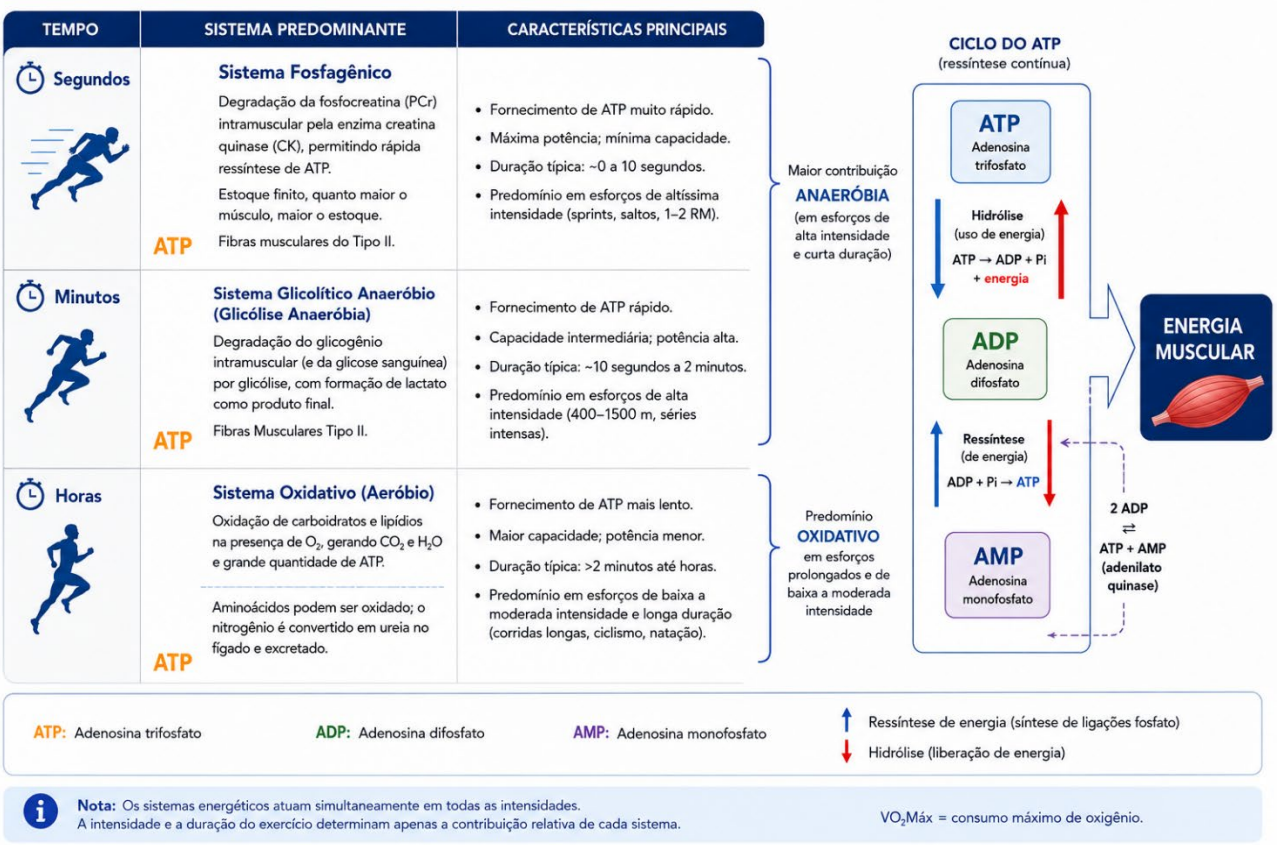
Figura 6 – Síntese comparativa das principais características morfológicas e fisiológicas dos atletas.



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Na sequência, uma figura que resume o funcionamento dos sistemas geradores de energia para o músculo durante a atividade física.

Figura 7 – Contribuição relativa das vias anaeróbias e aeróbias na ressíntese de ATP conforme a duração do esforço



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada.

Em síntese, os sistemas energéticos não atuam de forma isolada, mas como um continuum metabólico dinâmico, cuja predominância depende da intensidade, duração e perfil do exercício realizado. A correta compreensão dessa integração permite ao profissional de saúde prescrever o exercício com maior precisão fisiológica, alinhando demanda energética, objetivo clínico e segurança metabólica.

2.3 Tipos de fibra muscular e suas características adaptativas com o treinamento

Cada fibra muscular, considerada uma célula altamente especializada, apresenta características bioquímicas e contráteis específicas que determinam sua função predominante. Dentro de um mesmo grupamento muscular coexistem milhares de fibras com propriedades distintas, organizadas em proporções variáveis. Essa heterogeneidade explica por que determinados indivíduos apresentam maior aptidão

para atividades de resistência, enquanto outros demonstram superioridade em esforços explosivos e de potência.

Figura 8 – “E você, prefere ser tartaruga ou lebre?”



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

A classificação tradicional das fibras musculares baseava-se na análise histoquímica da ATPase da miosina. Atualmente, a identificação é feita principalmente pela análise das isoformas da Myosin Heavy Chain (MyHC), proteína responsável pela velocidade de contração. De forma simplificada, fibras do Tipo I expressam isoformas associadas à contração lenta, enquanto fibras do Tipo II expressam isoformas relacionadas à contração rápida e são subdivididas em – IIA e IIX.

Fibras Tipo I (contração lenta – perfil oxidativo)

As fibras do Tipo I são altamente vascularizadas e apresentam elevada densidade mitocondrial, o que lhes confere grande capacidade oxidativa para produção de ATP. São fibras de contração lenta, menor produção de força absoluta, porém elevada resistência à fadiga e longa duração de contração.

Essas fibras predominam em músculos com função postural, como paravertebrais, sóleo e musculatura estabilizadora profunda. Atletas de endurance, como maratonistas, apresentam maior proporção de fibras Tipo I na secção transversa muscular, o que se associa a um biotipo mais delgado, elevada eficiência metabólica e grande capacidade aeróbica.

Estudos demonstram que atletas de resistência podem apresentar entre 60% e 95% de fibras de contração lenta, refletindo tanto predisposição genética quanto adaptação ao treinamento crônico e possuem um biotipo característico, como mostrado na figura 9.

Fibras Tipo II (contração rápida – perfil glicolítico)

As fibras do Tipo II possuem menor vascularização e menor densidade mitocondrial quando comparadas às fibras Tipo I. Dependem predominantemente da glicólise anaeróbica para geração de energia, o que permite rápida produção de ATP, porém com menor sustentabilidade metabólica.

São fibras de contração rápida, vigorosa e de curta duração. Apresentam maior capacidade de geração de força e potência, porém maior suscetibilidade à fadiga. São encontradas em maior proporção em músculos como o bíceps braquial e em regiões responsáveis por movimentos explosivos.

Dentro desse grupo, as fibras Tipo IIA apresentam características intermediárias, combinando potencial oxidativo moderado com elevada capacidade glicolítica. Já as fibras Tipo IIX apresentam maior perfil glicolítico e maior velocidade de contração.

Atletas de potência, como velocistas e levantadores de peso, podem apresentar entre 60% e 80% de fibras de contração rápida. Esse perfil estrutural está associado a maior massa muscular, maior área de secção transversa e maior capacidade de produção de força máxima e possuem um biotipo característico, como mostrado na figura 9.

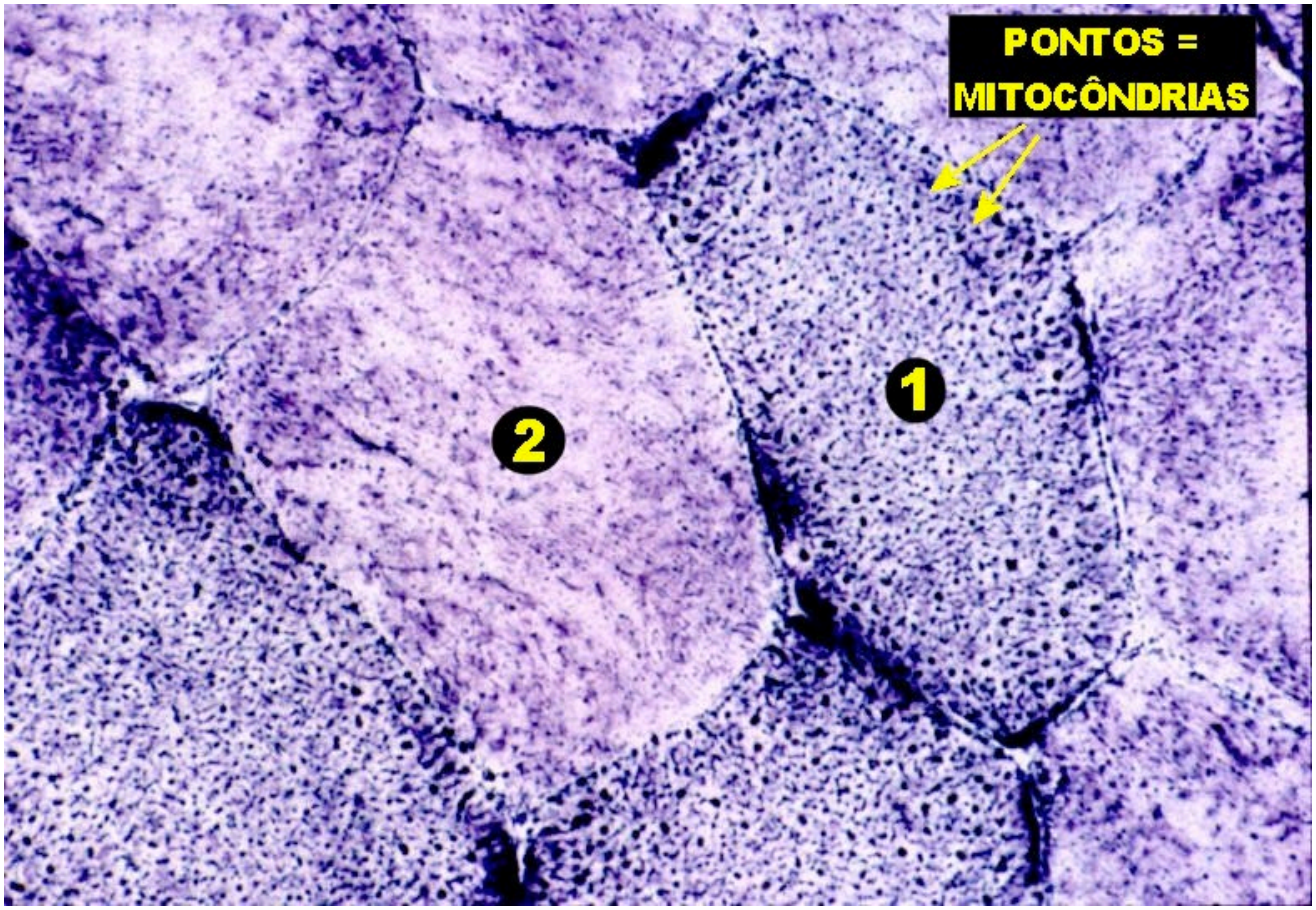
Figura 9 – Biotipo característico dos atletas associado ao predomínio de fibras musculares.



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

A análise histológica evidencia diferenças marcantes entre os tipos de fibras. Em cortes transversais, as fibras Tipo I apresentam maior quantidade de mitocôndrias (visíveis com maior densidade de pontos escuros), reforçando seu maior potencial oxidativo quando comparadas às fibras Tipo II.

Figura 10 – Análise histológica de fibras musculares



Fonte: Imagem reproduzida sem modificação de http://anatpat.unicamp.br/musnormal.html

FIBRAS MUSCULARES E ADAPTAÇÕES AO TREINAMENTO

Indivíduos não treinados nascem com proporções relativamente semelhantes de fibras Tipo I e Tipo II, embora haja variações individuais determinadas principalmente por fatores genéticos. Além disso, cada grupamento muscular possui distribuição específica conforme sua função biomecânica. Músculos posturais tendem a conter maior proporção de fibras Tipo I, enquanto músculos envolvidos em movimentos rápidos e vigorosos, como quadríceps e bíceps braquial, apresentam maior proporção de fibras Tipo II. Surge, então, uma questão central: essa proporção congênita pode ser modificada pelo treinamento? A evidência científica indica que, embora não ocorra transformação absoluta entre fibras Tipo I e Tipo II puras, há significativa plasticidade fenotípica. Estudos mais recentes mostram que muitas fibras apresentam características intermediárias, chamadas fibras híbridas, capazes de modificar seu perfil funcional conforme o tipo de treinamento realizado. Além

disso, análises moleculares modernas demonstram que fibras com a mesma classificação podem apresentar diferenças metabólicas relevantes, reforçando o conceito de que o músculo é um tecido altamente plástico e adaptável ao estímulo crônico do exercício.

Treinamentos de força e potência aumentam a expressão de características associadas às fibras rápidas, favorecendo hipertrofia, aumento da atividade glicolítica e maior capacidade de geração de força. Por outro lado, treinamentos aeróbicos prolongados promovem aumento da densidade mitocondrial, capilarização e eficiência oxidativa, aproximando determinadas fibras de um perfil mais resistente à fadiga.

Assim, além da genética, o ambiente, particularmente o tipo de estímulo mecânico e metabólico repetidamente aplicado, exerce influência decisiva na funcionalidade muscular ao longo da vida.

Implicações clínicas e Envelhecimento

Essa plasticidade tem relevância direta na prevenção de doenças e na manutenção da autonomia funcional, especialmente com o envelhecimento. Sabe-se que há perda preferencial de fibras de contração rápida com o avançar da idade, fenômeno associado à sarcopenia e à redução da potência muscular.

Contudo, muitas tarefas críticas da vida diária dependem justamente de contrações rápidas e vigorosas. Para evitar uma queda, por exemplo, o idoso necessita de resposta neuromuscular rápida. Para sentar e levantar do vaso sanitário, é fundamental adequada força e potência do quadríceps.

Dessa forma, o treinamento de força, potência e equilíbrio deve ser incentivado ao longo de toda a vida, com ênfase especial nas faixas etárias mais avançadas. A simples manutenção de capacidade aeróbica não é suficiente para preservar independência funcional.

Em síntese, a saúde musculoesquelética plena exige estímulo contínuo tanto das fibras Tipo I quanto das fibras Tipo II. Se desejamos longevidade ativa, autonomia e prevenção de fragilidade, não podemos escolher ser apenas “Tartaruga” ou apenas “Lebre”. Precisamos treinar ambas.

2.4 Memória muscular como expressão das adaptações fisiológicas do treinamento

À luz das bases fisiológicas, esta seção deste capítulo busca responder à seguinte questão muito comum na prática clínica: **Por que dois pacientes submetidos ao mesmo período de sedentarismo ou inatividade física apresentam velocidades distintas de recuperação funcional após reinício do exercício?**

Essa diferença pode ser parcialmente explicada pelo fenômeno da “memória muscular”. O princípio da **sobrecarga adaptativa** estabelece que o tecido musculoesquelético responde ao estresse mecânico com modificações estruturais e funcionais. Essas adaptações incluem hipertrofia miofibrilar, aumento da eficiência neuromuscular e remodelamento do tecido conjuntivo. Embora o princípio da **reversibilidade** determine perda parcial dessas adaptações durante períodos de inatividade, evidências indicam que determinados componentes estruturais não retornam integralmente ao estado basal.

No plano **neural**, o aprendizado motor e o treinamento repetitivo promovem reorganização cortical e refinamento das sinergias musculares. Estudos demonstraram alterações persistentes na representação motora cortical após aquisição de habilidades, mesmo após intervalos sem prática (Hall; Hall, 2025). Isso sugere que parte da eficiência motora adquirida permanece biologicamente registrada.

No plano **celular**, o treinamento resistido estimula ativação de células satélite e incorporação de novos mionúcleos às fibras musculares (Plotkin; Roberts; Haun, 2021). Evidências experimentais indicam que mionúcleos adquiridos durante sobrecarga podem persistir mesmo após períodos de atrofia (Murach, 2019). Os estudos conduzidos por Kristian Gundersen et al. (2010) foram fundamentais ao demonstrar retenção nuclear após destreinamento em modelos experimentais. Tal retenção pode facilitar uma nova hipertrofia quando o estímulo mecânico é restabelecido, representando uma forma estrutural de memória biológica.

Adicionalmente, adaptações **epigenéticas** induzidas pelo treinamento parecem integrar essa resposta adaptativa (Lee, 2024). Esses mecanismos sugerem que o exercício pode modular a capacidade futura de resposta do músculo esquelético em nível molecular.

Dessa forma, a memória muscular pode ser compreendida como consequência direta da interação entre sobrecarga mecânica, plasticidade neural e remodelamento celular, pilares fisiológicos discutidos neste capítulo. Não se trata de negação do princípio da

reversibilidade, mas de reconhecimento de que certas adaptações estruturais deixam traços persistentes no sistema neuromuscular.

Clinicamente, essa compreensão é particularmente relevante nas doenças musculoesqueléticas, tal como será apresentado nesta obra na parte II. Indivíduos com histórico prévio de treinamento sistemático podem apresentar maior velocidade de recuperação após imobilização, exacerbações dolorosas ou períodos de inatividade associados ao envelhecimento. Assim, o exercício não apenas melhora a condição funcional presente, mas pode expandir o “potencial adaptativo futuro” do sistema musculoesquelético.

3. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

3.1 Sedentarismo, inatividade física, atividade física e exercício: conceitos e terminologia

A maioria dos profissionais da área da saúde orienta seus pacientes a praticarem atividade física. Entretanto, persiste um paradoxo epidemiológico: apesar das recomendações amplamente difundidas, o sedentarismo e a inatividade física mantêm tendência crescente em escala global. Dados recentes indicam que 31,3% da população adulta mundial não atingiam os níveis mínimos recomendados de atividade física em 2022, correspondendo a aproximadamente 1,8 bilhão de indivíduos (Strain et al., 2024). Observa-se aumento progressivo dessa prevalência desde 2010, com projeções desfavoráveis para as próximas décadas (op. cit). A inatividade física permanece associada a impacto substancial na mortalidade global e na carga de doenças crônicas não transmissíveis (Bull et al., 2024; Hallal, 2012).

Na prática clínica, observa-se que a orientação para atividade física é frequentemente realizada de maneira genérica, sem especificação de intensidade, volume, frequência ou progressão. Recomendações inespecíficas, embora superiores ao comportamento sedentário absoluto, tendem a produzir estímulos abaixo do limiar adaptativo necessário para induzir modificações fisiológicas significativas. Nesses casos, o indivíduo pode apresentar discreto aumento do gasto energético, porém com impacto metabólico e funcional limitado, aproximando-se, na prática, de um quadro de inatividade física.

Quando o objetivo envolve melhora da densidade mineral óssea, aumento da capacidade cardiorrespiratória, controle metabólico ou redução do risco cardiovascular, o movimento deve ser compreendido como intervenção terapêutica estruturada. A prescrição de exercício físico exige definição clara de dose — intensidade, duração, frequência e tipo, respeitando princípios de sobrecarga progressiva, especificidade e individualização. Estímulos subterapêuticos tendem a gerar respostas biológicas discretas, enquanto cargas excessivas ou inadequadamente indicadas podem aumentar risco de lesões e comprometer adesão. Dessa forma, o exercício físico deve ser prescrito com base em avaliação funcional e metas clínicas definidas.

A insegurança na prescrição, particularmente em indivíduos com doenças musculoesqueléticas crônicas ou limitações funcionais, decorre frequentemente de lacunas formativas ou receio de complicações. A consolidação do exercício físico como intervenção

terapêutica requer conhecimento técnico, monitoramento sistemático e integração entre diagnóstico, capacidade funcional e objetivos clínicos.

SEDENTARISMO

O comportamento sedentário tem sido reconhecido como problema de saúde pública mundial. Evidências observacionais demonstram associação entre comportamento sedentário e aumento do risco de mortalidade por todas as causas, doenças cardiovasculares, câncer e diabetes tipo 2 (Patterson, 2018).

Sedentarismo é caracterizado por gasto energético ≤1,5 METs em postura sentada, reclinada ou deitada, durante o estado de vigília. Um MET corresponde ao consumo de oxigênio em repouso, aproximadamente 3,5 mL O_2/kg/min.

A transição ocupacional das últimas décadas contribuiu para o aumento do comportamento sedentário. Estima-se que mais de 80% das ocupações contemporâneas sejam predominantemente sedentárias (Goyal; Rakhra, 2024), com redução superior a 100 kcal no gasto energético ocupacional diário ao longo de 50 anos nos Estados Unidos (Church, 2011).

Durante a pandemia de COVID-19, observou-se intensificação dos comportamentos sedentários, especialmente em crianças e adolescentes (Dunton; Do; Wang, 2020). Apesar das diretrizes internacionais e dos benefícios amplamente documentados da atividade física, a prevalência de comportamento sedentário permanece elevada (Goyal; Rakhra, 2024).

INATIVIDADE FÍSICA

Inatividade física refere-se ao não cumprimento das recomendações mínimas de atividade física estabelecidas por diretrizes internacionais. As diretrizes da Organização Mundial da Saúde recomendam pelo menos 150–300 minutos semanais de atividade física moderada ou 75–150 minutos de intensidade vigorosa para adultos (Bull et al., 2024).

As estimativas globais mais recentes indicam que aproximadamente 31% dos adultos não atingiram esses níveis em 2022 (Strain et al., 2024), mantendo-se disparidades regionais e diferenças entre os sexos. Entre adolescentes, a prevalência de insuficiência permanece superior a 80% (Bull et al., 2024).

Comportamento sedentário e inatividade física são conceitos distintos e complementares. Um indivíduo pode cumprir as recomendações mínimas semanais e ainda

apresentar elevado tempo diário em comportamento sedentário. Inversamente, a redução do tempo sentado não assegura o volume necessário para promover adaptações cardiorrespiratórias e musculoesqueléticas.

ATIVIDADE FÍSICA E EXERCÍCIO

Atividade física é definida como qualquer movimento corporal produzido pela musculatura esquelética que resulte em gasto energético acima do repouso. Inclui tarefas ocupacionais, domésticas, deslocamentos e práticas recreativas. Exercício físico constitui subcategoria da atividade física e caracteriza-se por ser intervenção estruturada, planejada, repetitiva e orientada para aprimoramento ou manutenção de componentes específicos da aptidão física.

A intensidade pode ser classificada em leve, moderada e vigorosa com base em METs, conforme padronização internacional (Norton; Norton; Sadgrove, 2010). A intensidade relativa pode ser expressa por percentual da frequência cardíaca máxima, frequência cardíaca de reserva ou consumo máximo de oxigênio. Escalas subjetivas de percepção de esforço complementam a avaliação clínica (Borg, 1998).

Tabela 1 – Mostra as categorias de intensidade do exercício e as medidas subjetivas e objetivas [absolutas e relativas] que acompanham cada categoria

Classificação da Intensidade do Exercício Segundo Medidas Objetivas e Subjetivas

Categoria	Medidas Objetivas	Percepção Subjetiva de Esforço		Descrição Funcional
Sedentário	< 1,6 METs < 40% FCmáx < 20% FCR < 20% $VO_{2máx}$	Borg 6–20: < 8 CR-10: < 1	Borg 6–20: < 8 CR-10: < 1	Atividades predominantemente em posição sentada ou deitada, com baixo gasto energetico
Leve	1,6 a < 3 METs 40 a < 55% FCmáx 20 a < 40% FCR 20 a < 40% $VO_{2máx}$	Borg 6–20: 8–10 CR-10: 1–2	Borg 6–20: 8–10 CR-10: 1–2	Não provoca alteração perceptivél na respiração; pode ser mantida por ≥ 60 minutos
Moderada	3 a < 6 METs 55 a < 70% FCmáx 40 a < 60% FCR 40 a < 60% $VO_{2máx}$	Borg 6–20: 11–13 CR-10: 3–4	Borg 6–20: 11–13 CR-10: 3–4	Permite manter conversa continua, duração aproximada de 30–60 minutos
Vigorosa	6 a < 9 METs 70 a < 90% FCmáx 60 a < 85% FCR	Borg 6–20: 14–16 CR-10: 5-6	Borg 6–20: 14–16 CR-10: 5-6	Conversa não é sustentada continuamente, duração até cerca de 30 minutos
Alta (Muito vigorosa)	≥ 9 METs ≥ 90% FCmáx ≥ 85% $VO_{2máx}$	Borg 6–20: ≥ 17 CR-10: ≥ 7	Borg 6–20: ≥ 17 CR-10: ≥ 7	Geralmente não pode ser sustentada por mais de aproximadamente 10 minutos

- FCmáx: freqüência cardíaca máxima estimada ou obtida em teste máximo; FCR: freqüência cardíaca de reserva (FCmáx – FC de repouso);
- MET: equivalente metabólico (1 MET = 3,5 mL kg⁻¹·min⁻¹).

Adaptado de Norton et al, 2010.

Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, traduzido e adaptado de: Norton et al. (2010), com apoio de inteligência artificial na composição visual.

É importante ressaltar que na Tabela 1 as medidas de intensidade relativa, como porcentagem da Frequência Cardíaca máxima (%FCmáx), porcentagem da frequência cardíaca de reserva (%FCR) [FCR = FCmáx - FC em repouso] e porcentagem do consumo máximo de oxigênio (%VO2máx), nem sempre corresponderão à mesma percepção de esforço (PSE) entre os indivíduos, nem à capacidade de se exercitarem por uma duração específica em cada intensidade, visto que isso varia dependendo do status do treinamento e de outras características pessoais, psicológicas e até climáticas. As medidas subjetivas são das escalas de PSE de Borg, onde C = escala de categoria [6-20] e C-R = escala de razão de categoria [0-10] (Norton; Norton; Sadgrove, 2010).

3.2 Métodos de avaliação do nível de atividade física

A mensuração do nível de atividade física pode ser realizada por métodos autorreferidos, indicadores fisiológicos ou sensores objetivos de movimento.

O *International Physical Activity Questionnaire* (IPAQ) apresenta validade e reprodutibilidade adequadas em diferentes contextos populacionais, embora sujeitos a

viés de memória e superestimação do nível de atividade, apresentam utilidade clínica quando aplicados de forma padronizada. (Weston; Petosa; Pate, 1997; Matsudo, 1996; Matsudo et al. 2001).

A ergoespirometria constitui padrão-ouro para determinação do consumo máximo de oxigênio e estratificação funcional (Troiano, 2008; Costa, 2015). Acelerômetros registram aceleração corporal em múltiplos eixos, estimando gasto energético, tempo em diferentes zonas de intensidade e padrão de comportamento sedentário (Troiano, 2008). Atualmente, dispositivos como relógios esportivos (por exemplo, Garmin®, Polar® e similares) incorporam acelerometria, monitoramento de frequência cardíaca óptica e algoritmos de estimativa de VO_2máx, tornando-se ferramentas amplamente utilizadas tanto na prática clínica quanto no acompanhamento esportivo. Embora não substituam métodos laboratoriais como a ergoespirometria, oferecem boa aplicabilidade longitudinal, permitindo monitorar adesão, volume semanal e intensidade do exercício em condições reais de vida cotidiana.

Tabela 2 – Resumo dos métodos de avaliação do nível de atividade física em suas diferentes funções, vantagens e limitações

Métodos de Avaliação do Nível de Atividade Física

Exemplos	Vantagens	Vantagens	Limitações	Aplicabilidade Clinica
Instrumentos autorreferidos	IPAQ (curto e longo), questionários estruturados, entrevistas clinicas	Baixo custo; fácil aplicação; viável em grandes populações; boa relação custo-efetividade; validado no Brasil	Dependem da memória do paciente; risco de superestimação ou subestimação; menor precisão para intensidade real	Rastreamento populacional; avaliação inicial em consultório; acompanhamento longitudinal simples
Indicadores fisiologicos indiretos	Frequencímetro; monitorização da %FCmáx, %FCR	Maior objetividade na estimativa da intensidade; aplicável em tempo real; útil na prescrição individualizada	Influéncia de fatores como medicação (ex.: betabloqueadores), estresse e hidratação; não mede gasto energetico direto	Prescrição de intensidade em reabilitação é exercicio supervisionado; controle domiciliar orientado
Avaliação fisiologica direta	Ergoespirometria, (teste cardiopulmonar de exercicio)	Padrão-ouro para VO_2máx; determinação de limiares ventilatórios; alta precisão; estratificação de risco cardiovascu-	Maior custo; necessidade de equipamento é equipe especializada; menor aplicabilidade populacional	Estratificação de risco; prescrição de exercicio de alta precisão; atletas; pacientes cardiometabólicos
Sensores de movimento	Acelerômetros; dispositivos vestiveis (Garmin®, Polar®, similares)	Monitoramento continuo; estimativa de gasto calorico; analise de padrão sedentário; boa adesão	Algoritmos variáveis entre marcas; menor precisão para atividades não locomotoras; custo	Monitoramento de adesão; acompanhamento ambulatorial; intervenções baseadas em metas pratica clinica e esportiva

Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Assim, a escolha do método deve considerar objetivo clínico, disponibilidade de recursos e nível de precisão requerido.

3.3 Relação dose–resposta no exercício terapêutico

A relação dose–resposta constitui princípio fundamental da farmacologia e da fisiologia experimental, segundo o qual diferentes magnitudes de um estímulo produzem respostas biológicas distintas. Aqui vamos aplicar esse princípio ao exercício físico. Assim, essa lógica estabelece que intensidade, volume, frequência, duração e progressão do estímulo determinam a magnitude e a qualidade das adaptações estruturais e funcionais do organismo.

No campo da saúde pública, estudos epidemiológicos clássicos já demonstravam associação inversa entre níveis de atividade física e mortalidade cardiovascular, sugerindo um gradiente protetor proporcional ao aumento do gasto energético habitual (Morris, 1953). Décadas mais tarde, evidências consolidadas confirmaram que indivíduos fisicamente ativos apresentam menor risco de mortalidade por todas as causas quando comparados aos sedentários, configurando clara relação dose–resposta, sobretudo nos níveis iniciais de incremento da atividade física (Arem, 2015).

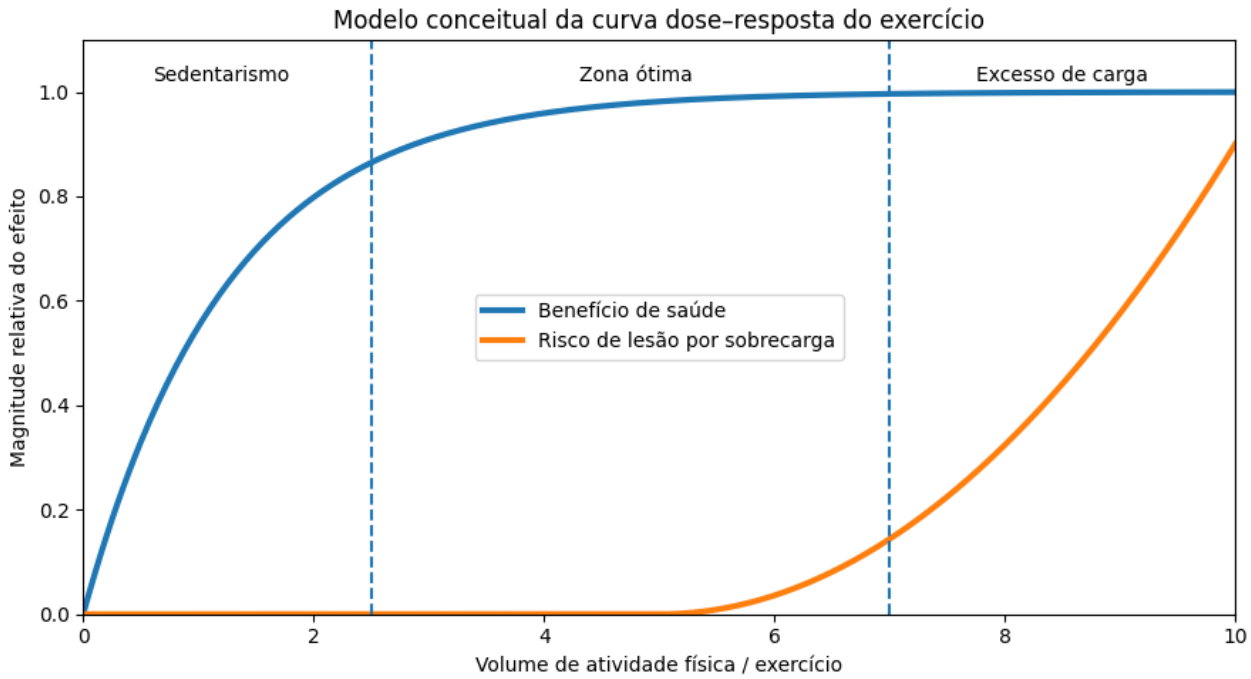
Diretrizes internacionais que serão exaustivamente apresentadas e discutidas neste livro, reforçam esse conceito ao estabelecerem volumes mínimos semanais e limiares de intensidade necessários para a promoção de benefícios substanciais à saúde (Who, 2020). A definição de metas quantitativas (por exemplo, minutos semanais de atividade moderada ou vigorosa) não é arbitrária, mas deriva de análises que identificam o ponto a partir do qual a resposta biológica torna-se clinicamente relevante.

No contexto das doenças musculoesqueléticas, a relação dose–resposta assume caráter ainda mais específico. Ensaios clínicos demonstram que o treinamento resistido promove aumentos proporcionais de força muscular conforme a intensidade relativa da carga e o volume total de treino, respeitando-se princípios de sobrecarga progressiva (ACSM’s, 2021). De forma semelhante, intervenções estruturadas são capazes de induzir respostas osteogênicas dependentes da magnitude do estresse mecânico aplicado ao tecido ósseo, reforçando que estímulos subterapêuticos tendem a produzir adaptações limitadas (Kohrt; Barry; Schwartz, 2009).

É importante destacar que a curva dose–resposta no exercício nem sempre é linear. Em diversos desfechos clínicos observa-se padrão curvilíneo, no qual grandes benefícios ocorrem com a transição do sedentarismo para níveis moderados de atividade, seguidos por platô adaptativo em volumes mais elevados. Em determinadas circunstâncias,

especialmente na ausência de adequada periodização, volumes excessivos podem associar-se a aumento de risco de lesões por sobrecarga (Arem, 2015; ACSM´s, 2021).

Figura 1 — Modelo conceitual da curva dose–resposta do exercício



Fonte: Elaborado pelo autor fundamentada em: Warburton et al. (2006); Eijsvogels & Thompson (2015); Nielsen et al. (2012); Brown & Schmitz (2017), com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da Figura: O gráfico mostra que os benefícios de saúde aumentam de forma acentuada na transição do sedentarismo para níveis moderados de atividade física, tendendo a um platô em volumes mais elevados. Em contrapartida, o risco de lesão por sobrecarga pode aumentar quando a carga de treinamento se torna excessiva ou inadequadamente periodizada.

Efeitos adversos do exercício físico: uma perspectiva baseada na relação dose–resposta

Assim como a prescrição insuficiente de exercício físico pode comprometer seus efeitos terapêuticos, a orientação, prescrição ou prática em níveis superiores à capacidade adaptativa do indivíduo também pode resultar em consequências adversas. Tal qual ocorre com intervenções farmacológicas, o exercício deve ser compreendido como um estímulo biológico cuja eficácia e segurança dependem fundamentalmente da adequação da dose, definida pela interação entre volume, intensidade, frequência e recuperação. Dessa forma, tanto a subdosagem quanto a superdosagem configuram cenários potencialmente deletérios no contexto das doenças musculoesqueléticas (Warburton der et al., 2006).

A relação entre exercício e desfechos clínicos não é linear, sendo frequentemente descrita por uma dinâmica em curva em “U”, na qual níveis insuficientes de atividade associam-se à perda funcional e progressão de doenças crônicas, enquanto cargas

adequadamente prescritas promovem adaptações estruturais e funcionais favoráveis. Por outro lado, a exposição a estímulos que excedem a capacidade de recuperação pode levar a um estado de falha adaptativa, caracterizado por desequilíbrio entre microlesão tecidual e reparo biológico (Eijsvogels TMH & Thompson PD, 2015).

Figura 2 — Relação dose-resposta do exercício físico e desfechos clínicos musculoesqueléticos



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Nesse espectro, vale ressaltar uma manifestação clínica que pode servir como parâmetro para medir o nível de exercício prescrito, a **dor muscular de início tardio (Delayed Onset Muscle Soreness – DOMS)**, um fenômeno clínico frequente, a dor do dia seguinte da academia, após exercícios não habituais, especialmente aqueles com componente excêntrico. A DOMS caracteriza-se por dor e rigidez muscular que tipicamente se iniciam entre 12 e 24 horas após o exercício, atingindo pico entre 24 e 72 horas, podendo ser acompanhada de redução transitória de força e limitação funcional. Do ponto de vista fisiopatológico, não se trata de um processo inflamatório clássico isolado, mas de uma resposta complexa que envolve microlesões estruturais nas fibras musculares, alterações na homeostase do cálcio e sensibilização de nociceptores periféricos (Cheung et al., 2003).

Embora a DOMS represente, na maioria dos casos, uma **resposta adaptativa transitória ao estímulo mecânico**, sua interpretação clínica exige cautela. Em contextos

de prescrição adequada, pode ser considerada parte do processo de adaptação muscular. Entretanto, quando associada a cargas excessivas, progressão inadequada ou recuperação insuficiente, pode refletir um estado de sobrecarga que ultrapassa a capacidade adaptativa do indivíduo, especialmente em populações com comprometimento musculoesquelético ou reserva funcional reduzida. Nesses casos, a persistência ou intensidade elevada da dor pode interferir negativamente na adesão ao exercício e no desempenho funcional (Proske; Morgan, 2001).

Do ponto de vista clínico mais amplo, outros eventos adversos incluem exacerbação de dor articular, lesões por sobrecarga, fadiga desproporcional e redução transitória da capacidade funcional. Tais desfechos estão frequentemente relacionados a **erros de prescrição**, como progressão inadequada de carga, ausência de periodização e negligência em relação ao tempo de recuperação. Em indivíduos com declínio do sistema locomotor, como observado no envelhecimento, a presença de **reserva adaptativa reduzida** amplifica a susceptibilidade a esses eventos, exigindo maior precisão na individualização do estímulo e no monitoramento longitudinal da resposta ao exercício (Schnohr et al., 2015).

Para além dos aspectos biomecânicos e fisiológicos, deve-se considerar que os efeitos adversos do exercício também podem emergir de **padrões comportamentais disfuncionais.** Em determinados indivíduos, observa-se a presença de comportamentos compatíveis com o conceito de Exercise dependence, nos quais a prática assume caráter compulsivo, com manutenção do treinamento mesmo diante de dor, lesão ou orientação médica contrária. Evidências indicam que tais comportamentos estão relacionados a mecanismos neurobiológicos envolvendo o sistema de recompensa e vias dopaminérgicas, que reforçam a repetição do estímulo independentemente de suas consequências físicas (Berczik et al., 2012).

Sob a perspectiva terapêutica, essa condição representa um desafio adicional, uma vez que o risco não decorre exclusivamente da prescrição inadequada, mas também da **incapacidade de autorregulação do paciente**. A persistência em padrões de sobrecarga pode perpetuar sintomas, retardar processos de recuperação e comprometer os desfechos clínicos. Assim, a abordagem do exercício no contexto das doenças musculoesqueléticas deve integrar não apenas parâmetros de carga e função, mas também aspectos comportamentais que influenciam a exposição ao estímulo.

Não se trata apenas de estimular sua prática, mas de **regular de forma precisa a dose do exercício**, reconhecendo que tanto a subdosagem quanto a superdosagem podem comprometer os desfechos clínicos. Assim como ocorre com intervenções farmacológicas, a identificação de sinais de **exposição excessiva ao estímulo**, seja por erro de prescrição, progressão inadequada ou comportamento do próprio indivíduo, deve implicar ajuste imediato da carga, com modificação de volume, intensidade, frequência ou até mesmo do tipo de exercício.

Adicionalmente, a prática clínica exige a capacidade de reconhecer **incongruências entre a modalidade de exercício escolhida e a condição musculoesquelética do paciente.** Nesses casos, a conduta não deve ser pautada pela restrição indiscriminada da atividade, mas pela sua **readequação funcional**, preservando os objetivos terapêuticos e, sempre que possível, o engajamento do indivíduo com a prática.

Um exemplo clássico é o do indivíduo com sobrepeso associado a alterações condrais articulares que manifesta desejo de iniciar corrida. Embora a motivação para a prática de atividade física deva ser valorizada, a introdução de exercícios de impacto nesse contexto pode representar uma carga incompatível com a capacidade adaptativa do sistema locomotor **naquele momento**. Cabe, portanto, ao profissional, não desencorajar a prática, mas **redirecioná-la estrategicamente**, priorizando modalidades com menor sobrecarga articular, como o ciclismo associado a treino de força direcionado, combinados, por exemplo, a intervenções voltadas ao controle do peso corporal. Paralelamente, aspectos psicossociais não devem ser negligenciados. A manutenção do vínculo com o ambiente de prática, como grupos de corrida, por exemplo, pode ser preservada por meio de adaptações, como caminhadas de baixa intensidade, permitindo continuidade da interação social e reforço comportamental positivo, sem exposição a cargas potencialmente deletérias. Essa abordagem integrada favorece o aumento do nível da atividade física, pois irá associar ciclismo, treino de força direcionado e caminhadas leves em grupo, priorizando não apenas a segurança biomecânica, mas também a **adesão sustentada ao exercício**, elemento central para o sucesso terapêutico em longo prazo.

Dessa forma, a compreensão dos efeitos adversos do exercício exige uma visão ampliada, na qual se reconhece que o benefício terapêutico não é inerente ao estímulo em si, mas à sua adequada dosagem. No contexto clínico, o objetivo não é apenas promover atividade física, mas **calibrar o exercício dentro de uma janela de adaptação segura,** respeitando os limites biológicos e comportamentais do indivíduo.

Do ponto de vista clínico, esse princípio impõe implicação direta: **recomendações genéricas carecem de precisão terapêutica**. Prescrever exercício implica definir dose mínima eficaz, progressão segura e monitoramento de resposta. Assim como na terapêutica medicamentosa, estímulos insuficientes tendem a ser ineficazes; estímulos excessivos podem ser deletérios. Entre esses extremos encontra-se a zona de adaptação fisiológica ótima.

Portanto, a incorporação explícita do conceito de relação dose–resposta à prática assistencial desloca o exercício do campo do aconselhamento comportamental para o domínio da intervenção terapêutica estruturada. Nesse contexto, intensidade, volume e progressão deixam de ser variáveis acessórias e passam a constituir elementos centrais do raciocínio clínico.

No âmbito específico das doenças musculoesqueléticas, a compreensão da relação dose–resposta torna-se determinante para a efetividade terapêutica. Na osteoartrose, por exemplo, programas estruturados de fortalecimento com intensidade e progressão adequadas demonstram redução significativa da dor e melhora funcional, enquanto estímulos insuficientes tendem a produzir benefícios discretos ou inconsistentes (Fransen et al., 2015). Na sarcopenia, a resposta hipertrófica e o ganho de força dependem criticamente da magnitude da sobrecarga mecânica imposta ao músculo, sendo intervenções de baixa intensidade incapazes de induzir adaptações estruturais relevantes. De modo semelhante, na osteoporose, a manutenção ou o incremento da densidade mineral óssea requer estímulos mecânicos acima de determinado limiar osteogênico, reforçando que a prescrição subterapêutica compromete o potencial adaptativo do tecido ósseo (Kohrt; Barry; Schwartz, 2009).

Assim, nas diferentes condições musculoesqueléticas, não é apenas a presença do exercício que determina o desfecho clínico, mas a adequação de sua dose em relação ao objetivo terapêutico pretendido.

4. RECOMENDAÇÕES ATUAIS DE ATIVIDADE FÍSICA PARA MANUTENÇÃO DA SAÚDE CORPORAL E MENTAL

Alcançar os benefícios plenos da atividade física exige mais do que apenas a intenção de se mover; requer estratégia e consistência, guiadas por evidências científicas. As recomendações e diretrizes atuais, elaboradas por organizações de saúde globais como a OMS (2020), servem como o mapa mais confiável para traduzir a teoria da Fisiologia do Exercício em práticas diárias que realmente impactam a longevidade e a qualidade de vida, prevenindo e tratando as doenças musculoesqueléticas. Esta seção visa a apresentar o consenso científico sobre a dose ideal de movimento, abrangendo não apenas a frequência e a duração, mas também a intensidade necessária para promover adaptações robustas tanto na estrutura musculoesquelética quanto nos sistemas cardiovascular e metabólico nas diferentes fases da vida do ser humano. O objetivo é fornecer as ferramentas para que o leitor saiba exatamente o que fazer para proteger seu paciente ou sua comunidade contra as doenças crônicas da inatividade.

Sabe-se que a saúde proporcionada pela atividade física é holística e transcende a mera aptidão corporal. As diretrizes modernas reconhecem cada vez mais o papel crucial do exercício na manutenção da saúde mental e cognitiva. A mesma dose de atividade física que fortalece seus ossos é aquela que atua como um poderoso agente neuroprotetor, auxiliando na regulação do humor, na redução dos níveis de estresse e na prevenção de distúrbios como ansiedade e depressão. Portanto, as recomendações que se seguem devem ser vistas sob uma ótica dupla: são protocolos para a preservação do corpo físico e, simultaneamente, guias essenciais para a manutenção da clareza mental e do bem-estar emocional em todas as fases da vida.

É um consenso inegável, conhecido por todos nós, profissionais da saúde ou leigos, que a atividade física é o pilar fundamental para a manutenção da saúde corporal e mental. A vasta literatura apresentada neste livro comprova sua eficácia na prevenção de doenças crônicas, no fortalecimento do sistema musculoesquelético e na promoção do bem-estar psicológico. No entanto, o verdadeiro desafio não reside em reconhecer o benefício, mas sim em aplicar o conhecimento: você sabe prescrever a dose certa dessa atividade para que ela seja efetiva nestas áreas? Transitar da convicção geral que o "exercício faz bem" para a prescrição individualizada, "faça exatamente isso, com esta intensidade e nesta frequência". Isso é o que separa a intenção do resultado. É com o objetivo de fornecer essa precisão que mergulharemos nas diretrizes e recomendações baseadas em evidências.

As Diretrizes da OMS sobre atividade física e comportamento sedentário fornecem recomendações de saúde pública baseadas em evidências para crianças, adolescentes, adultos e idosos sobre a quantidade de atividade física (frequência, intensidade e duração) necessária para oferecer benefícios significativos à saúde e mitigar os riscos à saúde (Ding et al. 2020). Podem ser facilmente acessadas por: https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/faa83413-d89e-4be9-bb01-b24671aef7ca/content.

4.1 Diretrizes Internacionais

Traduzido de: WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour © World Health Organization 2020.

CRIANÇAS E ADOLESCENTES (5 – 17 ANOS)

- Em crianças e adolescentes, a atividade física proporciona benefícios para os seguintes resultados de saúde: melhoria da aptidão física (aptidão cardiorrespiratória e muscular), saúde cardiometabólica (pressão arterial, dislipidemia, glicose e resistência à insulina), saúde óssea, resultados cognitivos (desempenho acadêmico, função executiva), saúde mental (redução dos sintomas de depressão) e redução da adiposidade.

Recomenda-se que Crianças e Adolescentes devem realizar:

- Pelo menos uma média de 60 minutos por dia de atividade física de intensidade moderada a vigorosa, principalmente aeróbica, ao longo da semana. Recomendação forte, evidência de certeza moderada
- Atividades aeróbicas de alta intensidade, bem como aquelas que fortalecem os músculos e os ossos, devem ser incorporadas pelo menos 3 dias por semana. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.

Declarações de boas práticas:

- Praticar alguma atividade física é melhor do que não praticar nenhuma;

- Se crianças e adolescentes não estiverem cumprindo as recomendações, praticar alguma atividade física beneficiará sua saúde;
- Crianças e adolescentes devem começar praticando pequenas quantidades de atividade física e aumentar gradualmente a frequência, intensidade e duração ao longo do tempo.
- É importante proporcionar a todas as crianças e adolescentes oportunidades seguras e equitativas, além de incentivo, para participar de atividades físicas que sejam agradáveis, ofereçam variedade e sejam adequadas à sua idade e capacidade.
- **Alerta ⚠:** Em crianças e adolescentes, níveis mais elevados de comportamento sedentário estão associados aos seguintes resultados negativos para a saúde: aumento da adiposidade; pior saúde cardiometabólica, condicionamento físico, conduta comportamental, comportamento pró-social; e redução da duração do sono.
- **Limites:** Crianças e adolescentes devem limitar o tempo gasto em atividades sedentárias, principalmente o tempo de uso recreativo de telas. Recomendação forte, evidência de baixa certeza.

ADULTOS (18 – 64 ANOS)

- Em adultos, a atividade física traz benefícios para os seguintes resultados de saúde: melhoria na mortalidade por todas as causas, mortalidade por doenças cardiovasculares, incidência de hipertensão, incidência de cânceres específicos, casos de diabetes tipo 2, saúde mental (redução dos sintomas de ansiedade e depressão); saúde cognitiva e sono. Medidas de adiposidade também podem melhorar.

Recomenda-se que todos os adultos devem realizar:

- Pelo menos 150 a 300 minutos de atividade física aeróbica de intensidade moderada; ou pelo menos 75 a 150 minutos de atividade física aeróbica de intensidade vigorosa; ou uma combinação equivalente de atividades de intensidade moderada e vigorosa ao longo da semana, para obter benefícios substanciais para a saúde. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.
- Para benefícios adicionais à saúde os adultos também devem realizar atividades de fortalecimento muscular em intensidade moderada ou maior que envolvam todos os principais grupos musculares em 2 ou mais dias por semana, pois essas

proporcionam benefícios adicionais à saúde. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.

- Adultos podem aumentar a atividade física aeróbica de intensidade moderada para mais de 300 minutos; ou realizar mais de 150 minutos de atividade física aeróbica de intensidade vigorosa; ou uma combinação equivalente de atividades de intensidade moderada e vigorosa ao longo da semana para obter benefícios adicionais à saúde. Recomendação condicional, evidência de certeza moderada

Declarações de boas práticas:

- Praticar alguma atividade física é melhor do que não praticar nenhuma.
- Se os adultos não estiverem seguindo essas recomendações, praticar alguma atividade física trará benefícios à sua saúde.
- Os adultos devem começar praticando pequenas quantidades de atividade física e aumentar gradualmente a frequência, a intensidade e a duração ao longo do tempo.
- **Alerta** ⚠: Em adultos, níveis mais elevados de comportamento sedentário estão associados aos seguintes desfechos negativos para a saúde: mortalidade por todas as causas, mortalidade por doenças cardiovasculares e mortalidade por câncer, além de incidência de doenças cardiovasculares, câncer e diabetes tipo2.
- **Limites:** Recomenda-se que os adultos limitem o tempo gasto em atividades sedentárias. Substituir o tempo sedentário por atividade física de qualquer intensidade (incluindo atividade leve) traz benefícios para a saúde. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.
- Para ajudar a reduzir os efeitos prejudiciais de altos níveis de comportamento sedentário na saúde, os adultos devem procurar fazer mais do que os níveis recomendados de atividade física de intensidade moderada a vigorosa. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.

IDOSOS (65 ANOS OU MAIS)

- Em idosos, a atividade física traz benefícios para os seguintes resultados de saúde: redução da mortalidade por todas as causas, mortalidade por doenças cardiovasculares, incidência de hipertensão, incidência de cânceres específicos, incidência de diabetes tipo 2, saúde mental (redução dos sintomas de ansiedade e depressão), saúde cognitiva e sono; medidas de adiposidade também podem

melhorar. Em idosos, a atividade física ajuda a prevenir quedas e lesões relacionadas a quedas, além de declínios na saúde óssea e na capacidade funcional.

Recomenda-se que todos os idosos devem realizar:

- Pelo menos 150 a 300 minutos de atividade física aeróbica de intensidade moderada; ou pelo menos 75 a 150 minutos de atividade física aeróbica de intensidade vigorosa; ou uma combinação equivalente de atividades de intensidade moderada e vigorosa ao longo da semana, para obter benefícios substanciais para a saúde. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.
- Para benefícios adicionais à saúde, os idosos também devem realizar atividades de fortalecimento muscular de intensidade moderada ou maior, que envolvam todos os principais grupos musculares, em 2 ou mais dias por semana, pois essas proporcionam benefícios adicionais à saúde. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.
- Como parte de sua atividade física semanal, os idosos devem realizar atividades variadas e multicomponentes que enfatizem o equilíbrio funcional e o treinamento de força em intensidade moderada ou maior, em 3 ou mais dias por semana, para melhorar a capacidade funcional e prevenir quedas. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.
- Idosos podem aumentar a atividade física aeróbica de intensidade moderada para mais de 300 minutos; ou realizar mais de 150 minutos de atividade física aeróbica de intensidade vigorosa; ou uma combinação equivalente de atividades de intensidade moderada e vigorosa ao longo da semana, para obter benefícios adicionais à saúde. Recomendação condicional, evidência de certeza moderada.

Declarações de boas práticas:

- Fazer alguma atividade física é melhor do que não fazer nenhuma.
- Se os idosos não estiverem cumprindo as recomendações, praticar alguma atividade física trará benefícios à saúde.
- Os idosos devem começar com pequenas quantidades de atividade física e aumentar gradualmente a frequência, a intensidade e a duração ao longo do tempo.
- Os idosos devem ser tão fisicamente ativos quanto sua capacidade funcional permitir e ajustar seu nível de esforço para a atividade física de acordo com seu nível de condicionamento físico.

- **Alerta** ⚠: Em idosos, níveis mais elevados de comportamento sedentário estão associados aos seguintes resultados negativos para a saúde: mortalidade por todas as causas, mortalidade por doenças cardiovasculares e câncer, mortalidade e incidência de doenças cardiovasculares, câncer e incidência de diabetes tipo 2.
- **Limites:** Recomenda-se que idosos devem limitar o tempo passado em comportamento sedentário. Substituir o tempo sedentário por atividade física de qualquer intensidade (incluindo intensidade leve) proporciona benefícios à saúde. Recomendação forte, evidência de certeza moderada**.**
- Para ajudar a reduzir os efeitos prejudiciais de altos níveis de comportamento sedentário na saúde, os idosos devem procurar fazer mais do que os níveis recomendados de atividade física de intensidade moderada a vigorosa. Recomendação forte, evidência de certeza moderada.

4.2 Interpretação clínica crítica: Diretrizes Globais e Especificidade Musculoesquelética

As diretrizes e recomendações que exploramos fornecem a base quantificável para a intervenção mais poderosa na saúde. Vimos que a eficácia do movimento, reside na dose correta: a combinação calibrada de intensidade, frequência e tipo de exercício. Lembre-se que tais diretrizes são o ponto de partida, ou seja, o mínimo essencial cientificamente comprovado para a população geral. O desafio agora passa da teoria para a prática: integrar esses princípios de forma sustentável na rotina diária, principalmente dos indivíduos portadores de doenças musculoesqueléticas. Embora as diretrizes da Organização Mundial da Saúde estabeleçam parâmetros claros e robustos para atividade física em nível populacional, incluindo recomendações aplicáveis a indivíduos com doenças crônicas, não há, até o presente momento, documento específico direcionado às doenças musculoesqueléticas de forma isolada ou integrada. As orientações vigentes fundamentam-se em metas quantitativas gerais de volume e intensidade, adequadas sob perspectiva de saúde pública global. Contudo, tais recomendações não detalham especificidades biomecânicas, limitações estruturais ou particularidades funcionais frequentemente observadas em indivíduos com osteoartrose, osteoporose, sarcopenia ou dor lombar crônica. Esse cenário reforça a necessidade de contextualização clínica e adaptação individualizada das diretrizes gerais quando aplicadas ao declínio locomotor associado ao envelhecimento.

Com essa clareza sobre o quanto e como se mover, estamos prontos para avançar e discutir a aplicação prática dessas doses, analisando como planejar e monitorar intervenções concretas e duradouras no tratamento e prevenção das principais doenças musculoesqueléticas.

4.3 Novos horizontes – a evolução das Diretrizes de Atividade Física: da Ciência de Volume à Medicina humanizada

Embora as recomendações atuais da Organização Mundial da Saúde (OMS) possuam uma base científica sólida, evidenciando a relação dose-resposta entre movimento e longevidade, as pesquisas a partir de 2026 apontam para uma transição do paradigma de "quantidade" para o de "qualidade e oportunidade". O foco tem se deslocado da simples contagem de minutos semanais para a compreensão do impacto metabólico de períodos curtos de alta intensidade e a interrupção estratégica do comportamento sedentário.

Pesquisas como a de Biswas et al. (2025), baseando-se na já descrita e clara relação dose-resposta entre a intensidade da atividade física e a mortalidade ou a redução do risco de doenças não transmissíveis, mostram que cada minuto de atividade vigorosa é dado como o dobro do peso de atividades de intensidade moderada, representando uma proporção de 1:2. Essa convenção, como vimos, é baseada em valores de equivalente metabólico (MET) em que cada atividade vigorosa (>6 MET) requer, em média, cerca de duas vezes o gasto energético de atividades moderadas (3–6 MET). Porém, essa convenção é sustentada por evidências epidemiológicas de autorrelatos, como questionários. Nessa importante pesquisa, Biswas et al. (2025) avaliaram uma grande coorte populacional envolvendo **73.485 adultos** com idade entre 40 e 69 anos de idade, em que a **idade média dos participantes foi de 61,6 anos**, 41.420 (56,4%) eram mulheres e 32.065 (43,6%) eram homens. Utilizando a classificação de intensidade de atividade física derivada do acelerômetro, os 73.485 participantes do Biobank do Reino Unido tiveram um **acompanhamento médio de 8 anos.** O estudo avaliou a equivalência de intensidade leve e moderada em relação a cada minuto de intensidade vigorosa contra uma gama de resultados-chave relacionados à mortalidade geral, às doenças cardio-metabólicas e ao câncer. Os pesquisadores chegaram surpreendente à conclusão de que **cada minuto de atividade de intensidade vigorosa é aproximadamente equivalente a 4–9 minutos de atividade física de intensidade moderada e 53-156 minutos de intensidade leve, sugerindo um desvio considerável das convenções de evidências autorrelatadas anteriormente** (Biswas et al. 2025).

Esse movimento sugere que as futuras diretrizes poderão ser mais flexíveis, validando “momentos” de atividade física como componentes essenciais para a saúde pública em um mundo cada vez mais automatizado.

As perspectivas futuras indicam que as recomendações genéricas de "150 a 300 minutos" podem evoluir para prescrições personalizadas baseadas em dados biométricos em tempo real e até perfis genéticos. A partir de 2026, o desafio da OMS reside em integrar esses avanços tecnológicos — que permitem monitorar com exatidão a carga interna de treinamento e a recuperação — com a necessidade de manter diretrizes acessíveis e aplicáveis a populações de países de baixa e média renda, onde o acesso à tecnologia ainda é desigual.

Por fim, a discussão sobre o futuro da atividade física deve considerar a integração indissociável entre saúde física e bem-estar mental, um pilar que ganhou contornos críticos após os dados de monitoramento do Plano de Ação Global (GAPPA)[1]. Esse novo plano de ação global tem como objetivo ajudar os países a ampliar as políticas públicas de promoção da atividade física. O plano responde às solicitações dos países por orientações atualizadas e por uma estrutura de ações políticas eficazes e viáveis para aumentar a atividade física em todos os níveis. Uma característica fundamental deste novo plano é a sua defesa de uma abordagem sistêmica, na qual a implementação eficaz exigirá uma liderança ousada, combinada com parcerias intergovernamentais e multissetoriais em todos os níveis, para alcançar uma resposta coordenada e abrangente.

As estratégias futuras tendem a priorizar o "exercício como medicina" dentro dos sistemas primários de saúde. Isso implica que as recomendações não serão apenas guias de estilo de vida, mas protocolos clínicos integrados que consideram o ambiente urbano, a saúde cognitiva e a resiliência emocional como resultados diretos de uma sociedade fisicamente ativa.

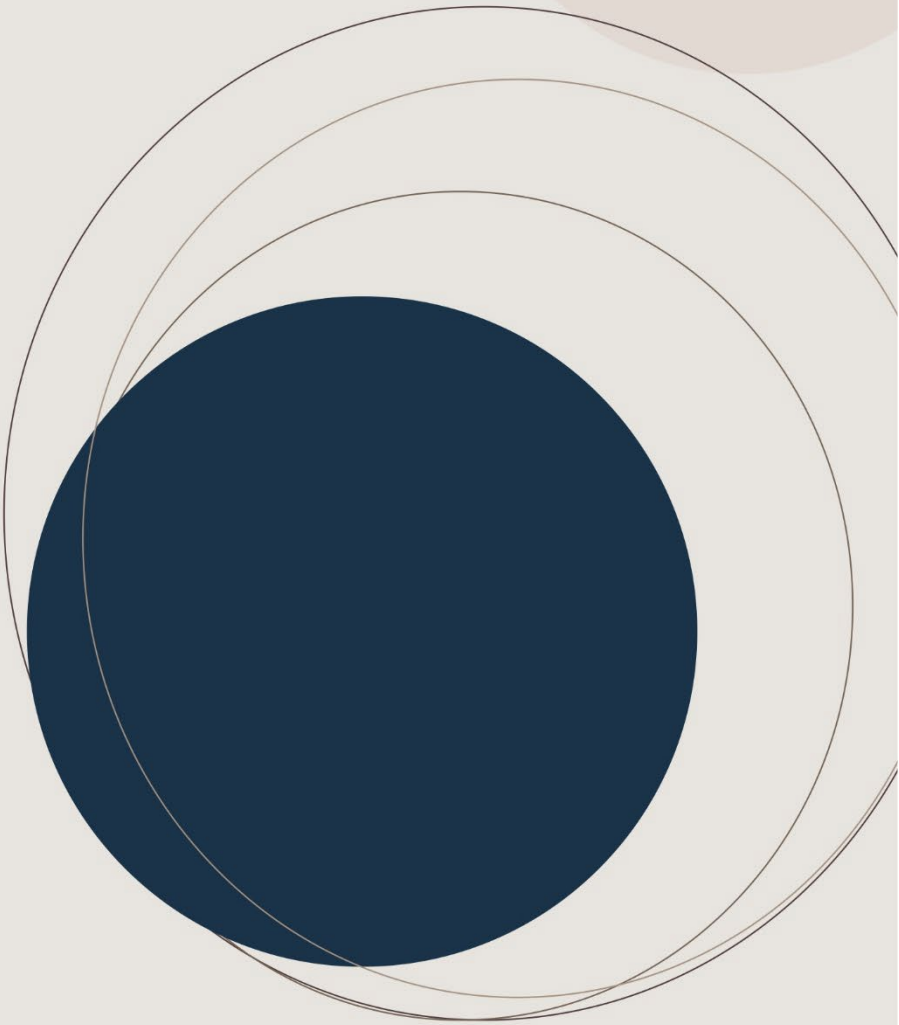
[1] [1] WHO. https://www.who.int/initiatives/gappa/about. Acesso em: 18 jan. 2026.



Fonte: Concepção e elaboração autoral, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

PARTE II

APLICAÇÃO CLÍNICA NAS PRINCIPAIS CONDIÇÕES



5. EXERCÍCIO E OSTEOARTRITE[2]

5.1. Fisiopatologia, Classificação Estrutural e Implicações para a Prescrição de Exercício

A doença articular degenerativa mais comum do sistema musculoesquelético é frequentemente denominada **osteoartrose** ou **osteoartrite**, termos muitas vezes utilizados como sinônimos, embora apresentem origens etimológicas distintas. O sufixo -ose tradicionalmente remete a processos degenerativos, enquanto -ite é associado à inflamação. Atualmente, reconhece-se que a doença envolve simultaneamente alterações estruturais degenerativas e mecanismos inflamatórios de baixo grau. Por essa razão, ao longo deste livro, ambos os termos poderão ser utilizados conforme o contexto clínico ou científico.

A osteoartrite (OA) é caracterizada pela perda progressiva da homeostase entre cartilagem articular, osso subcondral, sinóvia, meniscos e estruturas periarticulares. A osteoartrite envolve interação complexa entre fatores biomecânicos, inflamatórios e metabólicos. O evento central reside na alteração do metabolismo condrocitário, com aumento da atividade de metaloproteinases e outras enzimas degradativas, resultando em perda de proteoglicanos, desorganização da matriz extracelular e fissuras na cartilagem articular. Paralelamente, ocorre remodelação do osso subcondral, formação de osteófitos e inflamação sinovial de baixo grau, elementos que contribuem diretamente para o quadro doloroso e para a progressão estrutural da doença (Dicesare, 2000; Felson, 2013).

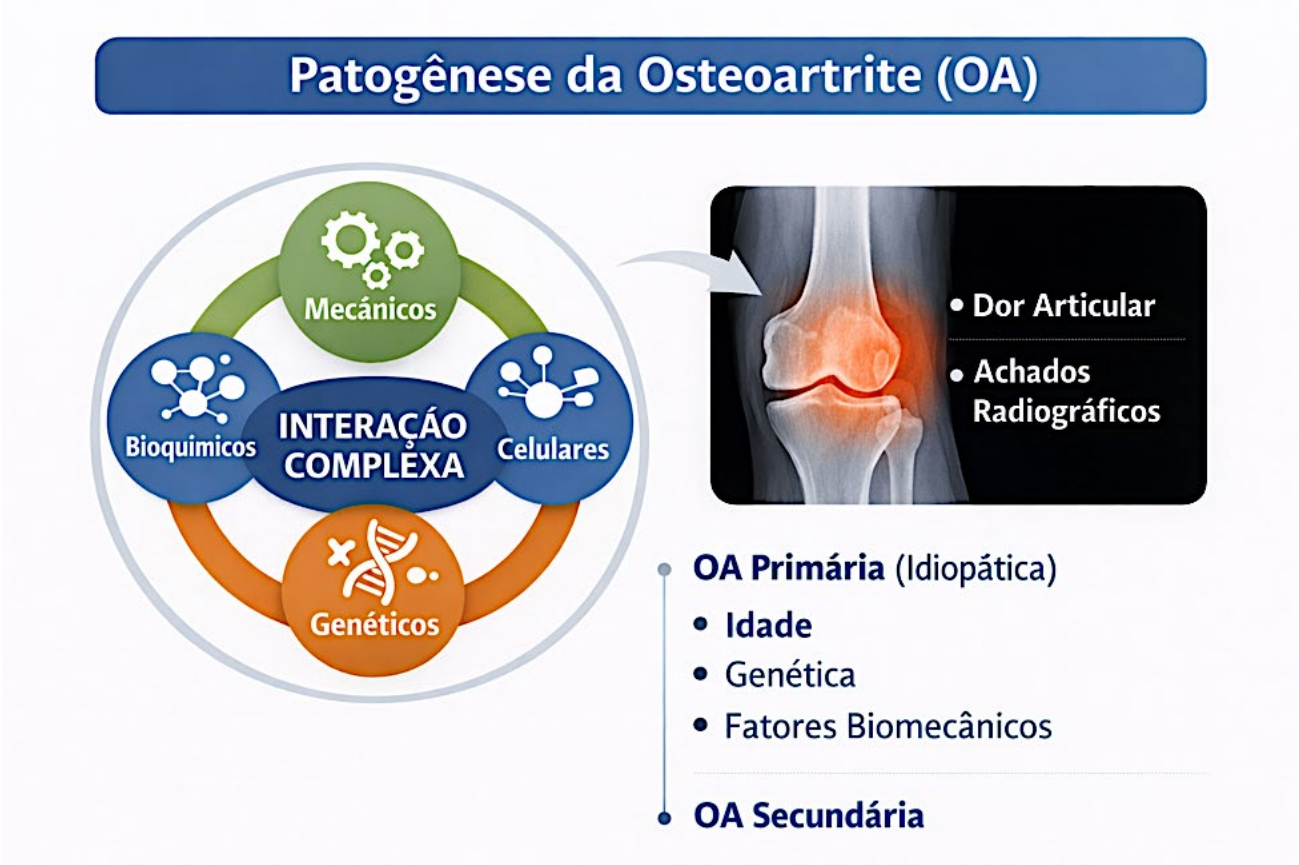
Estima-se que mais de 500 milhões de pessoas no mundo vivam com osteoartrite, com crescimento expressivo nas últimas décadas em decorrência do envelhecimento populacional e da transição nutricional global. Segundo estimativas do Global Burden of Disease, a osteoartrite figura entre as principais causas de anos vividos com incapacidade (Years Lived with Disability – YLDs), contribuindo de maneira substancial para a carga global de anos de vida ajustados por incapacidade (Disability-Adjusted Life Years – DALYs) associada às condições musculoesqueléticas. A utilização recorrente do termo DALYs ao longo deste livro não é casual, mas metodológica: trata-se de uma métrica integrada que permite dimensionar o peso coletivo da doença para além da mortalidade, enfatizando o impacto funcional acumulado na população. No caso da osteoartrose, sua relevância reside

[2] Os termos osteoartrite e osteoartrose são empregados de forma intercambiável na literatura para descrever a mesma entidade clínica, caracterizada por alterações degenerativas articulares associadas a componente inflamatório de baixo grau. A distinção entre as denominações é predominantemente histórica e semântica, sem implicações consistentes do ponto de vista diagnóstico ou terapêutico. Portanto, ao longo desta obra ambos os termos poderão ser utilizados conforme o contexto clínico ou científico.

precisamente nessa elevada carga de incapacidade progressiva, que compromete autonomia, mobilidade e participação social (GBD, 2019, 2023)

Portanto, OA é caracterizada por remodelação anormal dos tecidos articulares impulsionada por uma série de mediadores inflamatórios, e não simplesmente um processo de “desgaste”. Assim, podemos resumi-la como uma **alteração degenerativa, crônica, inflamatória de caráter progressivo que acomete as articulações**.

Figura 1 - Modelo integrativo da patogênese da osteoartrite: interação complexa entre mecanismos biomecânicos, alterações celulares e moleculares, predisposição genética e modulação imunológica.



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

A osteoartrite geralmente pode ser subcategorizada em OA primária (idiopática), ou seja, sem origem conhecida e secundária, por causa prévia conhecida. Causas comuns de OA secundária incluem etiologias pós-traumáticas, displásicas, infecciosas, inflamatórias ou bioquímicas que são relativamente bem compreendidas. Embora a etiologia da OA primária permaneça em grande parte indefinida, fatores genéticos, alterações fisiológicas relacionadas à idade, etnia e fatores biomecânicos provavelmente desempenham um papel importante (Dicesare, 2000; Felson, 2013).

A compreensão contemporânea da osteoartrite também incorpora o papel da obesidade e da inflamação metabólica. O tecido adiposo, além de aumentar a carga

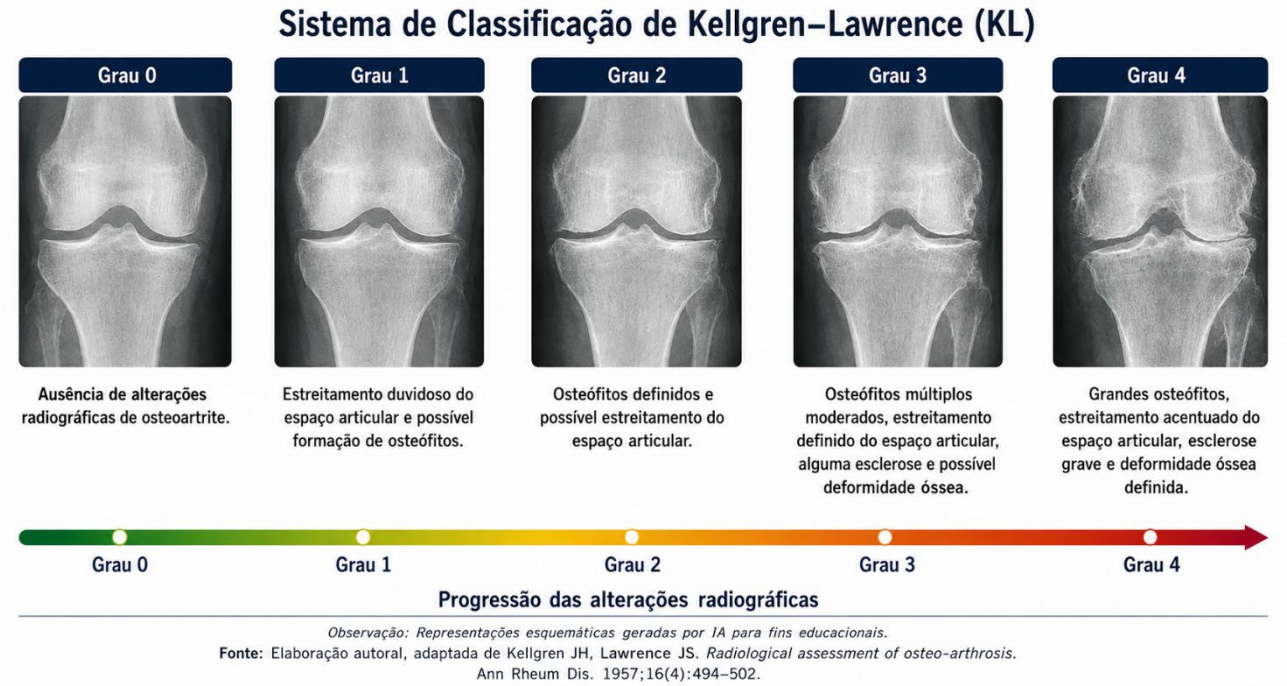
mecânica sobre a articulação, atua como órgão metabolicamente ativo, liberando adipocinas e mediadores inflamatórios que modulam negativamente o ambiente articular. Essa interação mecânico-metabólica explica, em parte, a associação entre osteoartrite e síndrome metabólica, ampliando o entendimento da doença para além da sobrecarga estrutural isolada (Mobasheri et al. 2017; Zhuo et al. 2012)

Dentro desse espectro, a osteoartrite do joelho assume protagonismo clínico e funcional. É a localização mais prevalente da doença e aquela que concentra parcela significativa da incapacidade global associada às degenerações articulares. Pela sua função biomecânica estratégica na sustentação de carga, marcha e transferência de forças, o joelho representa o epicentro do comprometimento funcional relacionado à degeneração articular. A progressão da osteoartrite patelofemoral e principalmente femorotibial reduz níveis de atividade física, favorece perda de força muscular e contribui para um ciclo de deterioração estrutural e funcional. Por essa razão, neste capítulo concentraremos o estudo da prescrição e dos efeitos do exercício físico na osteoartrite da articulação do joelho. Essa delimitação não implica exclusividade anatômica, mas escolha pedagógica e clínica: o joelho constitui modelo biomecânico exemplar para compreender os princípios adaptativos do exercício nas doenças degenerativas articulares e permite extrapolações fundamentadas para outras articulações acometidas.

Fica mais fácil entender essa degeneração articular quando temos imagens radiográficas da articulação comprometida. Nesse contexto, alguns autores classificaram o grau de desgaste articular e atualmente a **Classificação de Kellgren e Lawrence (K-L)** é o sistema radiológico mais utilizado e aceito para classificar a gravidade da osteoartrite (artrose) do joelho. Ela se baseia em achados de radiografias simples, com carga (paciente posicionado em pé), e atribui um grau de **0 a 4** de acordo com a progressão da doença.

Os principais critérios avaliados são a presença e tamanho de osteófitos, o estreitamento do espaço articular (espaço entre os ossos, onde fica a cartilagem), a esclerose subcondral (endurecimento do osso abaixo da cartilagem) e a deformidade óssea.

Figura 2 – Kellgren – Lawrence (KL) Grading System



Grau	Descrição Radiológica
0	**Normal:** Ausência de sinais radiográficos de osteoartrite.
1	**Duvidoso:** Possível estreitamento do espaço articular e provável formação de pequenos osteófitos (osteofitose mínima).
2	**Mínimo/Leve:** Presença de osteófitos definidos e possível, mas discreto, estreitamento do espaço articular.
3	**Moderado:** Múltiplos osteófitos de tamanho moderado, estreitamento definido do espaço articular, alguma esclerose subcondral (aumento da densidade óssea) e possível deformidade das extremidades ósseas.
4	**Grave:** Grandes osteófitos, marcado e severo estreitamento do espaço articular (podendo haver contato osso com osso), esclerose subcondral grave e deformidade óssea nítida.

Fonte: Traduzido e Adaptado de: Kellgren JH, Lawrence JS (1957).

Essa escala é fundamental para auxiliar médicos no diagnóstico, na avaliação da progressão da doença e na definição da melhor estratégia de tratamento. Embora amplamente utilizada, essa classificação apresenta reconhecida dissociação entre gravidade radiográfica e intensidade sintomática, o que reforça a necessidade de avaliação clínica integrada. A correlação entre grau radiográfico e prescrição de exercício deve ser interpretada com nuance clínica. Em graus iniciais (0–1), a intervenção pode assumir caráter preventivo e restaurador, com progressão plena de carga e foco em controle neuromuscular. No grau 2, o fortalecimento permanece central, associado a estratégias de controle ponderal. Nos graus 3 e 4, embora haja maior comprometimento estrutural, o exercício continua indicado, com ajustes de amplitude, intensidade e modalidade conforme

tolerância funcional. **A gravidade radiográfica não constitui contraindicação absoluta ao exercício, mas parâmetro para refinamento terapêutico.**

Assim, a classificação de Kellgren–Lawrence organiza a dimensão morfológica da osteoartrite; o exercício atua na dimensão funcional e adaptativa. **A imagem descreve a estrutura, mas é a função que orienta a dose terapêutica.**

Após entendermos melhor as definições e evolução das osteoartrites (artroses), é natural pensarmos que se OA é o “desgaste articular”, quanto menos eu “usar” a articulação, menos ela irá “gastar”. É nesse aspecto que a maioria dos profissionais de saúde começa de maneira **errada** orientando seus pacientes.

Assim, o primeiro ponto importante antes de continuarmos este capítulo e que precisamos ter em mente é: **Engana-se quem pensa que o exercício vai "gastar mais" a articulação.** Partindo deste princípio e longe de agravar a condição, **o movimento regular, orientado e planejado é um poderoso aliado terapêutico**, atuando em múltiplas frentes para mitigar a progressão da doença e aliviar os sintomas dolorosos.

A atividade física emerge como um pilar fundamental e indispensável tanto na prevenção quanto no manejo das osteoartrites, desafiando a percepção comum de que o repouso é a única solução. A prática orientada promove o fortalecimento da musculatura adjacente às articulações, o que resulta em maior suporte e redução da sobrecarga sobre a cartilagem lesada. Revisões sistemáticas e estudos científicos confirmam que programas de exercícios, incluindo modalidades aeróbicas e de fortalecimento, podem levar a uma redução significativa da dor e melhoria da capacidade funcional e qualidade de vida dos pacientes. Além disso, o movimento contribui para a lubrificação articular, melhora a mobilidade articular e ajuda na manutenção de um peso corporal saudável, fator crucial na redução do estresse mecânico sobre as articulações afetadas, especialmente as que suportam peso como joelhos e quadris. O manejo do peso corporal, inclusive, é um fator chave de proteção, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).

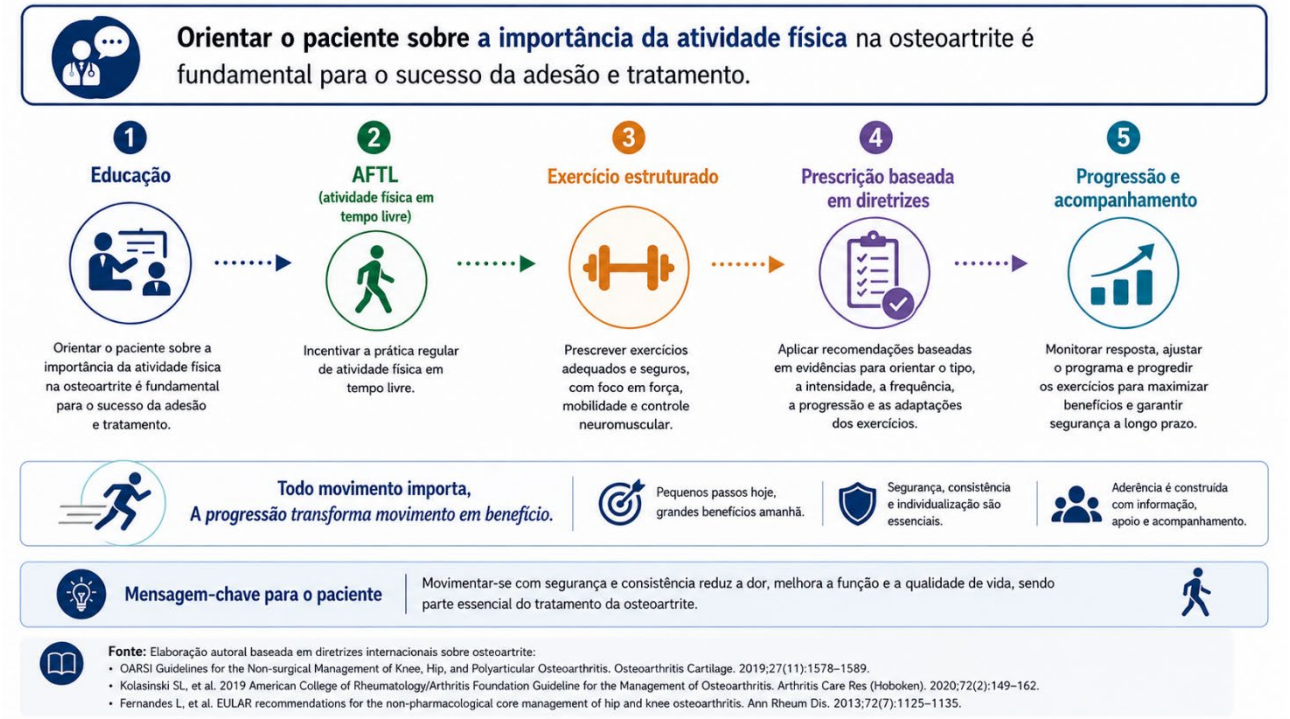
5.2 Educação sobre exercício na osteoartrite: estratégia para aumentar a adesão ao exercício terapêutico.

Como orientar o paciente sobre a importância da atividade física estruturada para o tratamento e prevenção da osteoartrite (OA)?

A educação sobre OA é considerada um padrão de atendimento, apesar da falta de artigos que abordem o tema. Devemos fornecer continuamente aos pacientes informações necessárias sobre a progressão da osteoartrite, técnicas de autocuidado, otimismo e uma expectativa positiva de benefício do tratamento. Este é o primeiro passo para o paciente aderir ao tratamento de maneira duradoura.

Começar passo a passo em direção às diretrizes mais robustas parece ser algo não tão fácil, mas podemos iniciar por orientar nossos pacientes a pequenos aumentos na atividade física de lazer no tempo livre (AFTL). Caminhando desta maneira até iniciarmos programas estruturados (exercícios) com medidas fáceis e apoiado em sustentabilidade científica (Figura 3).

Figura 3 – Orientação de Atividade Física de Lazer no Tempo Livre



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada.

A adesão aos exercícios só será integral se as práticas iniciais forem acessíveis e de fácil execução, já que a principal limitação nesses pacientes é funcional. Como sabemos, o ser humano não foi feito para se exercitar e gastar calorias de maneira espontânea. É recomendado orientar seu público que os exercícios são importantes, independentemente do nível da osteoartrite, pois além de melhorar estruturas musculares ao redor das articulações, também podem ajudar na perda de peso, reduzindo a carga mecânica sobre as superfícies cartilaginosas desgastadas. Aliás, esse é um ponto importante e fundamental, pois é muito comum pessoas terem a “desculpa” de que por sofrerem de dor

articular, não conseguem praticar exercícios e, por isso, não conseguem emagrecer. Exatamente, os pacientes também têm táticas para nos confrontar e tentar nos convencer de que eles não podem praticar exercícios.

Nesses casos, é importante esclarecer que a perda de peso está mais relacionada a uma dieta restritiva e equilibrada e que o exercício tem papel limitado nessa questão. O paciente precisa entender que somente a atividade física não vai o ajudar na perda de peso, de modo que, muitas vezes, precisamos unir uma dieta restritiva e bem orientada para controle da obesidade, além de medidas farmacológicas pontuais para controle da dor. Para garantir a sustentabilidade e adesão, inicialmente o foco deve recair sobre atividades de baixo impacto, como a caminhada em superfícies planas, se a OA for inicial (K-L=0-2), natação ou ciclismo (K-L=0-3), ou seja, atividades que estimulam a mobilidade articular sem agredir os tecidos sensíveis. Ao integrar o movimento como parte do tratamento não farmacológico, é possível transformar o prognóstico da doença, utilizando o exercício como uma ferramenta terapêutica segura e de baixo custo.

5.3 Elaboração de uma rotina saudável de exercícios para pacientes com osteoartrite

A personalização do treino, respeitando os limites biológicos de cada estágio da osteoartrose é fundamental e permite que o paciente mantenha a autonomia funcional e a qualidade de vida. Entretanto, existem exercícios que podem ser recomendados sem restrições, desde o início do tratamento para todos os pacientes com osteoartrose independentemente da localização ou do grau de acometimento. Diretrizes como a da OARSI (Osteoarthritis Research Society International), recomenda o exercício como tratamento essencial, considerado apropriado para uso pela maioria dos pacientes em praticamente qualquer cenário e considerados seguros para uso em conjunto, programas estruturados de exercícios em solo, controle de peso por meio da dieta em combinação com exercícios que envolvam mente-corpo, como por exemplo, Tai Chi e Yoga. Esses exercícios foram considerados pelo painel como eficazes e seguros para todos os pacientes com osteoartrite, principalmente de joelho, independentemente de comorbidades associadas, pois promovem manutenção da mobilidade articular e fortalecimento muscular sem sobrecarregar as articulações comprometidas, constituindo uma base segura e eficaz para programas de reabilitação e prevenção de progressão da doença.

Para OARSI as recomendações de nível 1B (mais de 75% de especialistas favoráveis e >50% de recomendação condicional) e nível 2 (60-74% de especialista favoráveis),

incluem exercícios aquáticos, auxiliares de marcha, terapia cognitivo-comportamental com um componente de exercícios e programas de autogestão foram as opções não farmacológicas recomendadas para indivíduos com OA de joelho e quadril sem comorbidades, comorbidades cardiovasculares ou com distúrbios de dor generalizada e/ou depressão. Exercícios aquáticos, embora apoiados por uma base de evidências modesta, demonstram benefícios robustos na dor e em medidas objetivas de função, receberam uma recomendação condicional devido a problemas de acessibilidade, ônus financeiro, bem como problemas com a adesão. Exercícios aquáticos não foram recomendados para pacientes que sofriam de fragilidade devido ao risco potencial de lesões acidentais.

Normalmente, as diretrizes internacionais são conservadoras em relação à prescrição de exercícios físicos em osteoartrites, pois buscam proteger os pacientes diante da grande variabilidade individual, considerando fatores como idade, comorbidades associadas, grau de comprometimento articular e histórico funcional. Essa abordagem cautelosa visa a minimizar riscos de exacerbação da dor ou progressão da degeneração articular, ao mesmo tempo em que promove adaptações seguras e progressivas.

Para o treinamento de força, Raposo et al. (2021) mostraram em revisão sistemática de ensaios clínicos randomizados sobre exercícios e osteoartrite do joelho uma gama de tipos de exercícios físicos de força, variando desde circuito de treinamento de força com pesos livres, faixas elásticas ou peso corporal como resistência. Essa revisão também incluiu máquinas de resistência hidráulica, como supino, remadas, rosca bíceps, extensão de tríceps, desenvolvimento vertical, abdominais, abdução e adução de quadril, leg press para fortalecimento de quadríceps e máquinas flexoras para isquiotibiais.

O peso ideal para esses treinamentos com peso foi encontrado em alguns estudos por meio de uma carga de resistência de 60% de 1 Repetição Máxima Concêntrica (RMC), com 3 séries e o número de repetições variou com séries de 8 a 15 repetições. Para essa intervenção de força, o estudo que incluiu o teste de 1RMC mostrou melhora em todas as medidas de força das pernas, em comparação com o grupo controle (Vincent et al., 2019) e outro dado interessante é que não houve diferença estatisticamente significante comparando o ganho de força nos treinos concêntricos e excêntricos. Tais achados podem nos motivar, principalmente nos casos de osteoartrite do joelho, a orientar treinos de força concêntricos, que teoricamente são menos lesivos quando comparados aos treinos excêntricos de força.

Quanto ao estímulo aeróbico, a forma mais comum de exercício em terra encontrada nos estudos foi a bicicleta ergométrica. Programas de exercícios aeróbicos terrestres associados a movimentos lentos e multicomponentes (Tai Chi e Yoga) e aquáticos mostram efeitos comparáveis e positivos. Assim, há evidências substanciais sobre os efeitos do **exercício na melhora principalmente da dor e da força muscular em indivíduos com OA.** Com base em nossa revisão de literatura, para obter esses benefícios, os exercícios aeróbicos e de fortalecimento devem ser realizados no mínimo de 8 a 12 semanas, com 3 a 5 sessões por semana, cada sessão com duração de aproximadamente 1 hora.

O grande desafio dentro das constatações científicas é fazer com que esses exercícios orientados se encaixem nas recomendações da OMS. Zhao TE et al. (2025), em revisão sistemática com objetivo determinar o número e a proporção de intervenções de exercício em ensaios clínicos preexistentes para pessoas com osteoartrite de joelho (OAJ) que atendiam às diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) para atividade física, **mostraram que apenas um estudo atendeu a todos os componentes das diretrizes da OMS.** Das 122 intervenções que tinham uma idade média dos participantes superior a 65 anos, **nenhuma atendeu a todos os aspectos das diretrizes da OMS, incluindo treino de equilíbrio. Portanto, esta análise descritiva destacou a falta de intervenções de exercício em ensaios clínicos para pessoas com osteoartrite do joelho que satisfizeram as diretrizes da OMS.**

Conclui-se que orientar e prescrever exercícios para a osteoartrite continua sendo um desafio, uma vez que exige a individualização cuidadosa do programa terapêutico, considerando o estágio da doença, as comorbidades associadas, a tolerância à carga, o nível funcional e os objetivos do paciente, de modo a promover ganhos clínicos e funcionais sem agravar sintomas ou acelerar a progressão da degeneração articular.

5.4 Modelo Prático de prescrição de exercícios em Osteoartrite

1. **Intervenção principal (base do tratamento): Treinamento de Força**

Objetivo:

Redução da dor, melhora da função, aumento da estabilidade articular e modulação da sobrecarga mecânica.

Frequência:

2 – 3 vezes por semana.

Exemplos:

- exercícios resistidos para musculatura periarticular (ênfase em quadríceps na OA de joelho);
- leg press, extensão e flexão de joelho, abdução/adução de quadril, exercícios com faixas elásticas, pesos livres ou máquinas;
- intensidade aproximada de 60% de 1RMC, 3 séries de 8–15 repetições;
- progressão gradual conforme tolerância clínica e resposta inflamatória;
- priorização de estímulos predominantemente concêntricos em fases sintomáticas.

2. Estratégias associadas / suporte complementar

Objetivo:

Potencializar efeito terapêutico, modular inflamação de baixo grau e reduzir fatores de progressão estrutural.

Exemplos:

- exercício aeróbico de baixo impacto (bicicleta ergométrica, hidroginástica);
- programas multicomponentes (Tai Chi, Yoga) para controle motor e estabilidade;
- controle de peso corporal e manejo de síndrome metabólica (IMPORTANTE);
- educação do paciente quanto à carga articular adequada;
- integração com tratamento farmacológico quando indicado.

3. Parâmetros de atividade física / dose terapêutica

Objetivo:

Melhora da capacidade funcional, cardiorrespiratória e metabólica, com impacto na dor e qualidade de vida.

Recomendações:

- mínimo de 8–12 semanas de intervenção estruturada;
- 150–300 minutos semanais de atividade aeróbica moderada (ou equivalente);
- exercícios de fortalecimento ≥ 2 dias por semana;
- sessões com duração aproximada de 60 minutos.

Exemplos:

- paciente com maior limitação: bicicleta ergométrica com baixa resistência e progressão gradual;

- paciente funcional: combinação de fortalecimento estruturado + aeróbico moderado;
- alternativa aquática para casos com dor exacerbada.

4. Componentes funcionais e preventivos

Objetivo:

Redução de risco de progressão funcional, melhora da autonomia e prevenção de quedas.

Exemplos:

- treino de equilíbrio e propriocepção;
- exercícios de controle motor e estabilidade dinâmica;
- treino de marcha;
- correção de padrões biomecânicos compensatórios;
- integração de exercícios funcionais multiarticulares.

5. Individualização do programa terapêutico (princípio fundamental)

Considerar sempre:

- estágio radiográfico e clínico da OA;
- intensidade da dor e irritabilidade articular;
- presença de obesidade, sarcopenia ou comorbidades cardiometabólicas;
- nível funcional prévio;
- histórico de lesões ou cirurgias articulares.

Exemplo prático:

- paciente com limitação funcional importante → início com carga leve, ambiente aquático ou bicicleta, progressão conservadora;
- paciente funcionalmente ativo → progressão estruturada com ênfase em força e estabilidade dinâmica.

Nota de responsabilidade: As informações apresentadas neste guia têm caráter educacional e científico. A prescrição de exercícios e demais intervenções devem ser realizada por profissional habilitado, após avaliação individualizada do paciente. O autor não se responsabiliza por condutas terapêuticas adotadas sem a devida análise clínica.



Suporte Nutricional Associado ao exercício na Osteoartrite:

Objetivo:

- O suporte nutricional na osteoartrite tem como objetivos centrais: promover controle de peso (ponderal), especialmente nos casos associados à obesidade e síndrome metabólica, reduzindo sobrecarga mecânica e inflamação metabólica sistêmica;
- modular o estado inflamatório crônico de baixo grau associado ao fenótipo metabólico da doença;
- preservar massa e função muscular periarticular, favorecendo estabilidade articular e melhor resposta ao exercício terapêutico.

A osteoartrite deve ser compreendida como condição estrutural e metabólica, na qual composição corporal e qualidade muscular influenciam progressão e desfechos clínicos.

6. EXERCÍCIO E OSTEOPOROSE

6.1 Bases fisiopatológicas

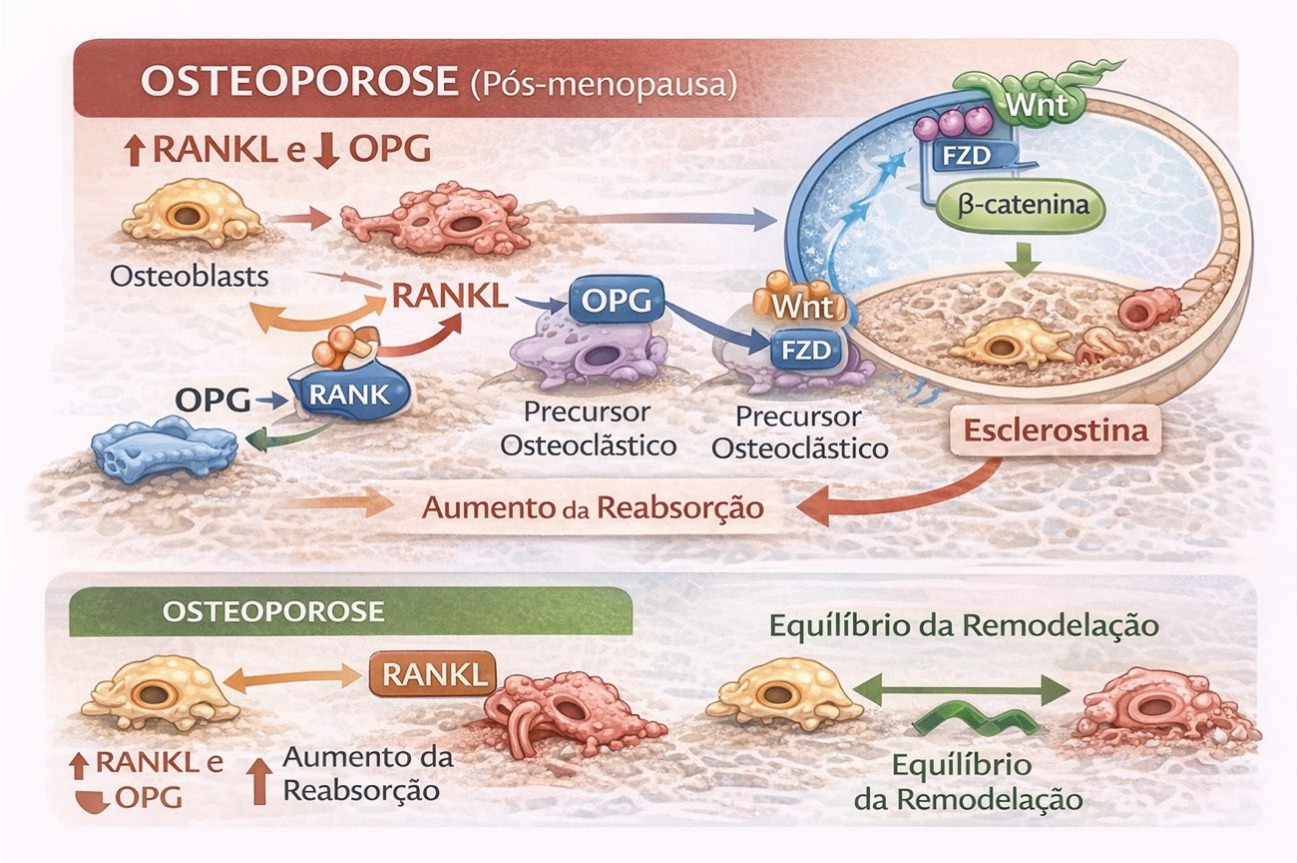
De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a osteoporose é definida como uma doença esquelética sistêmica progressiva caracterizada pela diminuição da massa óssea e deterioração microarquitetônica do tecido ósseo ou pela presença de uma fratura por fragilidade (Kanis, 2007). Essas fraturas por fragilidade são a quarta causa mais comum de doença crônica na Europa (UE) e ocorrem principalmente na coluna vertebral, na pelve e no terço proximal do fêmur.

Do ponto de vista fisiopatológico, o tecido ósseo encontra-se em constante remodelação ao longo da vida por meio de um processo dinâmico e coordenado entre reabsorção osteoclástica e formação osteoblástica. Em condições fisiológicas, há equilíbrio entre essas duas atividades, garantindo manutenção da massa e da qualidade estrutural do esqueleto. Na osteoporose, entretanto, ocorre um desequilíbrio nesse ciclo, com predomínio relativo da reabsorção óssea sobre a formação, levando à perda progressiva de massa e resistência óssea, principalmente em idosos. Ressalte-se que essa perda não afeta somente os idosos, mas também mulheres pós-menopausadas, mesmo quando a menopausa ocorre em idade mais jovem. Isso ocorre devido à disfunção ovariana, a qual resulta na diminuição da síntese de estrogênio, levando ao desequilíbrio do metabolismo ósseo, com aumento da atividade de células que reabsorvem tecido ósseo, os osteoclastos, e déficit de células que são responsáveis pela formação óssea. Tal desequilíbrio resulta na diminuição da densidade óssea, evoluindo para quadros de osteopenia e osteoporose.

A regulação celular da remodelação envolve principalmente o eixo RANK–RANKL–osteoprotegerina (OPG). O RANKL, produzido por osteoblastos e células estromais, liga-se ao receptor RANK presente nos precursores osteoclásticos, promovendo sua diferenciação e ativação. A osteoprotegerina atua como receptor “neutralizador”, inibindo essa ligação e reduzindo a reabsorção. Na osteoporose, especialmente na forma pós-menopausa, observa-se aumento da expressão de RANKL e redução relativa de OPG, favorecendo maior atividade osteoclástica. Paralelamente, alterações na via Wnt/β-catenina e aumento da expressão de esclerostina contribuem para diminuição da atividade osteoblástica, agravando o desequilíbrio do remodelamento (Compston; McClung; Leslie, 2019).

A osteoporose pós-menopausa está intimamente relacionada à deficiência estrogênica. O estrogênio exerce papel protetor ao modular a expressão de RANKL, reduzir a atividade osteoclástica e favorecer a sobrevivência osteoblástica. Sua queda acentuada após a menopausa leva ao aumento da reabsorção óssea, com impacto mais pronunciado no osso trabecular, particularmente nas vértebras. Já na osteoporose senil, o envelhecimento associa-se à redução progressiva da capacidade formadora dos osteoblastos, menor eficiência da mecanotransdução óssea, deficiência de vitamina D, alterações hormonais e sarcopenia, comprometendo tanto o osso cortical quanto o trabecular.

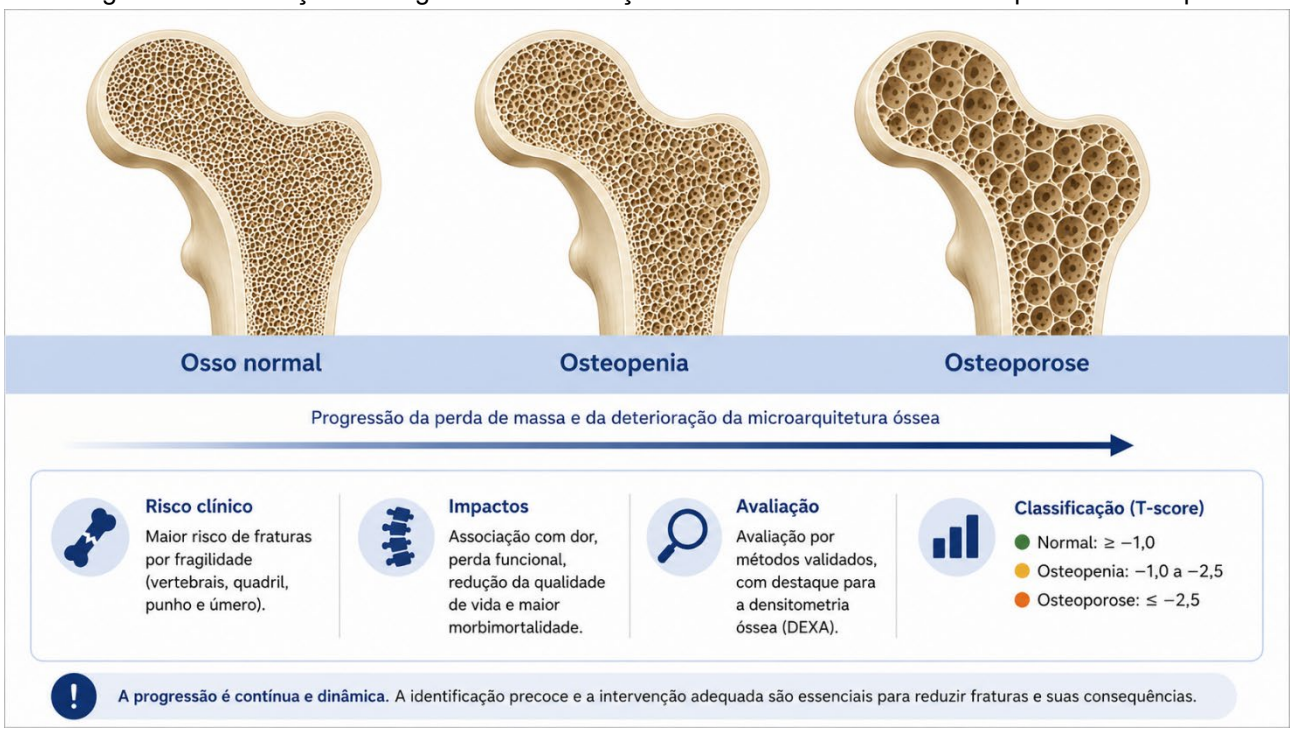
Figura 1 – Desequilíbrio do remodelamento ósseo na osteoporose



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Estruturalmente, a perda óssea envolve adelgaçamento das trabéculas, perda de conectividade da rede trabecular e aumento da porosidade cortical. Essas alterações comprometem não apenas a quantidade, mas também a qualidade do tecido ósseo, reduzindo sua resistência mecânica e aumentando a suscetibilidade a fraturas, mesmo na ausência de traumas de alta energia (Figura 2).

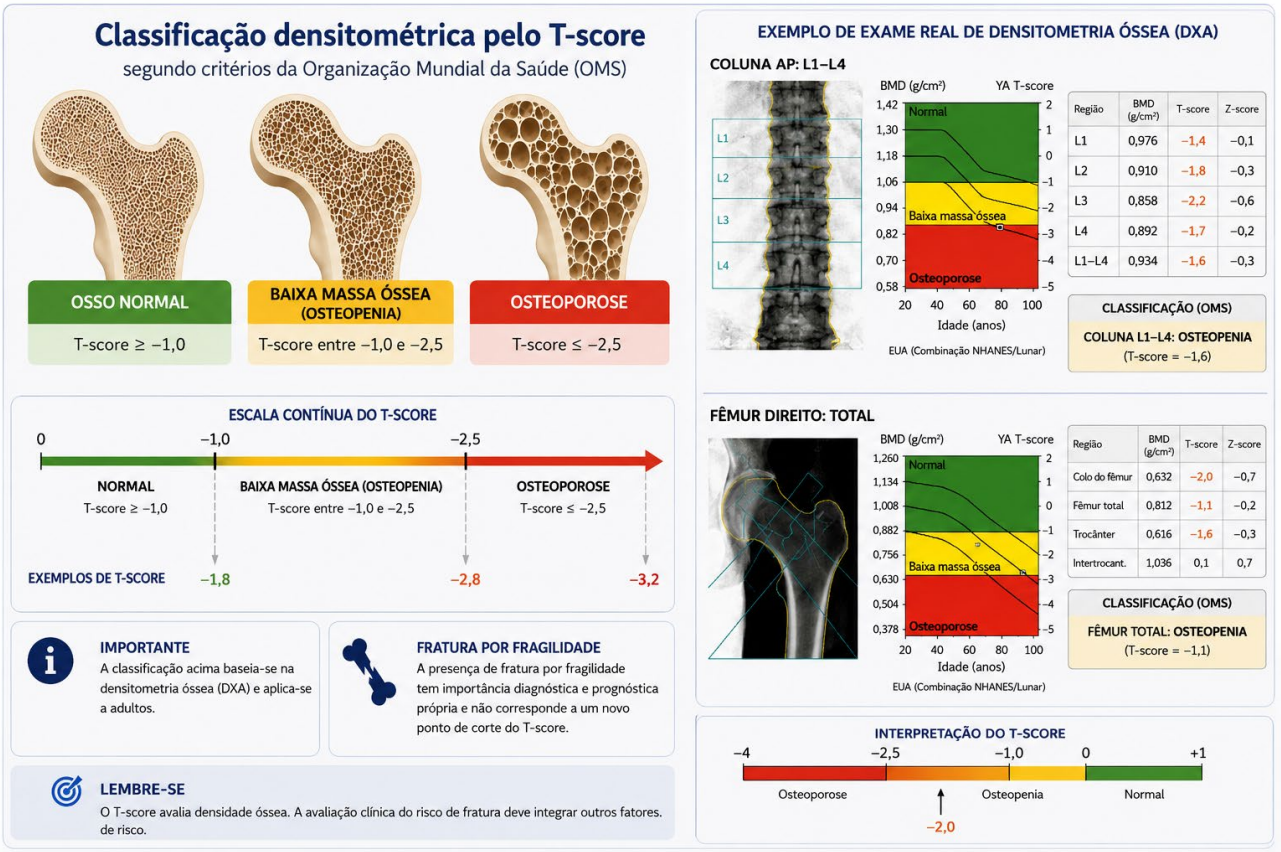
Figura 2 – A evolução da fragilidade e diminuição do trabeculado ósseo com o passar do tempo



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada

O diagnóstico da osteoporose baseia-se principalmente na avaliação da densidade mineral óssea (DMO) por meio da densitometria por dupla emissão de raios X (DXA). A Organização Mundial da Saúde estabelece a classificação a partir do T-score, que compara a DMO do paciente à de um adulto jovem saudável. Valores iguais ou superiores a –1,0 são considerados normais; entre –1,0 e –2,5 caracterizam osteopenia; e valores iguais ou inferiores a –2,5 definem osteoporose. Quando há T-score ≤ –2,5 associado a fratura por fragilidade, define-se osteoporose estabelecida (Figura3).

Figura 3 – Representação esquemática ilustrativa da classificação densitométrica segundo critérios da OMS (Kanis, 2007)



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Importante destacar que o diagnóstico também pode ser estabelecido independentemente da DMO na presença de fratura por baixo impacto, como fraturas vertebrais ou de quadril decorrentes de queda da própria altura. Nesses casos, a fragilidade óssea já está clinicamente evidenciada. A avaliação do risco de fratura pode ser complementada por ferramentas como o FRAX® (Fracture Risk Assessment Tool) que estima a probabilidade de fraturas maiores e de quadril em dez anos, incorporando fatores clínicos além da DMO. Marcadores bioquímicos de remodelação óssea, como CTX e P1NP, podem auxiliar na avaliação da atividade metabólica óssea e no monitoramento terapêutico, enquanto a investigação de causas secundárias deve sempre ser considerada.

Dessa forma, a osteoporose deve ser compreendida como resultado de um desequilíbrio multifatorial no remodelamento ósseo, associado a alterações hormonais, envelhecimento e fatores clínicos sistêmicos, cuja identificação precoce por meio de critérios densitométricos e clínicos é essencial para prevenção de fraturas e suas consequências funcionais.

Uma perda de apenas 10% da massa óssea do quadril pode aumentar o risco de fraturas de quadril em 2,5 vezes. Estima-se que 33% das mulheres e 20% dos homens com 50 anos ou mais em todo o mundo sofrerão fraturas osteoporóticas durante a vida. A principal complicação da fragilidade óssea sem dúvida são as quedas, comuns em idosos, com aproximadamente 30% dos adultos com 60 anos ou mais sofrendo quedas a cada ano. As consequências das quedas incluem lesões, fraturas, problemas de mobilidade, depressão, perda de independência, e um substancial ônus econômico para os sistemas de saúde.

O grande problema da osteoporose é sua evolução “silenciosa”. Normalmente, a fratura por fragilidade rompe o silêncio da doença, porém é o momento em que o paciente já ingressou em um ciclo de dependência funcional e elevado risco de morte. Portanto, o entendimento da sua natureza oculta é fundamental para que profissionais da saúde priorizem a intervenção precoce, combatendo o que é essencialmente uma epidemia negligenciada.

O tratamento medicamentoso da osteoporose tem como principal objetivo reduzir o risco de fraturas, atuando na modulação do remodelamento ósseo por meio da diminuição da reabsorção ou do estímulo à formação óssea. As terapias anti-reabsortivas constituem a base do tratamento na maioria dos pacientes, destacando-se os bisfosfonatos (como alendronato, risedronato e ácido zoledrônico) e o denosumabe, um anticorpo monoclonal que inibe o RANKL. Essas medicações reduzem a atividade osteoclástica, estabilizam ou aumentam a densidade mineral óssea e apresentam eficácia comprovada na redução de fraturas vertebrais, não vertebrais e de quadril. A escolha do agente deve considerar perfil de risco, comorbidades, adesão, função renal e tolerabilidade.

Nos casos de alto ou muito alto risco de fratura, especialmente na presença de fraturas vertebrais prévias ou T-score muito reduzido, terapias de reposição hormonal podem ser indicadas. Independentemente da estratégia farmacológica, a adequação de ingestão de cálcio e vitamina D e a associação com medidas não farmacológicas são componentes fundamentais do manejo global da doença.

Embora o tratamento medicamentoso exerça papel importante na redução do risco de fraturas em pacientes com osteoporose estabelecida ou de alto risco, não constitui o foco central desta obra.

Nesse contexto, a atividade física assume papel estruturante tanto na prevenção quanto no tratamento da osteoporose. O exercício atua como estímulo fisiológico essencial

à manutenção da massa óssea por meio da mecanotransdução, além de promover ganho de força muscular, melhora do equilíbrio e redução do risco de quedas, principal evento desencadeador de fraturas por fragilidade. Assim, ao longo deste capítulo, a ênfase será direcionada às estratégias de prescrição de exercício físico como intervenção terapêutica central, entendendo a farmacoterapia como adjuvante quando clinicamente indicada, mas não substitutiva da intervenção mecânica e funcional sobre o sistema musculoesquelético.

Atualmente, existem muitos ensaios clínicos e metanálises comparando o efeito de exercícios sobre a densidade mineral óssea (DMO), principalmente em mulheres pós-menopausa. A conclusão da maioria dos estudos, com algumas exceções, é que a atividade física é amplamente reconhecida como uma abordagem eficaz para mitigar o processo de perda óssea (Montero et al., 2021). Porém, ainda há escassez de artigos que comparam várias modalidades de exercícios entre si. Nesse contexto, qual seria o melhor tipo de exercício para o paciente com osteoporose, principalmente em mulheres menopausadas?

Na osteoporose, o “melhor exercício” não é apenas o mais seguro. É o que **estimula mecanicamente o osso de forma suficiente para gerar resposta osteogênica**, sem aumentar risco de fratura.

6.2 Mecanotransdução Óssea e Justificativa Biológica do Exercício na Osteoporose

O tecido ósseo é um órgão metabolicamente ativo e altamente sensível ao estímulo mecânico. A adaptação estrutural do osso ocorre por meio do processo denominado mecanotransdução, no qual forças mecânicas são convertidas em sinais bioquímicos capazes de modular a atividade celular (Zerbini et al. 2015; Schumm et al., 2023).

Os principais sensores mecânicos do osso são os osteócitos, células localizadas na matriz mineralizada e interconectadas por uma extensa rede de canalículos. Quando o esqueleto é submetido a carga — seja por impacto gravitacional ou pela tração muscular durante o exercício resistido — ocorre deformação microscópica da matriz óssea (microstrain). Essa deformação promove deslocamento do fluido intersticial nos canalículos, gerando estímulos mecânicos detectados pelos osteócitos.

A partir desse estímulo, são ativadas vias intracelulares de sinalização, entre elas a via Wnt/β-catenina, considerada central na regulação da formação óssea. A ativação dessa via promove:

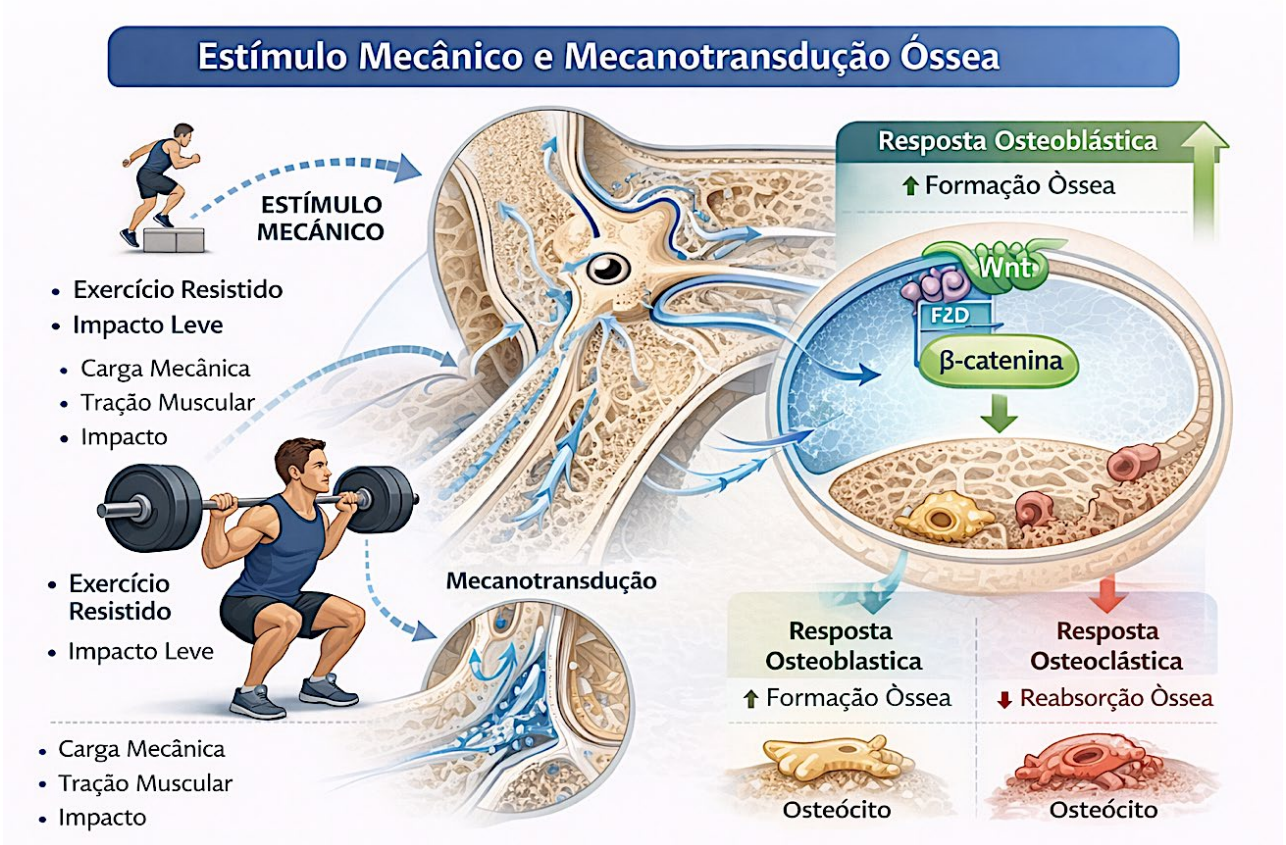
- aumento da diferenciação de células osteoprogenitoras em osteoblastos;
- maior atividade osteoblástica;
- inibição relativa da atividade osteoclástica.

Como consequência, há estímulo à formação óssea e melhora da qualidade estrutural do tecido. Por outro lado, na ausência de carga mecânica adequada, como ocorre no sedentarismo, imobilização ou envelhecimento associado à sarcopenia, há redução da ativação dessas vias anabólicas. Esse cenário favorece aumento da expressão de mediadores pró-reabsortivos, como RANKL, resultando em maior atividade osteoclástica e predominância de reabsorção óssea.

Portanto, o exercício físico, especialmente o treinamento resistido e atividades com impacto controlado, atua como um estímulo biológico essencial para manutenção da homeostase esquelética.

Como indica a figura que segue, o exercício resistido e o impacto controlado promovem deformação da matriz óssea, ativando osteócitos e a via Wnt/β-catenina, com estímulo à atividade osteoblástica e aumento da formação óssea. Na ausência de carga adequada, há redução da sinalização anabólica e predomínio da reabsorção óssea. (Figura 4)

Figura 4 - Mecanotransdução óssea e adaptação ao estímulo mecânico



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Portanto, não se trata apenas de fortalecer musculatura ou prevenir quedas, mas de fornecer ao tecido ósseo o sinal mecânico necessário para sustentar sua integridade estrutural

6.3 Modelo prático de prescrição – Exercício físico na osteoporose

1. **Base do tratamento: treinamento de força (resistido)**

O **treinamento resistido constitui o principal estímulo osteogênico não farmacológico**, pois o tecido ósseo responde diretamente a estímulos mecânicos, como:

- carga mecânica aplicada ao osso;
- tensão muscular sobre o osso;
- estímulos gravitacionais intermitentes

Tais estímulos promovem **adaptações osteogênicas mediadas pela mecanotransdução**, contribuindo principalmente para:

- aumento ou preservação da massa óssea;
- melhora da densidade mineral óssea (DMO);
- redução do risco de quedas por ganho de força muscular e estabilidade postural

Parâmetros recomendados

Os protocolos mais eficazes incluem:

Intensidade: moderada a alta (≈60–85% de 1RM), **Frequência:** 2–3 sessões por semana, **Volume:** 2–3 séries por exercício, **Repetições:** 6–12 repetições.

Em pacientes funcionalmente ativos recomenda-se **progressão estruturada com ênfase em força e estabilidade dinâmica.**

Exercícios prioritários

Devem privilegiar **exercícios multiarticulares**, com ênfase em regiões de maior risco osteoporótico:

- coluna vertebral;
- quadril
- membros inferiores
- Exemplos: agachamento (adaptado), leg press, remada, extensão de quadril, exercícios para extensores da coluna.

2. **Exercícios com impacto controlado (quando clinicamente apropriado).**

Quando não há **fratura vertebral recente ou alto risco de fratura**, exercícios com **impacto leve a moderado** apresentam importante potencial osteogênico. Exemplos: saltos leves, subida em step, caminhada vigorosa e subidas em escadas. O tecido ósseo responde particularmente bem a **estímulos rápidos, dinâmicos e intermitentes**, que geram maior deformação mecânica no osso.

- **ATENÇÃO:** Em pacientes muito frágeis ou com fraturas vertebrais estabelecidas, recomenda-se **evitar exercícios de impacto**, priorizando treinamento de força e estabilidade postural.

3. **Treinamento de equilíbrio e controle postural**

Embora não promova aumento direto da densidade mineral óssea, o **treino de equilíbrio é fundamental para prevenção de quedas**, principal determinante de fraturas osteoporóticas. Estratégias recomendadas incluem:

- exercícios proprioceptivos;
- treinamento unipodal;
- marcha com desafios motores;
- Tai Chi ou exercícios de controle postural

- **Intervenções com baixo estímulo osteogênico quando realizadas isoladamente.**

Algumas atividades, embora seguras e úteis para mobilidade ou condicionamento geral, apresentam **baixo potencial osteogênico quando realizadas isoladamente**, incluindo:

- caminhada leve;
- exercícios exclusivamente aquáticos;
- alongamentos

Essas modalidades podem ser utilizadas **como complemento**, mas não devem constituir a base do tratamento.

O quadro 1, a seguir, sintetiza os principais princípios biomecânicos associados ao estímulo osteogênico do exercício físico, bem como os mecanismos fisiológicos envolvidos e suas aplicações na prescrição clínica.

Quadro 1 – Princípios Osteogênicos do exercício

Princípios osteogénicos do exercício

Princípio biomecânico	Mecanismo fisiológico	Exemplos de aplicação clínica
Impacto mecânico	Estímulos gravitacionais geram deformação transitória no tecido ósseo, ativando mecanorreceptores celulares.	• Saltos leves • Subir escadas • Caminhada vigorosa • Exercícios pliométricos adaptados.
Taxa de aplicação da carga	Cargas aplicadas de forma rápida e dinâmica ativam osteócitos com maior intensidade.	▪ Mudanças rápidas de direção ▪ Saltos controlados ▪ Exercícios funcionais dinâmicos.
Variabilidade mecânica	Alternância de vetores de carga estímula diferentes regiões do osso.	▪ Exercícios multiarticulares ▪ Variação de padrões de movimento ▪ Treinamento funcional
Tensão muscular	Contração muscular gera tração óssea pelas inserções tendíneas.	▪ Agachamentos ▪ Leg press ▪ Remadas ▪ Extensores da coluna

Interpretação clínica: O exercício apresenta maior potencial osteogênico quando combina carga mecânica suficiente, estímulos dinâmicos e contração muscular significativa, aplicados de forma progressiva e segura. Programas de treinamento que associam exercícios resistidos e estímulos mecânicos variados tendem a produzir melhores respostas na manutenção ou incremento da massa óssea.

Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Suporte nutricional associado ao exercício

Na osteoporose, o suporte nutricional adequado tem como objetivos principais:

- otimizar o balanço mineral ósseo;
- sustentar a remodelação óssea fisiológica;
- preservar massa e força muscular

A interação funcional entre **osso e músculo (unidade musculoesquelética)** desempenha papel determinante na prevenção de quedas e fraturas por fragilidade.

Nota de responsabilidade

As informações apresentadas neste guia têm caráter educacional e científico. A prescrição de exercícios deve ser realizada por profissional habilitado, após avaliação clínica individualizada do paciente. O autor não se responsabiliza por condutas terapêuticas adotadas sem adequada análise clínica.

7. EXERCÍCIO E SARCOPENIA

7.1 Fisiopatologia do Envelhecimento muscular

Existe uma evolução natural e fisiológica em relação à variação da massa e da força muscular ao longo da vida. No final da juventude e início da idade adulta, até aproximadamente os 40 anos, os níveis máximos, que são mais altos em homens do que em mulheres, são atingidos. Após os 50 anos, inicia-se uma perda de massa muscular nas pernas (1–2% ao ano) e perda de força (1,5–5% ao ano). Esses dados são importantes, pois evidenciam que a **perda de funcionalidade ocorre de forma muito mais acelerada do que a perda de massa muscular isolada**.

A sarcopenia refere-se à perda gradual de massa, força e função muscular esquelética associada à idade, embora tal definição ainda esteja em consideração (Petermann-Rocha et al., 2022). Em 1989, Rosenberg definiu sarcopenia como perda de massa muscular, a partir das palavras gregas sarx (carne) e penia (perda), após comparar a massa magra da coxa de uma mulher idosa com a de uma mulher mais jovem (Rosenberg, 1997). Três décadas depois, a sarcopenia é definida como a perda tanto de massa quanto de força muscular e foi formalmente reconhecida como uma doença musculoesquelética na Classificação Internacional de Doenças (CID-10: M62.84) (Petermann-Rocha et al., 2022).

A sarcopenia representa hoje um dos maiores desafios silenciosos da prática clínica, frequentemente subdiagnosticada e tratada de forma tardia. Mais do que uma simples perda de massa muscular relacionada ao envelhecimento, trata-se de uma condição multifatorial, associada a declínio funcional, aumento do risco de quedas, fragilidade, internações e mortalidade. Seu desenvolvimento envolve não apenas alterações musculares, mas também fatores hormonais, inflamatórios, metabólicos, nutricionais e neurológicos, exigindo do profissional de saúde um olhar atento e proativo para além dos sintomas evidentes. (Rosenberg, 1997).

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender o paciente de forma integral. Avaliar força, desempenho físico e composição corporal é tão importante quanto reconhecer comorbidades, nível de atividade física, estado nutricional, uso de medicamentos, contexto social e aspectos psicológicos. A sarcopenia não pode ser abordada de maneira isolada ou fragmentada; sua prevenção e tratamento eficazes dependem de uma estratégia multidisciplinar e individualizada, que respeite as particularidades biológicas e funcionais de cada paciente. Somente ao enxergar o indivíduo

como um todo é possível intervir de forma realmente eficaz, promovendo autonomia, funcionalidade e qualidade de vida.

Figura 1 – Fatores associados à sarcopenia



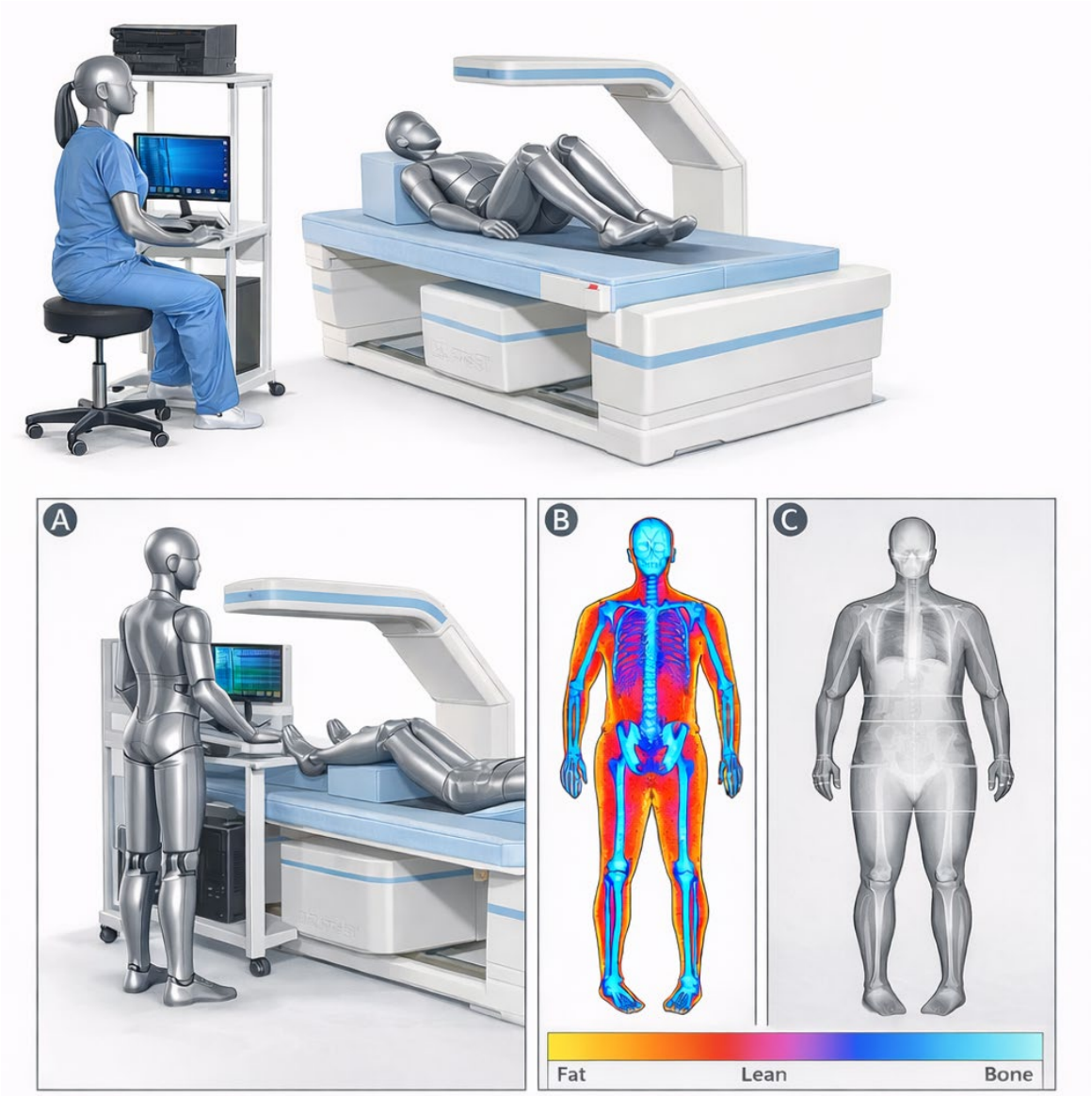
Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da imagem: Representação esquemática dos principais mecanismos envolvidos no desenvolvimento da sarcopenia, destacando sua natureza multifatorial e interdependente. Alterações hormonais, processos inflamatórios crônicos, disfunções metabólicas, comprometimento neurológico e inadequação nutricional interagem de forma dinâmica, contribuindo para a perda de massa, força e função muscular.

Os critérios clínicos para sarcopenia variam de país para país, embora os pontos de corte sejam geralmente relatados em termos de massa muscular, força e desempenho físico. Assim, o diagnóstico clínico leva em conta basicamente: a mensuração da massa muscular, força muscular e desempenho físico.

A massa muscular dos membros é geralmente estimada por absorciometria de raios X de dupla energia, conhecido como DEXA (Figura 2), na em que a massa muscular esquelética apendicular calculada é então dividida pelo quadrado da altura (kg/m2) para produzir o índice de massa muscular esquelética (IMME). A sarcopenia é indicada por um IMME >2 desvios padrão abaixo do valor médio para homens ou mulheres jovens saudáveis (Cooper, 2013). Além disso, o IMME tem pontos de corte específicos para cada sexo, ou seja, 7,26 kg/m2 para homens e 5,45 kg/m2 para mulheres.

Figura 2 – Avaliação da composição corporal e da densidade mineral óssea por DEXA

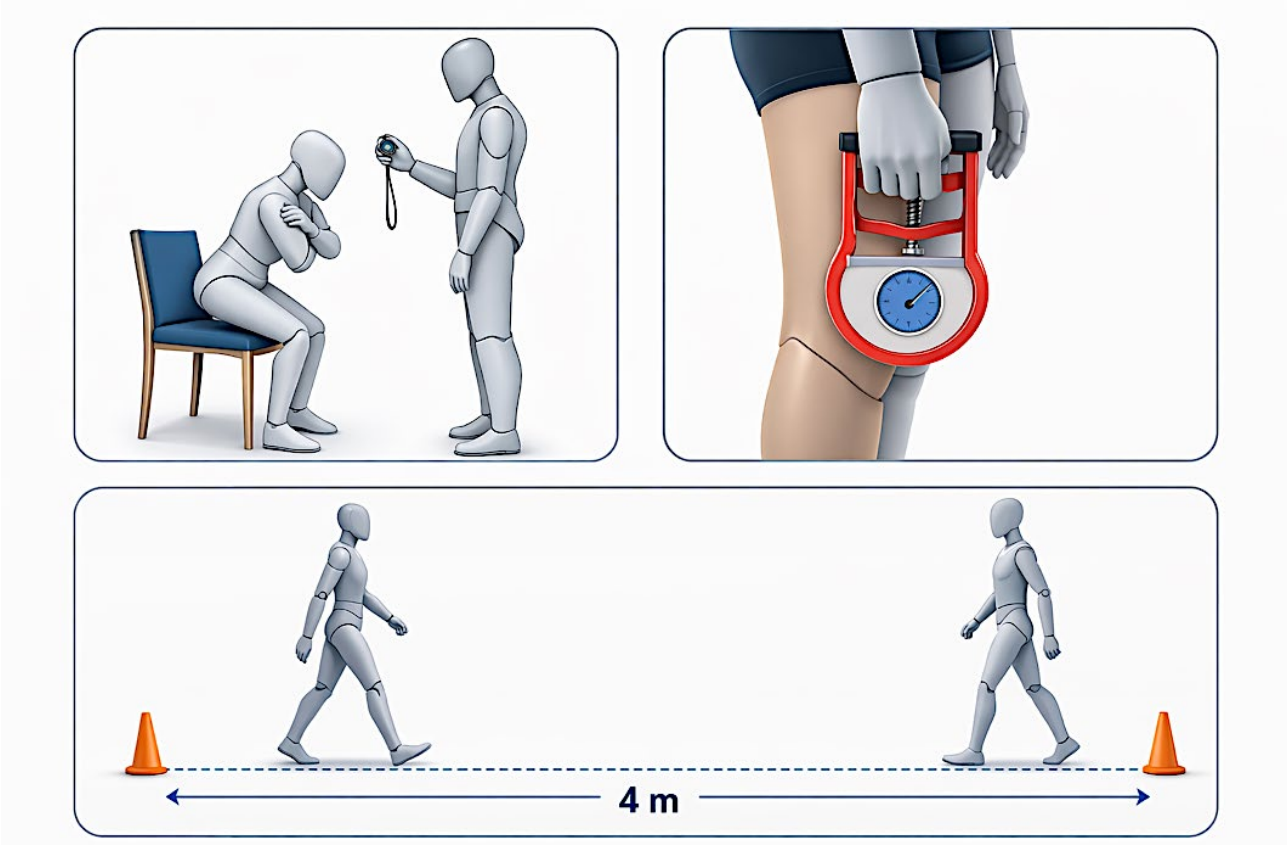


Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da figura: (A) Representação esquemática do exame de densitometria com o paciente em decúbito dorsal durante a varredura corporal. (B) Mapa colorido da composição corporal, diferenciando tecido adiposo, massa magra e tecido ósseo. (C) Imagem densitométrica em escala de cinza utilizada para avaliação da densidade mineral óssea.

A força muscular é geralmente avaliada pela medição da força de preensão palmar manual, medida por dinamômetro, que é definida como a força máxima de preensão manual medida. Os critérios diagnósticos para força de preensão manual são de 26 a 30 kg para homens e de 16 a 20 kg para mulheres (Dodds et al., 2014). Na falta do dinamômetro, um teste rápido e simples pode ser aplicado no momento da avaliação clínica, chamado de Teste de sentar e levantar da cadeira, no qual há prejuízo de força muscular quando o desempenho for > 15 segundos para cinco subidas consecutivas. Quanto ao desempenho físico, geralmente é avaliado pela medição da velocidade de marcha habitual. A sarcopenia com mobilidade limitada é definida como uma velocidade de marcha habitual inferior a 1,0 m/s em um percurso de 4 m ou uma distância percorrida inferior a 400 m em um teste de caminhada de 6 minutos (Cooper et al. 2013), como demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Avaliação funcional da força muscular e do desempenho físico



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da figura: Da esquerda para a direita e de cima para baixo: teste de sentar e levantar da cadeira, utilizado para estimar a força muscular de membros inferiores; avaliação da força de preensão manual por

dinamometria, indicador da força muscular global; e teste de caminhada de 4 metros para mensuração da velocidade de marcha habitual, parâmetro amplamente utilizado na avaliação do desempenho físico e da mobilidade funcional.

Porém, como vimos, os critérios clínicos qualitativos e quantitativos utilizados para definir sarcopenia variam de país para país e a sarcopenia pode ser avaliada de diversas maneiras. Essa variação nos critérios diagnósticos da sarcopenia ocorre porque parâmetros como força física e volume muscular são influenciados por fatores genéticos, nutricionais e étnicos, levando diferentes regiões a adotarem seus próprios pontos de corte. Enquanto o **consenso europeu (EWGSOP2),** amplamente seguido no Brasil, define a sarcopenia a partir da baixa força muscular (preensão palmar <27kg para homens e <16kg para mulheres), o **consenso asiático (AWGS)** estabelece limites mais rigorosos para a força (28kg e 18kg, respectivamente) e ajustes específicos para a massa muscular devido à estatura média menor dessas populações. Além disso, grupos de estudo nos Estados Unidos, como Fundação para os Institutos Nacionais de Saúde (FNIH), focam na relação entre força e índice de massa corporal (IMC), evidenciando que não existe um padrão global único, o que exige que profissionais de saúde apliquem as referências mais adequadas ao perfil populacional do paciente para evitar diagnósticos equivocados.

Barbosa-Silva et al. (2016) validaram para a língua portuguesa o SARC-F, um questionário de triagem de sarcopenia muito breve e fácil de administrar. Assim, podemos utilizá-lo apenas como um screening inicial. O SARC-F é uma pontuação de sintomas baseada em 5 perguntas autorrelatadas sobre força, deambulação, levantar-se de uma cadeira, subir escadas e quedas. Sua validade foi testada em diferentes populações com bons resultados. No entanto, as perguntas do SARC-F dizem respeito apenas à função muscular (FM) (força e desempenho), sem avaliar a massa muscular (MM). Sarcopenia e perda de função muscular (FM) estão relacionadas, mas são entidades distintas, de modo que considerar apenas a FM diverge da definição de sarcopenia proposta pelo EWGSOP, que inclui a avaliação da MM.

Quadro 1 - Versão SARC-F traduzida para o português.

Componente + Pergunta		Pontuação	
Força	O quanto de dificuldade você tem para levantar e carregar 5kg?	Nenhuma Alguma Muita ou não consegue	0 1 2
Ajuda para caminhar	O quanto de dificuldade você tem para atravessar um cômodo?	Nenhuma Alguma Muita, usa apoios, ou incapaz	0 1 2
Levantar da cama/ cadeira	O quanto de dificuldade você tem para levantar de uma cama ou cadeira?	Nenhuma Alguma Muita ou não consegue sem ajuda	0 1 2
Subir escadas	O quanto de dificuldade você tem para subir um lance de escadas (10 degraus)?	Nenhuma Alguma Muita, ou não consegue	0 1 2
Quedas	Quantas vezes você caiu no último ano?	Nenhuma 1 a 3 quedas 4 ou mais quedas	0 1 2
Panturrilha	Meça a circunferência da panturrilha direita exposta do(a) paciente em pé,com as pernas relaxadas e pés afastados a 20cm um do outro.	Mulheres: > 33cm ≤ 33cm Homens: > 34cm ≤ 34cm	0 10 0 10

Somatório (0 - 20 pontos)
0 - 10 : sem sinais sugestivos de sarcopenia no momento *(cogitar reavaliação periódica)*
11 - 20 : sugestivo de sarcopenia *(prosseguir com investigação e diagnóstico completo)*

Fonte: Imagem reproduzida de Prodiet Medical Nutrition. Estudo brasileiro aprimora ferramenta de rastreio da sarcopenia em idosos. 2018.

7.2 Estratégia terapêutica estruturada

Antes de iniciarmos as recomendações baseadas na literatura científica sobre o tema, é importante entendermos alguns pontos que se convergem nos artigos científicos. Embora fatores genéticos e de estilo de vida possam acelerar o enfraquecimento muscular e a progressão para comprometimento funcional e incapacidade, intervenções como **exercícios e nutrição parecem retardar e/ou reverter esses processos.** Portanto, para prevenir ou retardar a sarcopenia, o objetivo é **maximizar a massa muscular na juventude e no início da idade adulta**, manter a massa muscular na idade adulta e minimizar a perda na velhice.

Até o momento, a única intervenção baseada em evidências que pode pelo menos retardar o início e a progressão da sarcopenia é a atividade física, embora o músculo esquelético pareça ser menos adaptável na velhice do que na idade adulta jovem (Barbosa-Silva et al., 2016; Etienne et al., 2020).

Westerståhl M et al. (2025), em importante pesquisa sobre ascensão e queda da capacidade física na população geral, conduziram e avaliaram uma coorte populacional sueca: 427 indivíduos (48% mulheres) nascidos em 1958 foram submetidos a avaliações objetivas repetidas da capacidade física dos 16 aos 63 anos de idade, ou seja, 47 anos de acompanhamento. Modelos lineares mistos foram usados para estimar as mudanças específicas por idade e sexo na coorte original durante o período do estudo. Os resultados mostraram mudanças longitudinais na capacidade física da adolescência ao início da velhice (16 a 63 anos) usando medidas objetivas repetidas de capacidade aeróbica e resistência e potência muscular.

A principal descoberta mostrou que a capacidade máxima foi atingida antes dos 36 anos e que, após os 40 anos, houve uma diminuição semelhante e acelerada em todas as capacidades testadas em ambos os sexos. Após o pico, a diminuição anual acelerou de uma média de < 1% ao ano na primeira década para > 2,0% na última década do período de observação. Em média, a perda de capacidade física em ambos os sexos foi de 37% da idade do pico até os 63 anos, variando de 30% a 48%. Os autores concluíram que população sueca mostrou o mesmo padrão de mudanças na capacidade física na idade adulta que o previamente demonstrado para atletas de elite. Isso confirma o conceito de que um declínio na capacidade física pode ser observado antes dos 40 anos, o que pode levar posteriormente a disfunções físicas clinicamente significativas, especialmente em indivíduos com um estilo de vida sedentário. **Portanto, parece plausível que o combate à sarcopenia por meio de intervenções apropriadas de exercícios possa ser mais eficaz se iniciado antes do início dos processos subjacentes.**

Assim, a primeira conclusão a que chegamos é a de que o exercício regular durante a vida é fundamental para prevenir, retardar e melhorar os sinais e sintomas da sarcopenia.

Quando avaliamos revisões sistemáticas com meta análises de ensaios clínicos randomizados, observamos que o exercício é fundamental para gerar a **sobrecarga mecânica** capaz de romper a resistência anabólica do idoso, mostrando que vários tipos de intervenção com exercício que variam desde treinamento resistido, plataformas vibratórias, treinamentos multimodais são eficazes quando se comparam com um controle

de pacientes que não faz exercícios. Porém, a literatura atual também é clara ao sustentar que o **treinamento de força (resistido)** é o padrão-ouro, devendo ser aplicado com uma intensidade de **moderada a alta,** o que corresponde entre 60% e 80% de 1 Repetição Máxima (RM), com séries de que variam de 8-10 repetições e frequência de **2 a 3 vezes por semana.** Além disso, o foco não deve estar apenas na hipertrofia, mas também no treinamento da **potência muscular e equilíbrio corporal.**

A sociedade brasileira de geriatria e gerontologia (SBGG) também traz informações segundo as quais o início do treinamento pode ocorrer com intensidade menor, pois alguns pacientes podem não tolerar tamanha sobrecarga e há evidências de que, nesses casos, para ganho de força, mas não de massa, treinos com 45% de 1 RM ou mais podem ser compensados com o aumento do número de séries e de repetições, tentando aumentar a carga a cada duas semanas (SBGG, s/d).

Na prática clínica, isso significa priorizar o fortalecimento de membros inferiores com intensidades que desafiem o sistema neuromuscular (acima de 60% de 1RM) e a prescrição de exercícios de preferências de cadeia cinética fechada, fundamentais para manter a independência na marcha, o equilíbrio e a autonomia nas atividades de vida diária, mitigando o risco de quedas e hospitalizações precoces.

Sabemos que para otimizar o resultado do exercício é fundamental um suporte nutricional, o que é um desafio na população idosa devido a fatores como a diminuição do paladar e do olfato, dificuldades na mastigação (perdas dentárias) e o uso de múltiplos medicamentos, que frequentemente reduzem o apetite e a ingestão calórica. Somado a isso, o organismo idoso apresenta uma resposta reduzida à ingestão de proteínas. Portanto, devemos estimular o aumento da ingesta proteica diária com recomendações de pelo menos **1,2g/kg de peso corporal por dia.**

Se conseguirmos aplicar treinamentos resistidos, associados a um suporte nutricional conforme orientado neste capítulo, associados a pelo menos 150 a 300 minutos de atividade física aeróbica de intensidade moderada; ou pelo menos 75 a 150 minutos de atividade física aeróbica de intensidade vigorosa; ou uma combinação equivalente de atividades de intensidade moderada e vigorosa multivariadas que incluam equilíbrio corporal ao longo da semana, iremos obter benefícios substanciais para a saúde do paciente com sarcopenia. O quadro a seguir sintetiza os princípios de treinamento para preservação da massa muscular na sarcopenia.

Quadro 2 – Princípios do treinamento para preservação das fibras musculares tipo II no envelhecimento

Quadro – Princípios do treinamento para preservação das fibras musculares tipo II no envelhecimento

Princípio	Fundamentação fisiológica	Implicações para a prescrição
Sobrecarga mecânica progressiva	O estímulo mecânico adequado promove ativação de vias anabólicas musculares e favorece a preservação da massa muscular.	**Treinamento** resistido progressivo envolvendo grandes grupos musculares.
Estímulos de alta intensidade relativa	Fibras musculares tipo II são recrutadas preferencialmente em esforços de maior intensidade.	**Exercícios resistidos** com intensidades moderadas a altas, ajustadas à capacidade funcional do paciente.
Treinamento de potência muscular	A velocidade de contração é um fator crítico para o recrutamento e manutenção das fibras tipo II.	**Movimentos concêntricos** executados de forma mais rápida e controlada durante exercícios resistidos.
Variabilidade de estímulos motores	Diferentes padrões de movimento favorecem recrutamento neuromuscular mais amplo e melhor coordenação motora.	**Exercícios** multiarticulares, circuitos funcionais e variação de padrões motores.
Treinamento funcional e locomotor	A preservação da função muscular depende da integração entre força, potência e controle neuromuscular.	**Exercícios** como levantar da cadeira, subir escadas e marcha com desafios motores.

Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição do quadro: Síntese dos principais fundamentos fisiológicos que orientam a prescrição do exercício na sarcopenia, destacando o papel da sobrecarga mecânica progressiva, do treinamento em intensidades relativamente elevadas, do estímulo de potência muscular e da variabilidade de padrões motores na preservação da massa e da função muscular ao longo do envelhecimento.

7.3 Modelo prático de prescrição

1. **Treinamento resistido (base do tratamento)**

- Objetivo: ganho ou manutenção de força e massa muscular, intensidade de **moderada a alta** o que corresponde entre 60% e 80% de 1 Repetição Máxima (RM)
- Frequência: 2–3 vezes por semana.
- Exemplos:
  - exercícios multiarticulares (agachamento assistido, leg press, puxadas, remadas);
  - progressão gradual da carga conforme tolerância.

2. **Atividade física aeróbica semanal**

- Objetivo: melhora da capacidade cardiorrespiratória e saúde metabólica.
- Recomendações:
  - 150–300 minutos/semana de intensidade moderada ou

- 75–150 minutos/semana de intensidade vigorosa ou
- combinação equivalente entre intensidades.

- Exemplos:
  - caminhada rápida, bicicleta ergométrica, natação, elíptico;
  - corrida leve ou subida de escadas para pacientes mais aptos e sem comorbidades musculoesqueléticas.

3. Exercícios de equilíbrio e coordenação

- Objetivo: reduzir risco de quedas e melhorar funcionalidade.
- Exemplos:
  - apoio unipodal, exercícios proprioceptivos;
  - práticas integrativas como Pilates, Tai Chi ou exercícios funcionais.

4. Individualização do programa terapêutico (princípio fundamental)

- CONSIDERAR SEMPRE:
  - estágio da sarcopenia;
  - comorbidades (osteoartrite, doenças cardiovasculares, osteoporose);
  - tolerância à carga e nível funcional;
  - histórico de quedas e limitações específicas.
- Exemplo prático:
  - paciente frágil ou com sarcopenia avançada → iniciar o programa com cargas reduzidas e progressão gradual, priorizando a execução segura dos movimentos, o equilíbrio, o controle neuromuscular e a recuperação da capacidade funcional. Exercícios relacionados às atividades da vida diária, como sentar e levantar, subir degraus e deslocar-se com segurança, devem ser incorporados precocemente. A progressão da resistência deve ocorrer conforme tolerância e resposta clínica, evitando que a baixa carga inicial se transforme em subdosagem permanente do exercício.
  - paciente com sarcopenia diagnosticada, porém fisicamente e funcionalmente preservado → progressão de carga e intensidade com foco em desempenho funcional. Priorizar o treinamento resistido progressivo, com incremento individualizado de carga, volume e intensidade, visando aumento da força e da potência muscular e preservação ou ganho de massa muscular. Nesse perfil, o

exercício deve produzir estímulo suficiente para promover adaptação, podendo ser associado ao treinamento de equilíbrio e à prática aeróbica conforme os objetivos e as condições clínicas individuais.

- **Nota de responsabilidade:** As informações apresentadas neste guia têm caráter educacional e científico. A prescrição de exercícios e demais intervenções devem ser realizada por profissional habilitado, após avaliação individualizada do paciente. O autor não se responsabiliza por condutas terapêuticas adotadas sem a devida análise clínica.



Suporte Nutricional Associado ao exercício na Sarcopenia:

Objetivo:

O suporte nutricional na sarcopenia tem como metas:

- superar resistência anabólica relacionada ao envelhecimento;
- estimular síntese proteica muscular;
- preservar massa, força e desempenho funcional;
- potencializar a resposta adaptativa ao exercício resistido.

8. EXERCÍCIO FÍSICO COMO FORMA DE PREVENÇÃO E TRATAMENTO DA DOR LOMBAR

Como já discutido anteriormente nesta obra, a transição evolutiva para o bipedalismo implicou mudanças anatômicas significativas. Particularmente na coluna lombar, houve reorganização da lordose lombar, redistribuição das cargas axiais e ajustes morfológicos nas vértebras e articulações posteriores para equilibrar mobilidade e estabilidade (Been; Gómez-Olivencia; Kramer, 2010). Essa reestruturação anatômica permitiu eficiência locomotora e liberação dos membros superiores, mas aumentou a demanda mecânica sobre discos intervertebrais, facetas articulares e musculatura paravertebral. Entretanto, a dor lombar contemporânea não pode ser compreendida exclusivamente sob a ótica estrutural evolutiva.

Evidências sugerem que a dor lombar apresenta componente genético moderado, envolvendo polimorfismos relacionados à matriz discal, inflamação e modulação da dor. Contudo, tais variantes não determinam a ocorrência da lombalgia, mas modulam vulnerabilidade estrutural e sensibilidade dolorosa. A expressão clínica depende da interação entre predisposição biológica, carga mecânica e fatores comportamentais (Battié, 2007).

Nesse contexto, podemos afirmar que a dor lombar é uma condição multifatorial, na qual fatores biológicos interagem com dimensões psicológicas e sociais, configurando uma experiência clínica que transcende alterações anatômicas isoladas (Hartvigsen, 2018). Se o bipedalismo contribui para a vulnerabilidade estrutural da região lombar, é a interação entre carga mecânica, adaptação neuromuscular e contexto comportamental que determina quando essa vulnerabilidade se manifesta clinicamente como dor lombar.

A dor lombar ou lombalgia é definida como dor incapacitante na região posterior do corpo, entre a margem inferior da décima segunda costela e a dobra inferior glútea, que dura pelo menos um dia, com ou sem dor referida para membro inferior (Dionne, 2008; Koes, 2010). Lombalgia permanece como a principal causa global de anos vividos com incapacidade, com projeção de aumento expressivo da carga até 2050, segundo o Global Burden of Disease 2021 (GBD, 2021). Esse cenário reforça a necessidade de estratégias terapêuticas eficazes, sustentáveis e baseadas em evidências.

Frequentemente associada a fatores biomecânicos, ocupacionais e psicossociais, a lombalgia pode ser classificada em três categorias:

1. Dor lombar de causa primária (diagnóstico conhecido, por exemplo: tumores, processos infecciosos, fraturas, entre outros diagnósticos conhecidos);
2. Dor lombar de origem radicular (compressão radicular, por exemplo: abaulamentos discais, protusões e hérnias discais);
3. Dor lombar idiopática ou inespecífica. Forma mais comum de dor lombar e se caracteriza por casos de lombalgia em que uma causa primária de lombalgia não pode ser identificada.

A dor lombar pode ser mais adequadamente compreendida quando analisada sob a perspectiva temporal de evolução dos sinais e sintomas. A estratificação por duração não representa mera convenção semântica, mas possui implicações prognósticas, terapêuticas e metodológicas relevantes na prática clínica e na pesquisa científica. Convencionalmente, a dor lombar é classificada como **aguda** quando os sintomas persistem por menos de seis semanas. A fase **subaguda** compreende o intervalo entre seis e doze semanas de evolução, enquanto a dor lombar **crônica** é definida pela persistência dos sintomas por pelo menos doze semanas (Stanton, 2011). Essa classificação é amplamente adotada em diretrizes internacionais e permite orientar expectativas de recuperação, decisões terapêuticas e desenho de estudos clínicos.

Entretanto, a trajetória clínica da dor lombar raramente segue um padrão linear de resolução definitiva. Estudos longitudinais demonstram que o curso da condição é frequentemente flutuante, caracterizado por períodos de melhora intercalados com exacerbações. Nesse contexto, a dor lombar **recorrente** é conceituada como a ocorrência de pelo menos dois episódios distintos ao longo de um período de 12 meses, com duração mínima de um dia para cada episódio e intervalo livre de dor de pelo menos 30 dias entre eles (Stanton, 2011). Essa definição operacional é fundamental para padronizar desfechos e evitar a confusão entre persistência contínua e novos episódios.

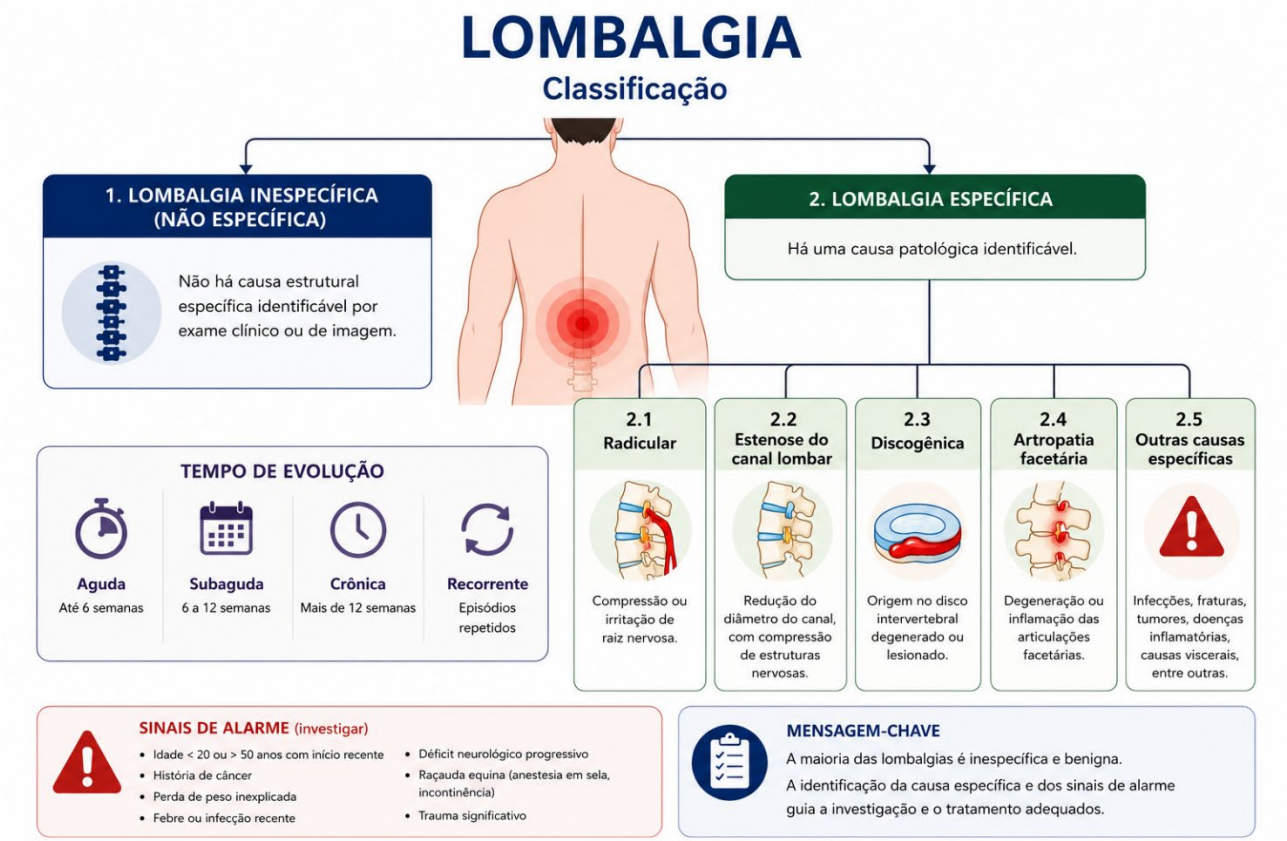
Do ponto de vista prognóstico, episódios agudos de lombalgia inespecífica tendem a apresentar melhora substancial nas primeiras seis semanas, mesmo quando submetidos a intervenções mínimas ou manejo conservador simples. Contudo, essa melhora inicial não equivale necessariamente à recuperação completa, e uma parcela dos pacientes evolui com sintomas persistentes ou recorrentes ao longo do tempo. Assim, a interpretação da evolução clínica deve considerar tanto a resolução da dor quanto a recuperação funcional e a prevenção de recorrência.

Reconhecendo essa complexidade, diretrizes contemporâneas recomendam que o manejo da lombalgia inespecífica seja orientado por um modelo biopsicossocial (Rizzo et al. 2025). Esse modelo pressupõe que a experiência dolorosa resulta da interação dinâmica entre fatores biológicos (processos inflamatórios, alterações estruturais, condicionamento físico), fatores psicológicos (crenças relacionadas à dor, medo de movimento, catastrofização, expectativa de incapacidade) e fatores sociais (contexto ocupacional, suporte social, demandas ambientais). A incorporação dessa perspectiva amplia o foco do tratamento para além do substrato anatômico, favorecendo intervenções que integrem exercício terapêutico, educação em dor, estratégias comportamentais e promoção de autocuidado.

Portanto, compreender a dor lombar a partir de sua dimensão temporal e de sua natureza multifatorial permite uma abordagem clínica mais precisa, evita simplificações reducionistas e fundamenta decisões terapêuticas alinhadas às melhores evidências disponíveis.

Neste capítulo, a aplicação dos exercícios será direcionada predominantemente à dor lombar idiopática ou inespecífica — a forma mais prevalente da condição — podendo incluir casos com sintomas irradiados sem déficit neurológico estruturado. Trata-se de quadros nos quais não se identifica uma causa estrutural primária capaz de explicar, de maneira isolada, o conjunto de manifestações clínicas. Nessa categoria, a experiência dolorosa resulta da interação entre fatores mecânicos, neuromusculares e psicossociais, exigindo estratégia terapêutica baseada em modulação de carga, restauração funcional e progressão gradual do exercício.

Figura 1 – Classificação da dor lombar



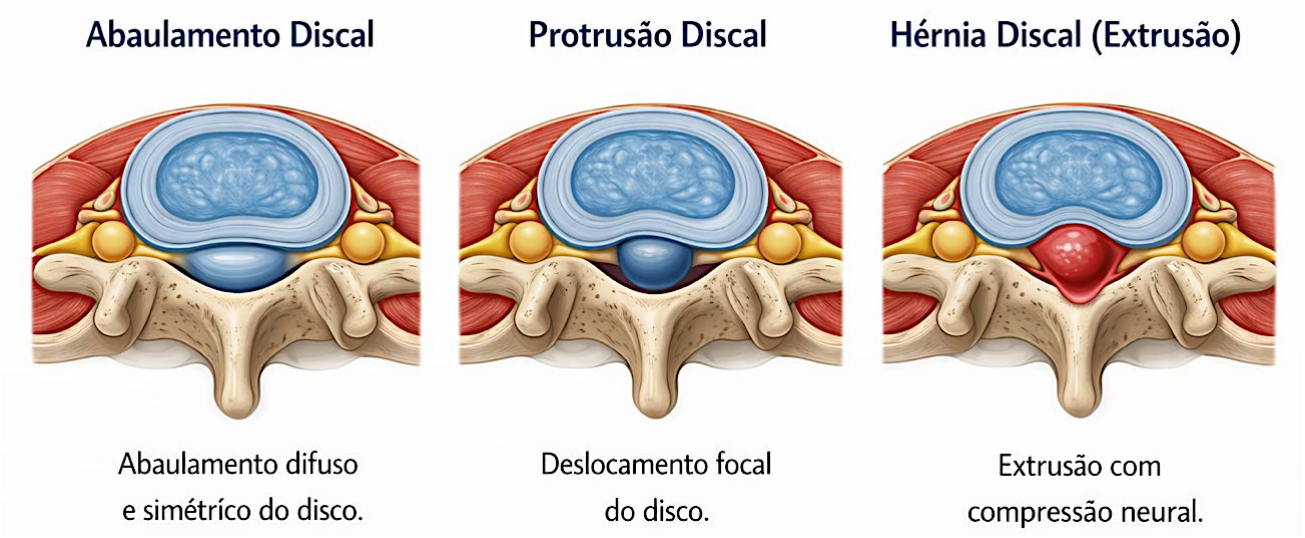
Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

8.1 Dor lombar: entre o laudo de imagem e a experiência clínica

A dor lombar frequentemente é interpretada à luz dos achados de exames de imagem. Termos como:

- Hérnia discal: Deslocamento focal em que o material discal ultrapassa a base de origem, podendo comprimir estruturas neurais adjacentes
- Protrusão discal: Deslocamento focal do disco intervertebral, no qual a base de contato com o disco original é maior do que a extensão projetada.
- Abaulamento discal: Projeção difusa e simétrica do disco além dos limites do corpo vertebral, geralmente associada a processo degenerativo leve.
- Degeneração" discal e "artrose facetaria: processo degenerativo dos discos intervertebrais e articulações que podem contribuir para dor lombar axial, especialmente em extensão da coluna, mas, também são frequentemente observadas em indivíduos assintomáticos.

Figura 2 - Comparação em corte axial dos padrões morfológicos de deslocamento do disco intervertebral



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da figura: comparação em corte axial dos padrões morfológicos de deslocamento do disco intervertebral: abaulamento difuso e simétrico, protrusão focal com base ampla e extrusão discal com extensão além da base de origem, podendo associar-se à compressão radicular.

Tais termos tendem a assumir protagonismo no discurso clínico, muitas vezes sendo percebidos pelo paciente como explicação definitiva para sua dor. Contudo, a relação entre alterações estruturais e experiência dolorosa é complexa e, em muitos casos, não é linear.

Uma revisão sistemática de grande impacto demonstrou que alterações degenerativas da coluna lombar são altamente prevalentes em indivíduos assintomáticos, aumentando progressivamente com a idade (Brinjikji et al. 2025). Abaulamentos discais, protrusões e sinais de degeneração podem estar presentes sem que haja qualquer manifestação clínica significativa. Assim, a simples presença de uma alteração estrutural em ressonância magnética não estabelece, por si só, causalidade.

Isso não significa que as alterações estruturais sejam irrelevantes. Em determinados contextos, especialmente quando há correlação clínica clara, como dor irradiada em trajeto radicular, déficit neurológico ou sinais compatíveis com compressão nervosa, o componente discal ou foraminal pode desempenhar papel determinante. O desafio reside em integrar exame físico, história clínica e imagem de forma coerente, evitando tanto o reducionismo estrutural quanto a negligência diagnóstica.

A dor lombar deve ser compreendida como condição multifatorial e dinâmica. Hartvigsen et al. (2018), em importante narrativa sobre dor lombar, reforçaram que o modelo puramente biomédico é insuficiente para explicar a variabilidade clínica observada

na prática, destacando a importância da interação entre fatores biológicos, psicológicos e sociais. Nesse contexto, a musculatura paravertebral pode apresentar espasmo ou contratura, mas frequentemente como resposta protetora ao quadro doloroso, e não necessariamente como causa primária.

Além disso, dados do Global Burden of Disease 2021 alertam que a dor lombar permanece como a principal causa global de anos vividos com incapacidade, com impacto expressivo na funcionalidade individual e nos sistemas de saúde (GBD, 2021). Essa magnitude epidemiológica reforça a necessidade de uma abordagem que transcenda a interpretação isolada de achados estruturais.

O risco de uma leitura excessivamente baseada no laudo de imagem reside na amplificação da percepção de fragilidade estrutural. Quando o paciente interpreta a ressonância como prova de dano irreversível, pode desenvolver comportamento de evitação e redução progressiva da atividade física, fatores que, paradoxalmente, perpetuam ou podem amplificar a dor.

Assim, o papel do clínico é contextualizar os achados de imagem dentro do quadro funcional do paciente. O laudo deve ser compreendido como parte da informação diagnóstica, e não como sentença definitiva. A experiência clínica , construída a partir da história, exame físico, funcionalidade e trajetória temporal dos sintomas, frequentemente oferece informações mais determinantes para a conduta terapêutica do que a descrição isolada de alterações anatômicas. Entre a imagem e a experiência, o raciocínio clínico é o elemento integrador. A dor lombar não pode ser reduzida ao que aparece nos exames de imagem; ela emerge da interface entre estrutura, sistema nervoso e comportamento.

Os exercícios físicos estão mais frequentemente relacionados à prevenção da dor lombar, mostrando pouca contribuição no tratamento das dores lombares agudas. No entanto, estudos relevantes (GBD, 2021; Hayden, 2021) demonstram que a prática de exercícios também pode promover melhora significativa da dor e da função em indivíduos com dor lombar crônica, indicando uma diferença clinicamente importante. Além disso, os benefícios dos exercícios parecem estar relacionados não apenas ao fortalecimento muscular, mas também à melhora do controle neuromuscular, da mobilidade articular e da tolerância ao esforço. Programas individualizados, que respeitam o estágio clínico, as comorbidades e o nível funcional do paciente, apresentam melhores resultados, alargando os espaços de uma possível recidiva do quadro álgico, reforçando que a prescrição deve ser progressiva e baseada em evidências.

8.2 Recidiva na dor lombar: particularidades e conduta baseada em carga

A dor lombar apresenta curso tipicamente flutuante e recorrente. Mesmo após evolução satisfatória com programa estruturado de exercícios, pacientes com alterações estruturais pré-existentes ou vulnerabilidade biomecânica podem apresentar novos episódios ao longo do tempo. No entanto, evidências indicam que a prática regular de atividade física reduz o risco de recorrência e prolonga o intervalo livre de dor (Denneny; Walumbe, 2024). Assim, embora a recidiva seja fenômeno esperado na história natural da condição, sua frequência tende a ser menor em indivíduos fisicamente ativos.

Diante de uma exacerbação, a conduta terapêutica deve priorizar **modulação da carga**, e não suspensão completa da atividade física. Diretrizes internacionais reforçam que o repouso prolongado e a inatividade não são recomendados, mesmo em fases de piora sintomática, exceto na presença de sinais de alerta clínico (red flags) (WHO, 2023).

Durante recidivas, recomenda-se:

- reduzir temporariamente intensidade e volume dos exercícios;
- priorizar movimentos de baixa irritabilidade e controle motor;
- manter atividade aeróbica leve e tolerável (ex.: caminhada);
- evitar progressões abruptas;
- reintroduzir progressivamente cargas maiores conforme estabilização dos sintomas.

Essa estratégia evita o ciclo de descondicionamento, perda de confiança no movimento e amplificação da percepção de fragilidade estrutural. A interrupção completa do exercício pode favorecer rigidez, redução de resistência muscular e maior vulnerabilidade a novos episódios.

A recidiva não deve ser interpretada como fracasso terapêutico, mas como característica inerente ao curso clínico da dor lombar. Assim, o foco deve permanecer na manutenção da capacidade funcional e na retomada gradual do programa previamente estabelecido.

Lembre-se: “O abuso pode irritar e o desuso enfraquece”. Na dor lombar, o equilíbrio entre estímulo e recuperação é parte do tratamento.

8.3 Prescrição estruturada

Diretrizes internacionais recentes recomendam o exercício físico como intervenção central no manejo não cirúrgico da dor lombar crônica, dentro de um modelo centrado na pessoa, com ênfase em autocuidado, progressão funcional e abordagem biopsicossocial (WHO, 2023).

1. **Intervenção principal (base do tratamento)**

Objetivos:

- Redução da dor;
- Melhora da função;
- Aumento da estabilidade lombopélvica;
- Reintrodução progressiva de carga mecânica sobre a coluna (WHO, 2023).

O exercício deve ser compreendido como ferramenta de modulação funcional e neurofisiológica, não apenas como estímulo mecânico.

- **Frequência:**
  - 2–3 vezes por semana, com progressão individualizada conforme tolerância clínica.
- **Exemplos:**
  - **Exercícios de estabilização** lombar e controle motor (ativação de transverso do abdômen e multífidos) (Saragiotto, 2016);
  - **Prancha modificada:** com apoio nos joelhos ou apoio em uma bancada;
  - **Elevação do quadril deitado:** paciente deitado de barriga para cima, joelhos flexionados e pés apoiados no chão. Eleva o quadril até alinhar joelhos, quadris e ombros, mantendo o abdome contraído;
  - **Exercício alternado de braços e pernas deitado:** paciente deitado de barriga para cima, quadris e joelhos flexionados a 90°. Estende lentamente uma perna e o braço oposto, mantendo a lombar estável e encostada no solo, alternando os lados.
  - **Extensão alternada de braço e perna em quatro apoios:** paciente apoiado em mãos e joelhos (posição de “quatro apoios”). Estende simultaneamente um braço e a perna oposta, mantendo a coluna alinhada e estável.
  - **Fortalecimento de cadeia posterior e anterior: Agachar de forma correta e controlada**, movimento de sentar e levantar mantendo a coluna alinhada, joelhos acompanhando a direção dos pés e o peso distribuído nos calcanhares. Pode ser feito como “sentar e levantar da cadeira”, priorizando controle e postura adequada.
  - **Levantamento terra adaptado: Inclinar o tronco para frente mantendo as costas alinhadas**, movimento de inclinar o tronco para frente empurrando o quadril para trás, com leve flexão dos joelhos e coluna neutra. É semelhante ao

gesto de pegar um objeto do chão mantendo as costas alinhadas. Quando adaptado, pode ser feito com carga leve (halter leve, bastão ou até sem peso), priorizando técnica e controle.

Figura 3 - Exemplos de exercícios de estabilização do core e fortalecimento funcional



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da figura. Ilustrações demonstrando exercícios básicos utilizados para melhora da estabilidade lombo-pélvica, controle motor e fortalecimento global. Esses exercícios priorizam controle postural, ativação do core e fortalecimento das cadeias musculares anterior e posterior.

- **Atenção biomecânica:** Exercícios como agachamento e levantamento terra aumentam a pressão intradiscal, especialmente quando realizados com carga e flexão lombar inadequada. Portanto:
  - evitar cargas elevadas em fases agudas ou altamente sintomáticas;
  - priorizar técnica e controle motor antes da progressão de carga;
  - manter coluna em posição neutra;
  - progredir conforme tolerância clínica.

O aumento de pressão intradiscal não contraindica o movimento; a progressão inadequada é que representa risco. Portanto, é importante:

- praticar em intensidade leve a moderada inicialmente (≈50–70% de 1RMC quando aplicável);

- fazer progressão gradual evitando exacerbações persistentes;
- evitar repouso prolongado e imobilização desnecessária (WHO, 2023).

2. Estratégias associadas / suporte complementar

Objetivo:

Reduzir sensibilização central, restaurar confiança no movimento e modular fatores psicossociais associados à cronificação (Wertli, 2014).

Exemplos:

- Exercício aeróbico de baixo impacto (caminhada progressiva, bicicleta);
- Mobilidade toracolombar e de quadril;
- Programas multicomponentes (Pilates clínico, Yoga adaptado);
- Educação baseada em neurociência da dor para redução de medo-evitação Wertli, 2014);
- Integração com tratamento farmacológico quando indicado.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) desaconselha o uso rotineiro de opioides, órteses lombares e tração mecânica na maioria dos casos de dor lombar crônica (Who, 2023).

3. Parâmetros de atividade física / dose terapêutica

Objetivo:

Melhora da capacidade funcional, resistência muscular e condicionamento cardiorrespiratório, com impacto direto na dor e qualidade de vida.

Recomendações:

- Mínimo de 8–12 semanas de intervenção estruturada (WHO, 2023);
- ≥150 minutos semanais de atividade aeróbica moderada, conforme tolerância;
- Fortalecimento ≥2 dias por semana;
- Sessões com duração média de 45–60 minutos.
- Evidências recentes indicam que programas estruturados de atividade física, especialmente aqueles que combinam caminhada progressiva e educação, reduzem significativamente o risco de recorrência de episódios de dor lombar (Denneny; Walumbe, 2024).

4. Componentes funcionais e preventivos

Objetivo:

Reduzir recorrência, restaurar padrão biomecânico eficiente e melhorar autonomia funcional.

Exemplos:

- Treino de controle motor lombopélvico (Saragiotto, 2016);
- Estabilidade dinâmica;
- Reeducação de padrões de agachamento e levantamento seguro;
- Exercícios multiarticulares funcionais;
- Exposição graduada ao movimento em pacientes com medo-evitação (Wertli, 2014).

5. Individualização do programa terapêutico (princípio fundamental)

Considerar sempre

- Fase da dor (aguda, subaguda ou crônica);
- Fatores psicossociais e crenças relacionadas à dor (Wertli, 2014);
- Nível funcional prévio (memória muscular);
- Comorbidades metabólicas ou musculoesqueléticas associadas.

Exemplo prático

- Paciente com medo significativo → início com exercícios de baixa ameaça perceptiva + educação em dor;
- Paciente funcionalmente ativo → progressão estruturada com ênfase em força global e resistência muscular.

Nota de responsabilidade: As informações apresentadas neste guia têm caráter educacional e científico. A prescrição de exercícios e demais intervenções devem ser realizada por profissional habilitado, após avaliação individualizada do paciente. O autor não se responsabiliza por condutas terapêuticas adotadas sem a devida análise clínica.



Suporte Nutricional Associado ao exercício na Dor Lombar

Objetivos:

- auxiliar no controle de peso quando presente obesidade, reduzindo sobrecarga axial e risco de cronificação (Shiri et al. 2010);
- modular inflamação sistêmica de baixo grau;
- preservar massa e função muscular estabilizadora do tronco;
- potencializar resposta adaptativa ao treinamento resistido.

9. COMPLEXO MUSCULOESQUELÉTICO DO ENVELHECIMENTO (CME)

O CME é uma nova lente clínica para condições
musculoesqueléticas tradicionalmente fragmentadas
Alexandre Paiva

9.1 Fundamentação Epidemiológica e Fragmentação Histórica das Doenças Muscoesqueléticas

Ao longo desta obra, reiteramos de forma deliberada que as doenças musculoesqueléticas figuram entre os principais determinantes de incapacidade funcional no mundo contemporâneo. Essa repetição não é casual. Ela reflete a consistência e a robustez das evidências epidemiológicas disponíveis. Dados do Global Burden of Disease demonstram de maneira persistente que essas condições permanecem entre as maiores responsáveis por anos vividos com incapacidade (Years Lived with Disability – YLDs), configurando um problema sanitário global de caráter estrutural, progressivo e frequentemente subestimado nos sistemas de saúde (Vos, 2020).

Diferentemente de enfermidades agudas de alta letalidade, as doenças musculoesqueléticas impõem trajetória prolongada de declínio funcional, com repercussões cumulativas sobre autonomia, produtividade e qualidade de vida.

A escolha de osteoartrite, osteoporose, sarcopenia e dor lombar como eixos estruturantes desta obra fundamenta-se em três dimensões convergentes: magnitude epidemiológica, impacto econômico sistêmico e interdependência biológica no contexto do envelhecimento populacional.

Embora essas condições já tenham sido discutidas em profundidade nos capítulos anteriores, retomar brevemente sua relevância neste momento é fundamental para compreender por que elas constituem o núcleo das doenças musculoesqueléticas associadas à incapacidade funcional no envelhecimento.

A dor lombar permanece como a principal causa de incapacidade no mundo nas últimas décadas, afetando centenas de milhões de indivíduos e representando importante fator de afastamento laboral (Vos, 2020; Safiri, 2020). Sua natureza recorrente e multifatorial a posiciona como paradigma clínico das condições musculoesqueléticas crônicas.

A osteoartrite (artrose) constitui a doença articular degenerativa mais prevalente globalmente, com estimativas superiores a 500 milhões de pessoas acometidas (Safiri, 2020). Caracteriza-se por degradação progressiva da cartilagem, remodelação subcondral, inflamação sinovial de baixo grau e deterioração biomecânica cumulativa, ou seja, uma doença degenerativa, inflamatória e crônica. A osteoartrite de joelho concentra a maior parcela dos casos sintomáticos e responde por expressiva limitação da marcha e perda de independência (Cross, 2014). Sua prevalência aumenta substancialmente após a sexta década de vida, acompanhando o envelhecimento demográfico global (Cross, 2014; Hunter; Bierma-Zeinstra, 2019).

A osteoporose, por sua vez, é condição sistêmica caracterizada por redução da massa óssea e deterioração microestrutural, culminando em aumento do risco de fraturas por fragilidade. Estima-se que uma em cada três mulheres e um em cada cinco homens acima dos 50 anos sofrerão fratura osteoporótica ao longo da vida (Kanis, 2019). As fraturas de quadril associam-se a mortalidade significativa no primeiro ano e a declínio funcional permanente em parcela considerável dos pacientes que sofrem de osteoporose.

A sarcopenia descreve a perda progressiva de massa e força muscular associada ao envelhecimento, sendo reconhecida como entidade clínica nas últimas décadas (Cruz-Jentoft et al., 2019). Sua presença amplifica o risco de quedas, hospitalizações e dependência funcional, além de potencializar a sobrecarga articular e o risco de fraturas.

Normalmente encaramos doenças como osteoartrite, osteoporose, sarcopenia e dor lombar como entidades clínicas distintas, cada qual com critérios diagnósticos, linhas terapêuticas e campos de investigação próprios. O modelo assistencial frequentemente mantém abordagem segmentar, centrada na estrutura isolada. Essa dissociação entre realidade biológica integrada e organização clínica fragmentada pode limitar estratégias terapêuticas mais abrangentes, sobretudo no envelhecimento, quando múltiplas alterações coexistem e interagem funcionalmente.

9.2 Convergência Biológica no Envelhecimento

O envelhecimento impõe modificações progressivas ao sistema locomotor que transcendem a degeneração isolada de tecidos específicos. Músculo, osso e cartilagem compartilham vias de sinalização, mecanismos adaptativos e respostas inflamatórias interdependentes.

O conceito de “inflammaging” reforça a presença de inflamação crônica de baixo grau como mecanismo transversal nas doenças relacionadas ao envelhecimento (Franceschi, 2018). Citocinas pró-inflamatórias exercem influência simultânea sobre metabolismo ósseo, integridade cartilaginosa e qualidade muscular. Adicionalmente, a mecanotransdução demonstra que estímulos mecânicos modulam de maneira integrada músculo e osso, enquanto alterações articulares modificam padrões de ativação muscular e distribuição de cargas (Frost, 1987). Assim, o declínio estrutural raramente ocorre de forma isolada; ele tende a reorganizar todo o sistema locomotor.

9.3 O Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento como Modelo Integrativo

Com base nessa convergência estrutural, inflamatória e biomecânica, esta obra propõe o conceito de **Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME)**, o qual pode ser compreendido como:

Um estado de reorganização progressiva do sistema locomotor associado ao envelhecimento, caracterizado por deterioração estrutural interdependente de cartilagem, osso e músculo, presença de inflamação crônica de baixo grau, alterações biomecânicas cumulativas e redução da reserva adaptativa ao estresse mecânico.

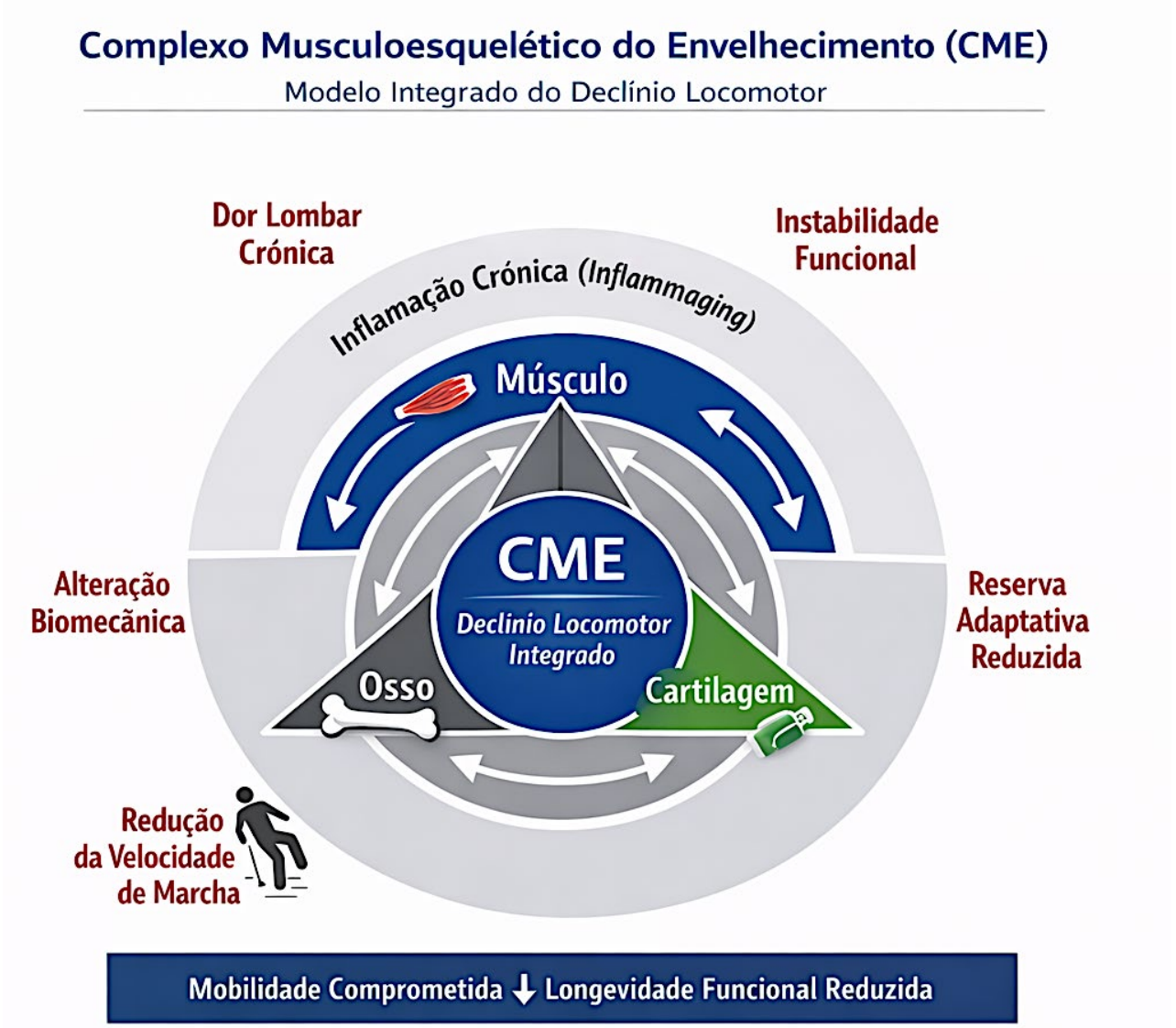
O Complexo não se configura, neste momento, como entidade diagnóstica formalmente validada. Trata-se de um modelo conceitual integrativo destinado a auxiliar a interpretação clínica de padrões frequentemente observados na prática assistencial.

Na realidade clínica, é comum que indivíduos envelhecidos apresentem simultaneamente osteoartrite sintomática, fragilidade óssea, perda de força muscular e dor lombar crônica. Mais do que coexistência casual, essas manifestações parecem refletir um processo biológico compartilhado de declínio locomotor integrado.

Sob essa perspectiva, o CME descreve um fenótipo funcional, no qual alterações estruturais e funcionais interagem e se retroalimentam. Redução de força muscular altera distribuição de cargas articulares; degeneração articular modifica padrões motores; fragilidade óssea impõe limitação de impacto; dor persistente reduz mobilidade e acelera perda de massa muscular.

O modelo propõe, portanto, uma lente interpretativa sistêmica, sem pretensão de substituir classificações nosológicas vigentes.

Figura 1 - Modelo conceitual autoral do Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME).



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da Figura: O CME representa a convergência interdependente entre músculo, osso e cartilagem, modulada por inflamação crônica de baixo grau e alterações biomecânicas progressivas. Essa interação culmina em declínio locomotor integrado, manifestado por redução funcional e perda de autonomia. O modelo propõe abordagem sistêmica das doenças musculoesqueléticas associadas ao envelhecimento.

Assim, o Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME) caracteriza-se pela coexistência e interação progressiva entre osteoartrite, osteoporose, sarcopenia e dor lombar crônica, compondo um fenótipo clínico integrado de fragilidade estrutural e funcional.

Não se trata de doenças isoladas que eventualmente se sobrepõem, mas de um sistema biologicamente interdependente, no qual:

- a perda de massa e força muscular compromete estabilidade articular e sobrecarga axial;
- a degeneração articular altera padrões biomecânicos;

- a redução da densidade mineral óssea aumenta vulnerabilidade estrutural;
- a dor lombar crônica perpetua inatividade, descondicionamento e amplificação funcional da incapacidade.

O CME representa, portanto, um continuum fisiopatológico marcado por inflamação de baixo grau, resistência anabólica, descondicionamento mecânico e vulnerabilidade estrutural progressiva.

9.4 Nutrição como base, farmacoterapia quando indicada

No contexto do CME, a nutrição constitui o alicerce metabólico da intervenção. A adequação proteica, o suporte energético apropriado, a correção de hipovitaminose D, a ingestão adequada de cálcio e o uso criterioso de recursos como creatina sustentam massa muscular, qualidade óssea e resposta adaptativa ao exercício.

Sem substrato metabólico adequado, o estímulo mecânico perde eficiência; sem estímulo mecânico, a nutrição carece de direção funcional. Entretanto, em situações de risco estrutural elevado, particularmente na osteoporose com alto risco de fratura, a base metabólica deve ser complementada por farmacoterapia específica. Agentes antirreabsortivos reduzem reabsorção óssea e risco de fraturas. Terapias biológicas podem ser indicadas em cenários de risco muito elevado. A decisão terapêutica deve ser guiada por estratificação clínica, risco absoluto de fratura, funcionalidade e contexto individual.

No Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME), não tratamos apenas ossos, articulações, músculos ou dor isoladamente, tratamos a capacidade estrutural do indivíduo de sustentar movimento ao longo da vida. Nutrição estrutura o terreno biológico, o exercício organiza a função e a farmacoterapia intervém quando o risco ultrapassa a reserva adaptativa.

- **O CME propõe uma mudança de paradigma: sair da abordagem fragmentada por diagnóstico e avançar para um modelo integrado de preservação da autonomia funcional. Mais do que controlar doenças, o objetivo é preservar a competência mecânica do envelhecimento**.

Nesse cenário, a prescrição do exercício físico exige sofisticação clínica: não se trata de aplicar protocolos padronizados para doenças específicas, mas de modular cargas, progressões e estímulos em um organismo cuja reserva adaptativa está reduzida e cujas estruturas interagem continuamente.

Se a epidemiologia revela a magnitude do problema, a integração conceitual redefine a forma de enfrentá-lo.

9.5. Obesidade, Sarcopenia e sua Centralidade no Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME)

O enfoque central desta obra é o exercício como ferramenta terapêutica e preventiva nas doenças musculoesqueléticas. Entretanto, ao discutirmos o Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME) — entendido como a convergência clínica das patologias previamente analisadas de forma isolada, torna-se conceitualmente indispensável integrar a obesidade e sua interação. Nos capítulos anteriores, ao abordarmos separadamente osteoartrose, dor lombar, sarcopenia e osteoporose, encerramos cada seção com considerações nutricionais superficiais, por não se tratar do ponto central desta obra, mas por coerência fisiológica: o estado nutricional condiciona, de maneira decisiva, o sucesso da implementação do exercício físico quando há excesso de adiposidade associado.

A obesidade é reconhecida como doença neurocomportamental crônica, progressiva e recidivante, de etiologia multifatorial, na qual o aumento da gordura corporal promove disfunção do tecido adiposo e desencadeia consequências metabólicas, biomecânicas e psicossociais adversas (Bray; Kim; Wilding, 2017). A Organização Mundial da Saúde a classifica como um dos principais desafios sanitários globais (WHO, 2020, 2023). Estimativas recentes indicam que mais de 1 bilhão de pessoas vivem atualmente com obesidade no mundo, incluindo adultos e crianças, e projeções sugerem crescimento contínuo nas próximas décadas (WHO, 2023). No Brasil, dados de vigilância epidemiológica demonstram aumento sustentado da prevalência de obesidade na população adulta nas últimas duas décadas (Brasil, 2023). Esse panorama epidemiológico modifica estruturalmente o perfil das doenças musculoesqueléticas, sobretudo aquelas relacionadas a segmentos de carga.

No contexto do CME, isto é, quando as doenças previamente estudadas de forma separada passam a coexistir e interagir no mesmo indivíduo, a obesidade deixa de ser um fator periférico e assume papel organizador da fisiopatologia musculoesquelética. Na osteoartrite (artrose) de membros inferiores, particularmente joelho e quadril, o aumento da massa corporal eleva exponencialmente as forças compressivas articulares durante a marcha, favorecendo degradação cartilaginosa progressiva (Felson, 1995). Contudo,

reduzir sua influência somente à sobrecarga mecânica seria conceitualmente insuficiente. O tecido adiposo atua como órgão endócrino, produzindo adipocinas e citocinas pró-inflamatórias que participam da degradação da matriz cartilaginosa e da sensibilização nociceptiva (Vincent, 2012). A robustez desse componente metabólico é reforçada por evidências de associação significativa entre obesidade e osteoartrose de mãos, articulações não submetidas à carga corporal direta, demonstrada em meta-análise (Yusuf, 2010). Tal achado constitui ponto de inflexão conceitual dentro do CME: a obesidade não apenas sobrecarrega articulações de sustentação, mas altera sistemicamente o ambiente biológico articular.

Na dor lombar crônica, também discutida isoladamente em capítulo próprio, o excesso de adiposidade amplia a carga axial sobre discos intervertebrais e articulações facetárias, favorecendo degeneração estrutural. Paralelamente, o estado inflamatório sistêmico de baixo grau pode potencializar mecanismos de sensibilização central e perpetuação da dor (Shiri, 2010). A interação entre obesidade, dor lombar e perda progressiva de massa muscular estabilizadora cria um ciclo de deterioração funcional que, no CME, entendido como a sobreposição dessas patologias, assume caráter estrutural e autossustentado.

A inclusão da sarcopenia nesse cenário é fundamental. A coexistência de obesidade e redução de massa muscular — obesidade sarcopênica — representa condição particularmente deletéria para o sistema musculoesquelético (Roubenoff, 2004). Nesse contexto, há simultaneamente aumento de carga mecânica e redução da capacidade contrátil, combinação que compromete estabilidade articular, eficiência biomecânica e reserva funcional. Embora a osteoporose componha o CME, sua interação direta com a adiposidade excessiva é menos determinante quando comparada ao impacto observado na osteoartrose de membros inferiores e na dor lombar, razão pela qual a ênfase terapêutica recai prioritariamente sobre essas condições de carga e dor axial.

> **A evidência demonstra que o exercício físico isolado, sem ajuste nutricional que produza déficit calórico sustentado, raramente resulta em perda ponderal clinicamente relevante (Swift, 2014).**

A regulação do balanço energético permanece majoritariamente dependente da ingestão calórica. Assim, no âmbito do CME, como integração das doenças tratadas separadamente nesta obra, o controle da adiposidade é condição estruturante para que o exercício alcance sua máxima efetividade terapêutica.

Exercício no contexto do Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento

Até o momento da elaboração desta obra, o autor não identificou na literatura modelos previamente consolidados que integrassem, sob uma mesma estrutura conceitual, osteoartrose, osteoporose, sarcopenia e dor lombar crônica como componentes interdependentes de um mesmo continuum de falência funcional do sistema locomotor relacionado ao envelhecimento. Nesse contexto, o Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME) é apresentado nesta obra como uma proposta conceitual original, destinado a ampliar a compreensão clínica integrada dessas condições. Portanto, não existem, até o momento, ensaios clínicos desenhados especificamente para definir qual modalidade de exercício é superior em indivíduos com combinação simultânea de osteoartrose, osteoporose, sarcopenia e dor lombar crônica.

Dessa forma, a prescrição de exercício no contexto do CME deve ser construída por inferência clínica fundamentada, a partir das melhores evidências disponíveis para cada componente isolado do complexo, reconhecendo que, nesses pacientes, dor, perda de força, rigidez articular, medo de movimento, instabilidade postural e limitação funcional tendem a coexistir e a reduzir a tolerância a programas convencionais de maior intensidade.

Nesse cenário, o exercício físico deve ser compreendido como uma intervenção terapêutica multicomponente, progressiva e adaptada. As diretrizes internacionais de atividade física para adultos idosos recomendam a combinação de exercícios aeróbicos, fortalecimento muscular, equilíbrio funcional e atividades multicomponentes, especialmente quando há risco de quedas ou perda funcional (Bull et al., 2020). Essa orientação é particularmente aplicável ao CME, no qual a meta inicial não deve ser desempenho, mas sim restaurar tolerância mecânica, controle motor, confiança funcional e capacidade de progressão.

A base do programa deve incluir fortalecimento progressivo, especialmente de membros inferiores e musculatura estabilizadora do tronco, pois revisões sistemáticas demonstram que o treinamento resistido melhora força, desempenho físico e parâmetros relacionados à sarcopenia (Shen, 2023). Além disso, programas de resistência progressiva podem produzir ganhos simultâneos de força muscular e densidade mineral óssea no terço proximal do fêmur em idosos, ainda que a resposta óssea seja mais heterogênea do que a resposta muscular (O'Bryan et al., 2022). Em pacientes com osteoartrose, exercícios terapêuticos em solo, quando supervisionados e ajustados à tolerância individual, reduzem dor e melhoram função, reforçando que a presença de degeneração articular não deve ser

interpretada como contraindicação ao movimento, mas como indicação para prescrição mais criteriosa (Guo et al., 2022).

Dentro dessa lógica, atividades de baixo impacto articular, com ênfase em controle motor, mobilidade, força submáxima, estabilidade lombo-pélvica, equilíbrio e consciência corporal, podem ser consideradas estratégias iniciais adequadas para indivíduos com maior comprometimento musculoesquelético.

Frequentemente, na prática clínica, somos confrontados com questionamentos relacionados a modalidades específicas de exercício, sendo o Pilates uma das mais frequentemente mencionadas pelos pacientes em nosso meio. Tal interesse reflete não apenas a ampla difusão dessa prática na população geral, mas também a percepção, muitas vezes empírica, de que se trata de uma intervenção segura, de baixo impacto e potencialmente benéfica para condições musculoesqueléticas.

Nesse contexto, torna-se fundamental compreender, de forma crítica e baseada em evidência, qual o papel do Pilates dentro do conjunto de estratégias terapêuticas baseadas em exercício, não apenas no contexto do Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME), mas também quando consideramos isoladamente as principais condições que o compõem, como osteoartrose, sarcopenia, osteoporose e dor lombar crônica.

Do ponto de vista clínico, o Pilates deve ser interpretado não como uma intervenção substitutiva às modalidades clássicas de reabilitação, mas como parte de um pool de exercícios, cuja indicação deve ser orientada por objetivos específicos, como melhora do controle motor, aumento da mobilidade articular, fortalecimento muscular submáximo, ganho de estabilidade lombo-pélvica e redução da dor.

Assim, a recomendação dessa modalidade exige que o profissional de saúde seja capaz de contextualizar sua indicação, esclarecendo ao paciente suas potencialidades e limitações, bem como sua posição dentro de um programa mais amplo e progressivo de exercício físico. Em outras palavras, o Pilates pode representar uma porta de entrada terapêutica importante ou um componente complementar estratégico, especialmente em indivíduos com menor tolerância inicial à carga mecânica, mas raramente deve ser considerado uma intervenção isolada quando o objetivo envolve desfechos mais robustos, como ganho de massa muscular, aumento de densidade mineral óssea ou melhora significativa da capacidade cardiorrespiratória.

As evidências disponíveis sustentam essa consideração. Em idosos com condições musculoesqueléticas crônicas, revisão sistemática mostrou que o Pilates pode reduzir dor

e incapacidade e melhorar função física e qualidade de vida (Denham-Jones et al., 2022). Em adultos com dor lombar crônica, revisões sistemáticas indicam melhora de dor e incapacidade em comparação com cuidado usual ou mínima intervenção, embora seus efeitos sejam, em geral, semelhantes aos de outras formas estruturadas de exercício no médio e longo prazo (Wells et al., 2014; Hayden et al., 2021) Em idosos, revisão sistemática e metanálise demonstrou que o Pilates melhora equilíbrio, força, flexibilidade, funcionalidade e pode reduzir risco de quedas, aspectos diretamente relevantes para o CME (Fernández-Rodríguez et al., 2021).

A relação entre Pilates e saúde óssea deve ser interpretada com maior cautela. Metanálise em mulheres adultas mostrou que Pilates e Yoga não aumentaram significativamente a densidade mineral óssea quando comparados ao grupo controle, embora análises intragrupo tenham sugerido pequeno ganho, especialmente em mulheres pós-menopáusicas (Fernández-Rodríguez et al., 2021). Portanto, no CME, o Pilates pode ser recomendado como estratégia de mobilidade, controle motor, equilíbrio, força funcional e redução de dor, mas não deve ser apresentado como intervenção isolada suficiente para osteoporose. Quando o objetivo principal for ganho de massa óssea ou redução de risco osteoporótico, deve ser associado a fortalecimento progressivo, exercícios com sustentação de peso, treino de equilíbrio e medidas nutricionais/farmacológicas quando indicadas.

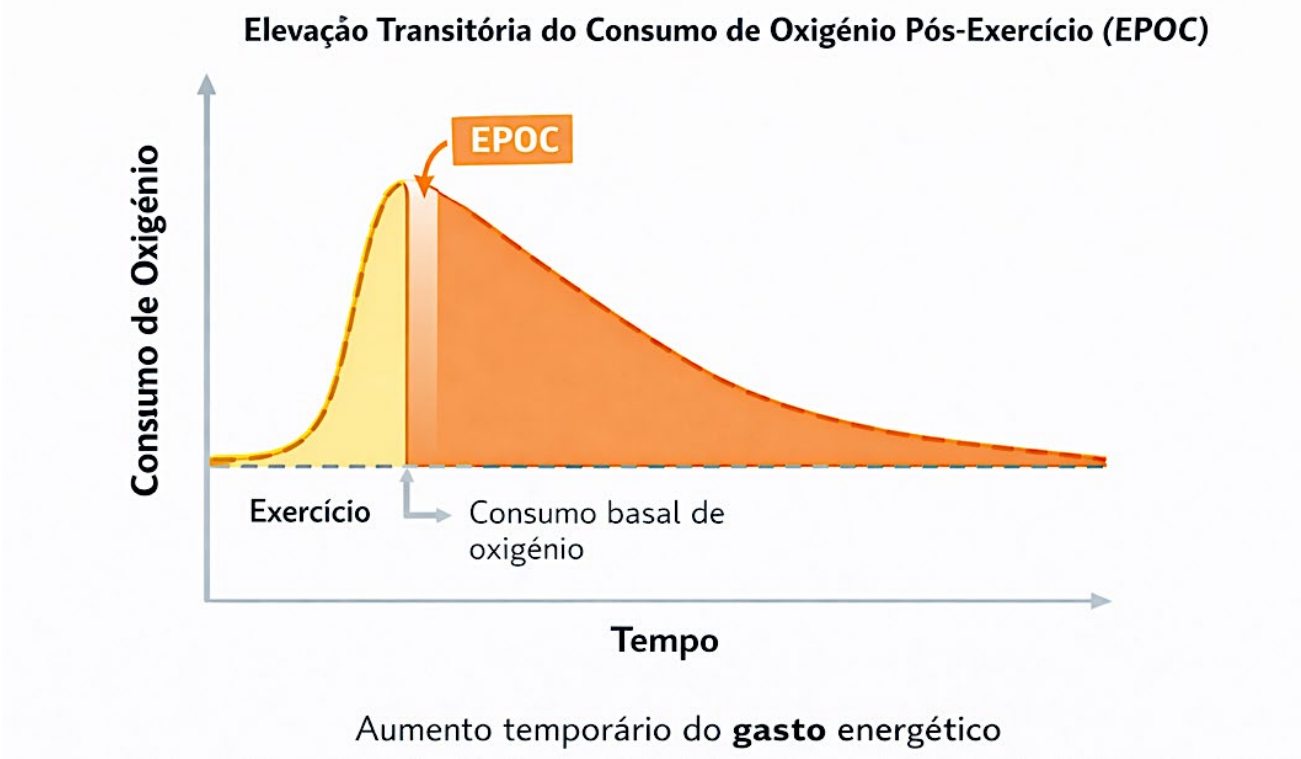
Assim, no paciente com CME, o programa inicial pode priorizar exercícios multicomponentes de baixa sobrecarga articular, como Pilates clínico, treinamento funcional supervisionado, exercícios resistidos adaptados, hidroterapia, caminhada progressiva e treino de equilíbrio. A progressão deve respeitar dor, fadiga, estabilidade articular e resposta funcional. O princípio central não é escolher uma modalidade única, mas construir uma sequência terapêutica: primeiro controlar dor e restaurar mobilidade segura; depois desenvolver força e estabilidade; finalmente ampliar capacidade aeróbica, potência funcional e autonomia nas atividades de vida diária.

9. 6. Treinamento resistido como fator de aumento do consumo de oxigênio pós-exercício – o conceito EPOC, no auxílio da perda de peso

Dentro dessa estratégia integrada, o treinamento de força assume papel prioritário, especialmente em modalidades de baixo impacto articular. Em indivíduos com osteoartrose de joelho ou quadril e em portadores de dor lombar crônica, exercícios resistidos progressivos, controlados e sem impacto repetitivo permitem estímulo anabólico muscular sem exacerbar sobrecarga articular. O aumento da massa muscular eleva a taxa metabólica

basal, melhora a sensibilidade à insulina, reduz infiltração gordurosa intramuscular e favorece estabilidade articular (Cruz-Jentoft et al., 2019; Bray; Kim; Wilding, 2017). Além disso, sessões de treinamento resistido podem induzir elevação transitória do consumo de oxigênio pós-exercício (EPOC), contribuindo para aumento temporário do gasto energético após a sessão (Børsheim, 2003).

Figura 2 – Elevação Transitória do consumo de Oxigênio pós-exercício



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da Figura: Representação esquemática do aumento do consumo de oxigênio durante o exercício e sua manutenção temporariamente elevada após o término da atividade, caracterizando o fenômeno denominado Excess Post-Exercise Oxygen Consumption (EPOC). Esse período reflete a recuperação metabólica do organismo e contribui para aumento transitório do gasto energético pós-exercício.

Embora o impacto isolado do EPOC seja modesto na perda de peso, sua associação com maior massa magra e dieta hipocalórica planejada potencializa o controle metabólico.

Importa ainda reconhecer que níveis elevados de aptidão física podem atenuar riscos cardiometabólicos mesmo na presença de obesidade (Barry, 2014). Tal constatação reforça que a intervenção deve ser estruturada e individualizada, evitando reducionismos simplificadores.

No Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento, compreendido como a convergência dinâmica das doenças anteriormente analisadas de forma isolada, a dieta estruturada é o determinante primário da redução da adiposidade. O exercício físico,

particularmente o treinamento de força sem impacto, é o principal sustentáculo funcional que preserva massa muscular, modula inflamação, melhora a capacidade biomecânica e viabiliza a continuidade do tratamento. Não se trata de escolher entre dieta ou exercício, mas de compreender sua hierarquia fisiológica: a dieta reduz a carga; o exercício restaura a função. No CME, perder peso sem preservar músculo é estratégia incompleta; exercitar-se sem corrigir o excesso adiposo é abordagem limitada. A integração rigorosa entre nutrição estruturada e treinamento de força progressivo constitui, portanto, o eixo terapêutico definitivo capaz de interromper o ciclo que une obesidade, inflamação, dor e declínio funcional no envelhecimento musculoesquelético.

9.7 CME – Implicações Clínicas e Perspectivas Futuras

A adoção do CME como lente clínica desloca o foco da estrutura isolada para a funcionalidade global. A abordagem terapêutica passa a considerar o sistema locomotor como unidade biológica interdependente.

As recomendações internacionais de atividade física fornecem metas populacionais claras (Cruz-Jentoft, 2019), porém sua aplicação em indivíduos com reserva adaptativa reduzida requer progressão individualizada e monitoramento funcional contínuo.

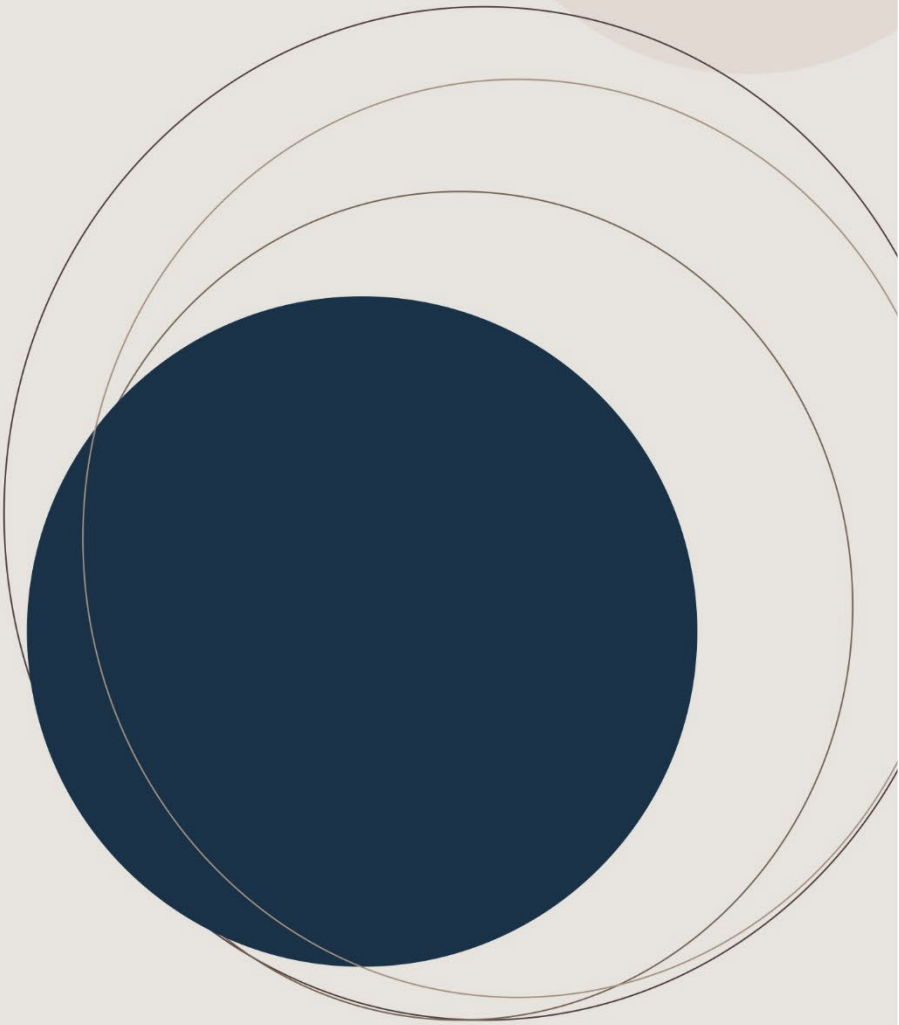
Nesse contexto, o exercício físico assume papel central não apenas como intervenção sintomática, mas como ferramenta de reorganização biomecânica e modulação inflamatória sistêmica.

Do ponto de vista científico, o CME configura hipótese integrativa que pode orientar futuras investigações longitudinais, explorando biomarcadores inflamatórios, parâmetros funcionais e desfechos clínicos combinados. A validação empírica desse modelo poderá contribuir para maior refinamento conceitual e eventual operacionalização clínica.

Reconhecer o Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento significa admitir que o envelhecimento não compromete apenas tecidos isolados, mas reorganiza progressivamente o sistema de movimento como um todo. A prática clínica, portanto, deve responder com igual integração.

PARTE III

AIMPLEMENTAÇÃO NA PRÁTICA CLÍNICA



10. AVALIAÇÃO PRÉ PARTICIPAÇÃO (APP) COM ÊNFASE CLÍNICA

No que se refere a doenças musculoesqueléticas, a meu ver, não existe contraindicação de atividade física, mas sim aquela atividade mais específica para aquela pessoa naquele momento de vida...

Alexandre Paiva

Embora haja exceções clínicas específicas (como fraturas agudas, infecções ou condições severas que exigem imobilização), a evidência científica contemporânea demonstra que a atividade física não é, em si, contraindicada na maioria das doenças musculoesqueléticas. Ao contrário, exercícios direcionados e individualizados melhoram dor, função e qualidade de vida em muitas dessas condições. Por isso, mais do que evitar a atividade, o foco deve ser em selecionar e adaptar a modalidade, intensidade e volume de exercício ao estado clínico e ao contexto de vida de cada pessoa.

Como podemos orientar atividade física sem expor o paciente a riscos evitáveis?

A resposta está na realização criteriosa da avaliação pré-participação (APP), estruturada à luz das melhores evidências científicas e das diretrizes internacionais contemporâneas.

A prática regular de atividade física constitui um dos pilares fundamentais da promoção da saúde e da prevenção primária e secundária das doenças crônicas não transmissíveis. Entretanto, a transição do sedentarismo para um programa estruturado de exercícios, ou o incremento da intensidade do treinamento, impõe demandas fisiológicas agudas sobre os sistemas cardiovascular, respiratório, metabólico e musculoesquelético, exigindo estratificação prévia de risco (Shephard, 2015; Nóbrega et al. 2013; Riebe et al. 2021).

A APP tem como objetivo identificar condições clínicas subjacentes potencialmente associadas a eventos adversos durante o esforço, incluindo cardiopatias silenciosas, doenças metabólicas descompensadas, limitações pulmonares e alterações musculoesqueléticas relevantes (Nóbrega et al. 2013; Riebe et al. 2021; Maron et al. 2007). Trata-se, portanto, de um instrumento de segurança clínica e de otimização terapêutica, e não de um entrave burocrático.

Estratificação de risco e individualização

As diretrizes atuais convergem para um princípio central: individualização baseada em risco (Riebe et al., 2021; Maron et al. 2007; Pelliccia et al. 2021). Nem todos os indivíduos necessitam de investigação complementar extensa antes de iniciar atividade física de intensidade leve a moderada. O grau de aprofundamento da avaliação deve considerar:

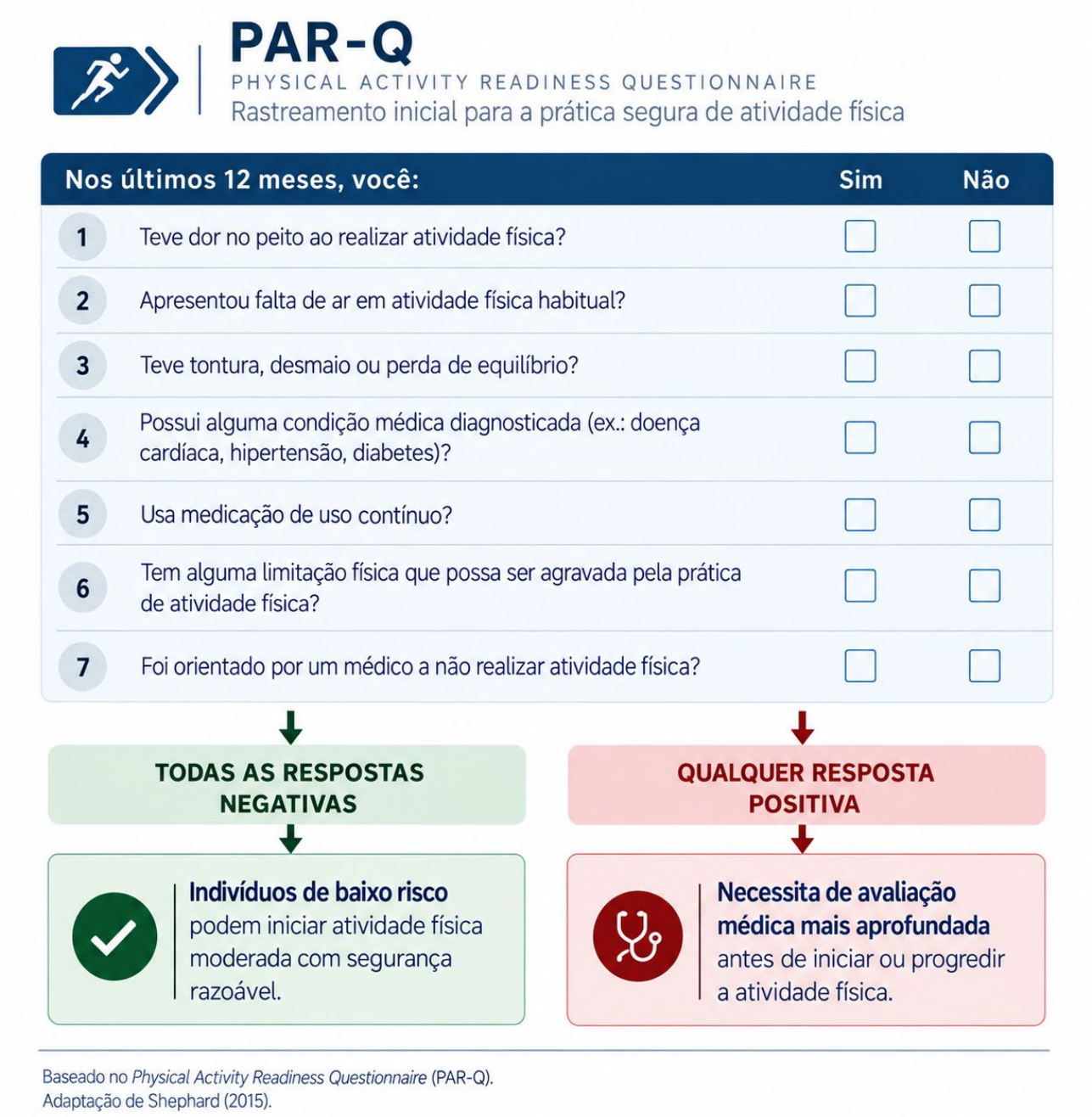
- presença de sintomas cardiovasculares (dor torácica, síncope, dispneia desproporcional);
- diagnóstico prévio de doença cardiovascular, pulmonar ou metabólica;
- número e magnitude de fatores de risco cardiovasculares;
- nível pretendido de intensidade do exercício;
- histórico de inatividade prolongada.

O American College of Sports Medicine (ACSM) reformulou recentemente seu algoritmo de triagem, reduzindo a exigência de liberação médica para indivíduos assintomáticos e fisicamente inativos que pretendem iniciar exercícios de intensidade leve a moderada, priorizando sintomas e doença conhecida como principais marcadores de risco (Riebe et al. 2021).

Instrumentos de triagem

Ferramentas como o Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q), cuja evolução histórica foi descrita por Shephard (2015), permanecem úteis como instrumentos iniciais de rastreamento populacional. Quando todas as respostas são negativas, indivíduos de baixo risco podem iniciar atividade física moderada com segurança razoável. Respostas positivas indicam a necessidade de avaliação médica mais aprofundada, como apresentada na figura 1.

Figura 1 – Questionário de rastreamento inicial para prática de atividade física (PAR-Q).



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Entretanto, questionários não substituem raciocínio clínico estruturado, especialmente em populações com maior prevalência de comorbidades.

Avaliação clínica e exames complementares

A anamnese detalhada e o exame físico permanecem a base da APP. Para indivíduos assintomáticos e de baixo risco, avaliação clínica básica pode ser suficiente. Por outro lado,

pacientes com fatores de risco múltiplos, sintomas sugestivos ou doenças estabelecidas podem demandar:

- Eletrocardiograma de repouso;
- Teste ergométrico ou teste cardiopulmonar;
- Ecocardiograma;
- Exames laboratoriais direcionados;
- Avaliação funcional musculoesquelética específica.

A intensidade planejada da atividade exerce influência direta sobre a necessidade de investigação adicional. O risco relativo de eventos cardiovasculares agudos aumenta transitoriamente durante esforços vigorosos em indivíduos não condicionados, especialmente na presença de aterosclerose subclínica (Maron et al. 2007; Pelliccia et al. 2021).

Custo-efetividade e prevenção de morte súbita

A baixa prevalência de eventos fatais durante atividade física recreacional levanta discussões sobre custo-efetividade dos modelos de triagem universal. A American Heart Association (AHA) tradicionalmente prioriza história clínica e exame físico como estratégia primária (Maron, 2007). Já a European Society of Cardiology (ESC) recomenda inclusão de eletrocardiograma em atletas competitivos, com evidências de redução da incidência de morte súbita em determinados contextos populacionais (Pelliccia, 2021).

No Brasil, a Diretriz em Cardiologia do Esporte e do Exercício da Sociedade Brasileira de Cardiologia e da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte propõe abordagem escalonada, com exames complementares indicados especialmente para atletas profissionais ou esportistas regulares de moderada a alta intensidade (Nóbrega, 2013).

Assim, não há consenso universal absoluto; há, sim, modelos distintos baseados em perfil epidemiológico, custo e organização do sistema de saúde.

Integração musculoesquelética e prescrição segura

Frequentemente subvalorizada, a avaliação do sistema musculoesquelético é componente estratégico da APP. Identificação de desequilíbrios musculares, alterações biomecânicas, limitações de mobilidade, padrões disfuncionais de movimento e histórico de lesões prévias permite:

- Reduzir risco de lesões;
- Melhorar eficiência mecânica;
- Otimizar progressão de carga;
- Potencializar resultados terapêuticos.

A APP deve, portanto, integrar risco cardiovascular e funcionalidade biomecânica, especialmente quando o exercício é utilizado como intervenção terapêutica em doenças osteoarticulares e condições degenerativas.

Periodicidade de Reavaliação Pós triagem Inicial (APP)

O posicionamento conjunto do American College of Sports Medicine destaca que o rastreamento pré-participação deve ser integrado a um modelo dinâmico de acompanhamento, no qual a necessidade de reavaliação é determinada pela presença de sintomas, mudanças no estado de saúde e progressão do treinamento, e não por periodicidade fixa (Riebe et al., 2015). De forma convergente, a American Heart Association (2013) e o European Society of Cardiology (2021) reforçam que estratégias contemporâneas de avaliação para prática de exercício devem priorizar a estratificação de risco e o monitoramento contínuo, particularmente em indivíduos com doenças crônicas ou fatores de risco estabelecidos.

Nesse contexto, a ausência de um intervalo padronizado reflete não uma lacuna, mas sim uma adaptação conceitual à complexidade biológica e clínica dos indivíduos.

Sob uma perspectiva pragmática e clinicamente aplicável, entendemos que a reavaliação após a APP inicial pode ser orientada por três domínios fundamentais:

1. **Estratificação de risco clínico**

Indivíduos com doenças cardiovasculares, metabólicas ou musculoesqueléticas, bem como aqueles classificados como alto risco, apresentam maior probabilidade de eventos adversos ou necessidade de ajustes terapêuticos. Para esses grupos, recomenda-se reavaliação mais frequente, tipicamente em intervalos de 3 a 6 meses, especialmente durante a fase inicial de intervenção (Riebe et al., 2015; American Heart Association, 2013; European Society of Cardiology, 2021).

2. **Fase da intervenção e progressão da carga**

A reavaliação deve ser antecipada em momentos de progressão significativa do treinamento, introdução de novas modalidades ou aumento substancial da intensidade. Em

contrapartida, indivíduos clinicamente estáveis, com boa adaptação funcional e ausência de sintomas, podem ser acompanhados em intervalos mais longos, geralmente entre 6 e 12 meses (Riebe et al., 2015).

3. **Surgimento de sintomas ou intercorrências clínicas**

O aparecimento de dor, dispneia desproporcional, síncope, lesões musculoesqueléticas ou qualquer evento clínico novo constitui indicação formal de reavaliação imediata, independentemente do intervalo previamente estabelecido (American Heart Association, 2013; European Society of Cardiology, 2021).

Adicionalmente, evidências recentes em medicina do exercício reforçam que a resposta ao treinamento, incluindo adaptações funcionais, tolerância à carga e adesão, deve ser incorporada como variável central na decisão de reavaliar, aproximando o raciocínio clínico do modelo de titulação terapêutica utilizado em farmacologia (Pedersen & Saltin, 2015).

Dessa forma, propõe-se que a reavaliação no contexto da APP seja guiada por um modelo adaptativo, centrado no paciente, no qual a periodicidade não é pré-determinada, mas sim modulada pela interação entre risco basal, resposta ao exercício e evolução clínica. Essa abordagem consolida o exercício físico como uma intervenção terapêutica complexa, que exige monitoramento contínuo, ajuste de dose e reavaliação sistemática.

Considerações finais

Não existe protocolo único aplicável a todos os indivíduos. A APP deve ser compreendida como processo clínico dinâmico que integra:

- História clínica;
- Exame físico;
- Estratificação de risco;
- Exames complementares quando indicados;
- Capacidade funcional;
- Objetivos terapêuticos;
- Contexto psicossocial.

O profissional da saúde não deve limitar-se a autorizar ou restringir a prática de exercício. Sua função é adaptar, monitorar e acompanhar a progressão com base na melhor

evidência científica disponível, garantindo que o exercício seja prescrito com a mesma precisão conceitual aplicada à farmacoterapia.

Portanto, prescrever exercício sem avaliação adequada é, em essência, prescrever dose medicamentosa sem conhecer o paciente.

Tabela 1 - Modelo do Autor – Avaliação Clínica para Prescrição de Exercício

Domínio Clínico	Aspectos a Investigar	Objetivo da Avaliação	Conduta e Orientações
Perfil Funcional Inicial	Nível atual de atividade; tempo de sedentarismo; histórico esportivo; objetivos do paciente	Definir ponto de partida seguro e expectativa realista	Iniciar com intensidade compatível com condicionamento atual
Sintomas em Repouso ou Esforço	Dor torácica; dispneia desproporcional; síncope; palpitações; dor articular limitante	Identificar sinais sugestivos de risco aumentado	Considerar avaliação adicional e acompanhamento especializado antes de progressão de intensidade
Histórico Cardiometabólico	Hipertensão, diabetes, dislipidemia, obesidade, doença cardiovascular conhecida, uso de medicações	Estratificar risco clínico global	Ajustar intensidade, progressão e necessidade de acompanhamento especializado
Sistema Musculoesquelético	Dor crônica, instabilidade articular, limitação de mobilidade, histórico de lesões	Prevenir agravamento e orientar escolha da modalidade	Selecionar exercícios específicos e progressão gradual
Exame Clínico Básico	Pressão arterial, frequência cardíaca, composição corporal, exame funcional direcionado	Identificar alterações relevantes para segurança	Individualizar carga e monitorar resposta inicial
Estratificação Clínica Simplificada	Assintomático; doença estável; sintomas ativos ou condição descompensada	Orientar nível inicial de intensidade	Exercício leve a moderado com progressão gradual; acompanhamento conforme necessidade
Reavaliação e Monitoramento	Resposta ao exercício; aparecimento de sintomas; adesão	Ajustar prescrição ao longo do tempo	Reavaliar periodicamente e adaptar conduta

Nota Conceitual e Declaração de Isenção

Instrumento de caráter educacional. Não substitui avaliação médica individualizada nem diretrizes institucionais. A decisão clínica final é de responsabilidade exclusiva do profissional assistente.

11. ADESÃO E COMPORTAMENTO: O ELO ENTRE PRESCRIÇÃO E RESULTADO

Como vimos até aqui, a efetividade clínica do exercício físico em doenças musculoesqueléticas está amplamente documentada na literatura científica. Entretanto, há um hiato recorrente entre eficácia experimental e efetividade no mundo real. Esse hiato raramente decorre de falhas fisiológicas do estímulo, mas, predominantemente, da incapacidade de sustentar o comportamento prescrito ao longo do tempo. Em termos objetivos, o exercício não falha por ausência de mecanismo biológico; falha por ausência de execução consistente.

Esse fenômeno dialoga diretamente com o paradoxo central desta obra: apesar de sabermos, com robustez científica, que a atividade física previne e trata doenças, os níveis globais de inatividade permanecem elevados. A compreensão desse paradoxo exige ir além da esfera educacional. O ser humano, sob perspectiva evolutiva, não foi selecionado para gastar energia de forma voluntária e repetitiva sem necessidade imediata de sobrevivência. Ao longo de milhares de anos, a economia energética representou vantagem adaptativa. Mover-se era imperativo quando havia ameaça ou escassez; poupar energia, quando possível, era estratégia de conservação biológica (Lieberman, 2020; Pontzer, 2021).

Nesse contexto, a prática deliberada de exercício, estruturada, repetitiva e orientada à adaptação futura, é um constructo cultural relativamente recente. Exigir que indivíduos modernos realizem gasto energético intencional em ambientes nos quais a sobrevivência não depende do movimento implica confrontar um sistema biológico programado para eficiência energética. Parte da variabilidade individual nessa inclinação pode ainda ser modulada por fatores genéticos relacionados ao sistema de recompensa, motivação e resposta ao esforço, o que contribui para diferenças na predisposição ao comportamento ativo. Contudo, “força de vontade” não é destino; ela apenas modula a facilidade inicial de engajamento.

Assim, o problema não reside na ausência de evidência científica nem na ignorância coletiva acerca dos benefícios do exercício. O desafio reside na incompatibilidade entre nossa herança biológica poupadora de energia e a necessidade contemporânea de movimento deliberado para manter a saúde musculoesquelética. A clínica que ignora essa tensão evolutiva tende a interpretar a não adesão como falha moral ou desinteresse. A clínica que a reconhece compreende que a prescrição de exercício exige, além de conhecimento fisiológico, arquitetura comportamental estratégica.

O exercício funciona. O que frequentemente não funciona é o ambiente comportamental que deveria sustentá-lo. Se o ser humano não foi moldado para queimar calorias espontaneamente, cabe à medicina estruturar o contexto que transforme movimento em hábito e hábito em intervenção terapêutica efetiva.

A literatura contemporânea demonstra que a adesão aos programas de exercício é variável, frequentemente subavaliada e metodologicamente heterogênea nos ensaios clínicos (Kenny et al. 2023). Mais ainda, níveis mais elevados de adesão associam-se a melhores desfechos em dor e função em populações com patologias musculoesqueléticas (Jones et al. 2025). Assim, a adesão não deve ser compreendida como variável periférica do tratamento, mas como componente intrínseco do próprio mecanismo terapêutico.

Define-se adesão como o grau de concordância entre o plano prescrito e o comportamento efetivamente executado, incluindo frequência, intensidade, tempo, progressão e qualidade técnica (Kenny et al. 2023; Jones et al. 2025) . Essa definição amplia a visão reducionista que equipara adesão à simples presença ou ausência em sessões supervisionadas. No contexto clínico, executar abaixo do limiar adaptativo é, funcionalmente, equivalente à não execução.

Para compreender as determinantes do comportamento relacionado ao exercício, modelos contemporâneos de mudança comportamental oferecem arcabouço teórico consistente. O modelo COM-B propõe que um comportamento ocorre quando há Capacidade, Oportunidade e Motivação suficientes (Michie; Stralen; West, 2011; Rios et al. 2016). Capacidade envolve tanto componentes físicos (dor, limitação funcional, fadiga) quanto psicológicos (compreensão do plano, autoeficácia). Oportunidade refere-se a fatores ambientais e sociais que viabilizam ou impedem a prática. Motivação abrange processos reflexivos (metas, crenças, expectativas) e automáticos (hábitos, emoções, estresse). Essa estrutura permite deslocar o foco da culpabilização do paciente para a identificação objetiva de barreiras modificáveis e estão descritas na figura 1.

Figura 1 - Modelo COM-B aplicado à adesão ao exercício terapêutico



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Descrição da imagem: Representação conceitual em que o comportamento (adesão ao exercício) emerge da interação entre três domínios interdependentes: Capacidade, Oportunidade e Motivação. O modelo orienta a identificação de barreiras modificáveis e a estruturação de intervenções para promover a prática regular de exercícios em condições musculoesqueléticas.

Entre as barreiras mais prevalentes nas doenças musculoesqueléticas destacam-se: dor associada a medo de movimento, planos excessivamente complexos, ausência de rotina estruturada, baixa autoeficácia e expectativas irreais quanto ao tempo de resposta terapêutica. Tais barreiras não são meramente psicológicas; são variáveis clínicas que interferem na dose efetiva do exercício. Intervenções que consideram suporte à autonomia, competência e vínculo terapêutico, princípios alinhados à Teoria da Autodeterminação, demonstram efeitos positivos sobre a motivação sustentada para atividade física (Ntoumanis et al. 2021; 2025). Em termos

práticos, quanto maior a percepção de escolha, progressão mensurável e acompanhamento não punitivo, maior a probabilidade de continuidade.

Estratégias com melhor aplicabilidade clínica incluem: planejamento comportamental explícito (metas operacionais), automonitoramento simples, feedback estruturado e suporte social ou supervisão periódica (Heisig et al. 2024; Rodrigues et al., 2026). Programas digitais podem funcionar como ferramentas auxiliares quando estruturam o comportamento por meio de lembretes, registro e progressão, sem substituir o vínculo clínico (Zhang, 2022).

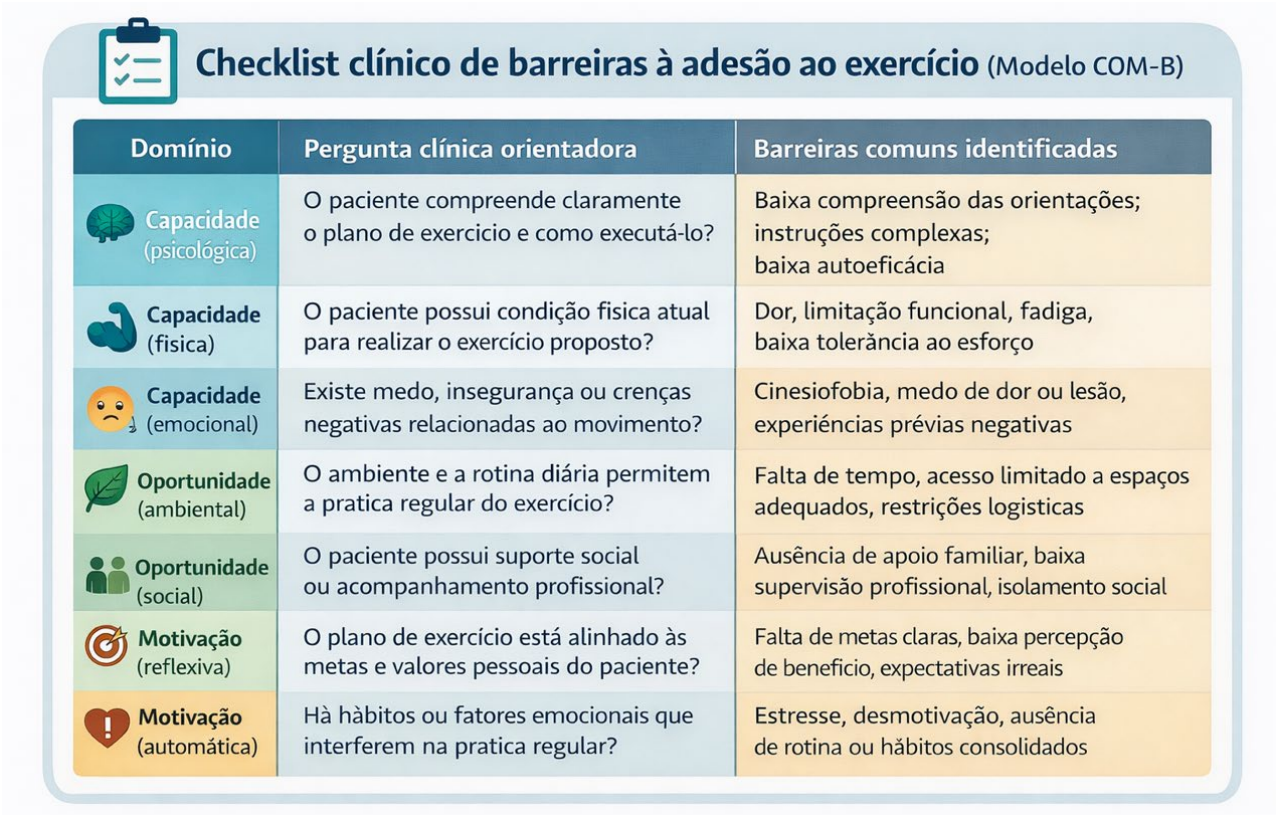
Do ponto de vista operacional, recomenda-se estruturar a prescrição em dois níveis complementares. O primeiro corresponde ao Plano Mínimo Viável (PMV), cujo objetivo é preservar a continuidade do hábito, mesmo em semanas adversas. Esse plano inicial inclui um início gradual e na maioria das vezes não contempla o tempo e a intensidade descritas nas diretrizes internacionais, ou seja, apenas começar e preservar o hábito. O segundo corresponde ao Plano Terapêutico Completo, voltado à progressão adaptativa plena. Essa lógica reduz a mentalidade dicotômica “tudo ou nada” e preserva a consistência longitudinal, elemento central na modulação estrutural de tecidos musculoesqueléticos.

A incorporação sistemática de estratégias de adesão transforma a prescrição de exercício de uma recomendação genérica em um ato clínico estruturado. Em doenças musculoesqueléticas, nas quais a adaptação tecidual depende de estímulos repetidos e progressivos, a adesão deixa de ser um detalhe comportamental e passa a ser determinante biológico indireto do desfecho terapêutico.

Se a dose incorreta de um fármaco compromete seu efeito, a dose não executada do exercício anula sua fisiologia. Portanto, na prática clínica musculoesquelética, não basta prescrever corretamente; é imperativo desenhar o comportamento que sustenta a prescrição. A efetividade do exercício começa antes da contração muscular: começa na arquitetura do hábito.

A figura 2 apresenta um checklist clínico baseado no modelo COM-B, utilizado para identificar barreiras potenciais à adesão ao exercício terapêutico durante a avaliação clínica. Esse instrumento auxilia o profissional a reconhecer fatores relacionados à capacidade, oportunidade e motivação, permitindo direcionar intervenções mais individualizadas e eficazes para promover a prática regular de atividade física.

Figura 2 – Checklist clínico de barreiras à adesão ao exercício (Modelo COM-B)



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Genética, predisposição e comportamento de atividade física

A adesão ao exercício não é determinada exclusivamente por fatores ambientais ou volitivos. Evidências oriundas de estudos com gêmeos e coortes populacionais indicam que o nível habitual de atividade física apresenta herdabilidade moderada, estimada entre 20% e 60%, dependendo do método de mensuração e da faixa etária estudada (Stubbe; Boomsma; Geus, 2005; Geus et al. 2014; Klimentidis et al. 2018). Esses achados sugerem que parte da variabilidade interindividual na disposição para atividade física pode ser explicada por fatores genéticos.

Estudos de associação genética identificaram polimorfismos em genes relacionados à dopamina, regulação do sistema de recompensa, metabolismo energético e função muscular como possíveis moduladores do comportamento ativo. Variantes no gene do receptor dopaminérgico D2 (DRD2) e em componentes do sistema dopaminérgico têm sido associadas à motivação para esforço e à sensibilidade ao reforço (Knab; Lightfoot, 2010). Da mesma forma, polimorfismos no gene ACTN3, classicamente relacionado à performance muscular, podem influenciar não apenas capacidade física, mas também a experiência subjetiva do exercício (North et al. 1999).

É fundamental, entretanto, evitar interpretações deterministas. A expressão fenotípica de predisposições genéticas depende fortemente de contexto ambiental, cultura, experiências prévias e reforço comportamental. Indivíduos com menor predisposição genética para comportamento ativo não estão condenados ao sedentarismo; apenas podem necessitar de estratégias ambientais e motivacionais mais estruturadas.

Sob perspectiva clínica, a genética não deve ser utilizada como justificativa para inação, mas como ferramenta de compreensão da heterogeneidade comportamental. O reconhecimento de que a motivação para atividade física tem componente biológico contribui para reduzir a culpabilização do paciente e reforça a necessidade de intervenções personalizadas. Em termos práticos, pacientes que relatam “não gostar” de exercício ou que apresentam histórico consistente de baixa adesão podem demandar maior ênfase em estrutura ambiental, reforço externo inicial e progressão gradual até que mecanismos de recompensa intrínseca sejam estabelecidos.

Assim, a adesão ao exercício emerge como fenômeno biopsicossocial complexo, no qual biologia, ambiente e decisão interagem dinamicamente. A genética pode modular a inclinação inicial; contudo, é a arquitetura comportamental construída na prática clínica que determina a trajetória longitudinal. Predisposição não substitui prescrição. E, sobretudo, não substitui consistência.

O desafio contemporâneo não reside apenas em demonstrar a eficácia fisiológica do exercício, amplamente descrita nesta obra, mas em reconhecer que estamos promovendo um comportamento que não ocupa posição biologicamente prioritária em ambientes de abundância energética e conforto tecnológico. A partir dessa compreensão, abrem-se perspectivas para modelos de prescrição mais personalizados, capazes de alinhar predisposição biológica, contexto ambiental e objetivos clínicos.

> **Na prática clínica, isso significa que prescrever exercício não é apenas indicar movimento, mas estruturar estratégias capazes de superar barreiras biológicas, comportamentais e ambientais que naturalmente favorecem a inatividade.**

Exercício físico como modulador neurobiológico do bem-estar e da dor

A distância entre prescrição e resultado clínico raramente se explica por falha fisiológica do exercício. Em geral, ela se estabelece no território da adesão: o paciente sabe que “faz bem”, mas não sustenta o comportamento ao longo do tempo. Essa lacuna não é

apenas educacional; é, em grande parte, neurobiológica e comportamental. A adesão é governada por circuitos centrais que modulam motivação, recompensa, expectativa, tolerância ao desconforto e significado subjetivo do progresso. Assim, compreender como o exercício “conversa” com o cérebro é parte do tratamento — não um adorno teórico (Gorrell; Shott; Frank, 2022; Ruiz-Tejada et al. 2022).

Do ponto de vista motivacional, o exercício influencia sistemas dopaminérgicos relacionados à recompensa, com participação de vias mesolímbicas e de áreas corticais envolvidas em valoração e tomada de decisão. Modelos contemporâneos propõem relação recíproca: o exercício pode fortalecer respostas de recompensa, e circuitos de recompensa mais responsivos podem facilitar engajamento e manutenção do comportamento ativo (Gorrell; Shott; Frank, 2022). Em termos práticos, isso ajuda a explicar por que intervenções bem desenhadas não dependem apenas de “força de vontade”, mas de criar experiências iniciais positivas, progressão tolerável e percepção rápida de ganho funcional, elementos que alimentam o reforço comportamental.

A dimensão do bem-estar não se limita à dopamina. Uma parte relevante do “efeito subjetivo” do exercício é mediada por sistemas que regulam humor, ansiedade e estresse, incluindo neurotransmissores monoaminérgicos e neuromoduladores associados a homeostase emocional (Ruiz-Tejada et al. 2022). Nesse cenário, o exercício atua como um estímulo biológico com potencial de reduzir a carga afetiva negativa que frequentemente acompanha condições crônicas: medo do movimento, frustração por incapacidade, algofobia (medo irracional de sentir dor) e antecipação de piora. Quando o exercício melhora o estado afetivo e a sensação de controle, ele se torna mais “autossustentável”, favorecendo continuidade.

A modulação da dor, por sua vez, é um dos mecanismos mais clinicamente úteis para sustentar adesão. O fenômeno de hipoalgesia induzida pelo exercício envolve integração de mecanismos periféricos e, principalmente, centrais, com recrutamento de circuitos de modulação descendente e reorganização de respostas de ameaça associadas à dor (Tanaka et al. 2023). Revisões recentes destacam que a resposta hipoalgésica depende de fatores como intensidade, contexto, estado de sensibilização e experiência prévia do indivíduo, o que justifica a necessidade de prescrição progressiva, evitando o erro clínico comum de iniciar com doses que geram exacerbação e reforçam evitação (Tanaka et al. 2023).

Uma revisão sistemática com meta-análise demonstrou aumento consistente de endocanabinoides circulantes após exercício agudo, com heterogeneidade relacionada a

intensidade, aptidão e “timing” de coleta (Desai, 2022). Em paralelo, outras revisões narrativas reforçam que a ativação endocanabinoide se associa a efeitos ansiolíticos, moduladores de humor e antinociceptivos, isto é, ela oferece uma ponte biológica plausível entre exercício, “sensação de bem-estar” e tolerância ao desconforto (Matei et al. 1989). Do ponto de vista clínico-comportamental, isso é decisivo: quando o paciente passa a perceber o exercício como gerador de alívio e melhora global (e não como ameaça), a probabilidade de manutenção aumenta.

Além da analgesia e do reforço, há um eixo de plasticidade neural com implicações diretas na aprendizagem motora, memória e reestruturação de crenças. Evidências sintetizadas em ensaios clínicos randomizados indicam que uma única sessão de exercício de endurance já é capaz de elevar níveis periféricos de marcadores associados a neuroplasticidade, com efeitos observados em diferentes faixas etárias (Liang et al. 2023). Isso sustenta a ideia de que o exercício não apenas “fortalece tecidos”, mas também melhora a capacidade do sistema nervoso de adaptar-se. Trata-se de aspecto crucial quando o objetivo é reaprender padrões motores, reduzir hipervigilância e restabelecer confiança no movimento.

Por fim, neste capítulo, é indispensável conectar neurobiologia à psicologia da dor. Em dor lombar crônica e outras síndromes dolorosas persistentes, crenças e interpretações cognitivas (catastrofização, algofobia, baixa autoestima) apresentam associação robusta com incapacidade. Meta-análises mostram relação consistente entre crenças relacionadas à dor e desfechos funcionais, reforçando que o comportamento de evitação pode se tornar um mecanismo de manutenção da incapacidade (Alamam et al. 2021). Dessa forma, o exercício bem prescrito atua simultaneamente como intervenção mecânica e como intervenção cognitivo-comportamental implícita: ele expõe o indivíduo ao movimento com segurança, cria experiências de domínio e recondiciona o sistema nervoso a interpretar carga e esforço como sinais de competência e não de ameaça.

Figura 3 - Circuito neurobiológico da adesão: cérebro – exercício - dor



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Em síntese, prescrever exercício sem considerar seus efeitos sobre recompensa, dor e bem-estar é reduzir uma intervenção sistêmica a um gesto mecânico. A adesão emerge quando a prescrição produz ganho funcional mensurável e recompensa subjetiva suficiente para sustentar repetição. É nesse ponto que a prescrição deixa de ser “orientação” e passa a ser estratégia terapêutica completa: o movimento reorganiza tecidos, mas é o cérebro, via bem-estar e sentido, que decide continuar.

12. ESTRATÉGIAS AMBIENTAIS E MOTIVACIONAIS PRÁTICAS PARA ENGAJAMENTO E MANUTENÇÃO DO EXERCÍCIO FÍSICO

A eficácia clínica do exercício físico nas doenças musculoesqueléticas está amplamente estabelecida. Entretanto, a manutenção a longo prazo permanece um dos principais desafios terapêuticos. A literatura demonstra que a maioria dos indivíduos inicia programas de exercício com boa intenção, mas apresenta queda progressiva da adesão após 3 a 6 meses, especialmente em populações com dor crônica ou limitação funcional (Picorelli et al. 2014; Pisters et al. 2007).

No contexto das doenças musculoesqueléticas isoladas ou no Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento, a adesão não é apenas questão comportamental, mas interação entre fatores biológicos, ambientais e psicológicos como já descrito nesta obra. Dor, fadiga, medo de movimento (kinesiofobia), baixa autoestima e ambientes pouco facilitadores contribuem para descontinuidade do programa.

Evidências clássicas da psicologia motivacional, como a Teoria da Autodeterminação (Self-Determination Theory) de Deci e Ryan, demonstram que a manutenção do comportamento está fortemente associada à motivação intrínseca, autonomia percebida e senso de competência (Deci et al. 2008). Quando o exercício é percebido como obrigação externa, a probabilidade de abandono aumenta significativamente.

Com base nessa integração de evidências, podem ser estruturadas estratégias em três eixos complementares:

1. **Estratégias Ambientais**

A Organização Mundial da Saúde reconhece que ambientes favoráveis são determinantes para atividade física sustentada (WHO, 2020). Para pacientes com doenças musculoesqueléticas, o ambiente deve reduzir barreiras mecânicas e psicológicas.

a) Redução de Fricção Ambiental

- Proximidade do local de exercício
- Horários previsíveis
- Estrutura segura (pisos estáveis, equipamentos adaptados)

Ambientes que exigem deslocamentos complexos ou logística extensa reduzem adesão, especialmente em idosos.

b) Contexto Social Estruturado

Estudos demonstram que programas supervisionados ou em pequenos grupos apresentam maior taxa de manutenção quando comparados a orientações domiciliares isoladas (Pisters et al. 2007). O suporte social atua como reforço comportamental.

c) Monitoramento Visível de Progresso

O acompanhamento objetivo de evolução funcional (ex.: melhora na força, marcha ou equilíbrio) aumenta percepção de competência e reforça continuidade (McAuley, 2006).

2. Estratégias Motivacionais Baseadas em Evidência

a) Fortalecimento da Autoeficácia

A teoria social cognitiva de Bandura (1977) demonstra que crença na própria capacidade prediz comportamento sustentado. Aplicação prática:

- Metas graduais e alcançáveis
- Feedback positivo estruturado
- Registro de conquistas funcionais

b) Reestruturação Cognitiva da Dor

Em dor lombar e osteoartrose, a catastrofização está associada à menor adesão ao exercício (Vlaeyen; Linton, 2000). Intervenções educativas baseadas em neurociência da dor e exposição progressiva ao movimento reduzem medo e aumentam engajamento.

c) Foco em Função, não em Sintoma

Estudos mostram que metas funcionais (subir escadas, caminhar sem apoio) promovem maior aderência do que metas abstratas (reduzir dor isoladamente) (Bean; Vora; Frontera, 2004).

3. Estratégias Estruturais de Programa

a) Progressão Individualizada

Programas que respeitam tolerância inicial e oferecem progressão previsível apresentam maior manutenção a longo prazo (Pisters et al. 2007).

b) Variedade Planejada

Monotonia reduz engajamento. Alternância estruturada entre modalidades (força, equilíbrio, aeróbico leve) mantém estímulo psicológico e fisiológico.

Além da alternância entre modalidades, a literatura contemporânea em treinamento resistido e periodização destaca a importância da **reestruturação periódica das séries e dos padrões de execução dos exercícios.** De forma consistente, recomenda-se que modificações relevantes na estrutura do treino, incluindo ordem dos exercícios, volume, intensidade, cadência, tempo sob tensão e tipo de contração, sejam realizadas em intervalos aproximados de **4 a 8 semanas**, período associado à estabilização inicial das adaptações neuromusculares e ao risco progressivo de platô adaptativo quando o estímulo é mantido inalterado (Grgic et al., 2022; Schoenfeld et al., 2017; Harries SK et al., 2015).

Modelos de periodização, amplamente discutidos em revisões sistemáticas com meta-análises, sugerem que a manipulação dessas variáveis ao longo de blocos temporais (microciclos e mesociclos) não apenas potencializa ganhos de força e desempenho, mas também contribui para maior engajamento, ao introduzir novidade e desafio progressivo ao indivíduo (Schoenfeld et al., 2017; Harries et al., 2015). Adicionalmente, essas revisões indicam que a variabilidade do estímulo pode favorecer o recrutamento diferencial de unidades motoras e ampliar a resposta adaptativa, especialmente em populações clínicas e indivíduos não atletas (Grgic et al., 2022).

Sob o ponto de vista comportamental, a reestruturação programada do treinamento atua como um mecanismo de renovação motivacional, reduzindo a percepção de monotonia e reforçando a sensação de progressão.

c) Integração à Rotina Diária

O comportamento é mais sustentável quando incorporado a rotinas já existentes, reduzindo dependência de motivação momentânea.

Síntese Aplicada ao Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento

O **Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME)** constitui uma formulação conceitual proposta nesta obra, ainda em desenvolvimento, com o objetivo de aprofundar a compreensão dos **sinais de risco, da sobreposição de doenças musculoesqueléticas e de suas implicações clínicas e funcionais**. Parte-se do pressuposto de que, no envelhecimento, essas condições raramente se apresentam de forma isolada; ao contrário, tendem a ocorrer de modo concomitante e interdependente, configurando um conjunto sindrômico de elevada complexidade. Esse entendimento impõe desafios relevantes, especialmente no que se refere **à prescrição do exercício físico de**

forma eficaz, segura e duradoura. Nessa perspectiva, futuras investigações devem considerar não apenas os possíveis fatores de risco para o desenvolvimento do CME, mas também a resposta às intervenções terapêuticas baseadas em atividade física, buscando identificar estratégias capazes de promover melhor funcionalidade, maior adesão e resultados clínicos mais consistentes.

Figura 1 – Síntese aplicada ao CME e sua proposta de adesão sustentada

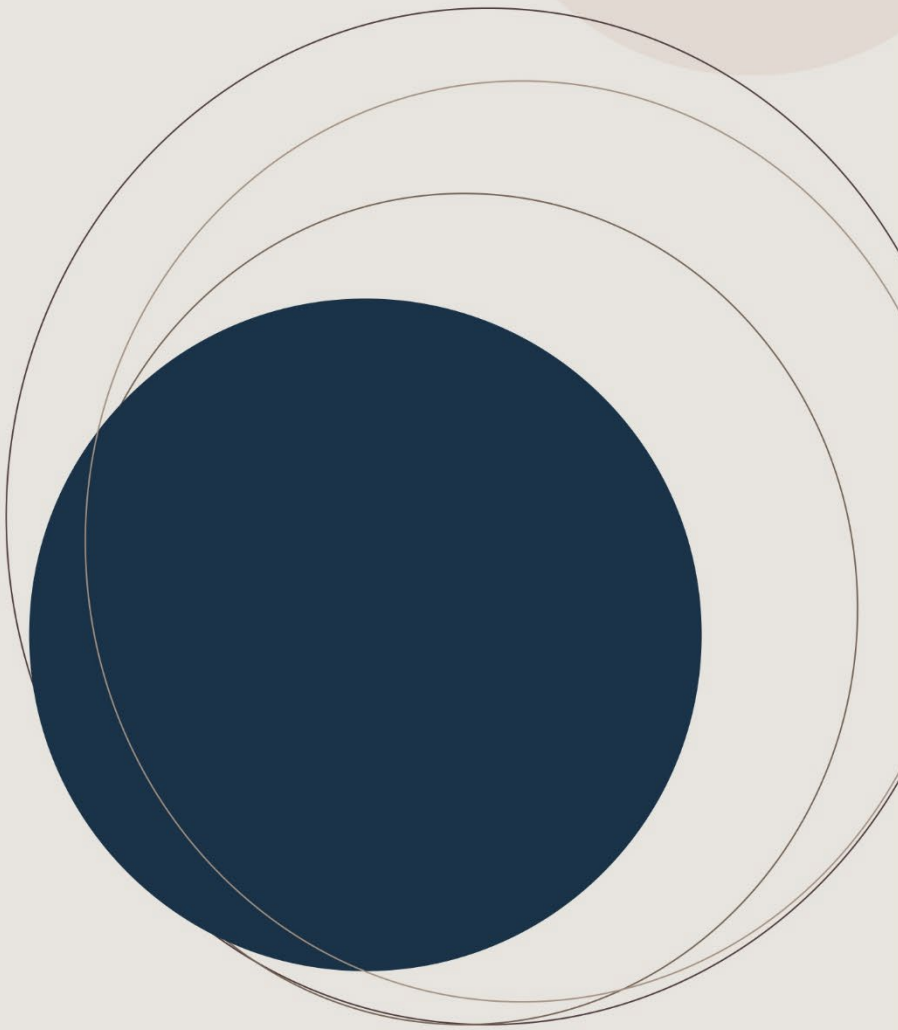


Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

Portanto, a manutenção do exercício físico não é resultado de “força de vontade” isolada, mas de arquitetura comportamental deliberadamente construída. No contexto do envelhecimento musculoesquelético, promover adesão é tão importante quanto prescrever corretamente.

PARTE IV

SÍNTESE INTEGRATIVA



13. O EXERCÍCIO FÍSICO COMO INTERVENÇÃO TERAPÊUTICA ESTRUTURADA NA PRÁTICA CLÍNICA CONTEMPORÂNEA

Como ressaltamos e detalhamos ao longo desta obra, a literatura científica contemporânea é inequívoca ao reconhecer o exercício físico como uma intervenção fundamental na prevenção e no tratamento das doenças crônicas. As recomendações globais da Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelecem parâmetros claros quanto ao volume semanal de atividade aeróbica, ao treinamento de força e ao desenvolvimento do equilíbrio, além da redução do comportamento sedentário. Essas diretrizes refletem um sólido consenso epidemiológico e constituem referência essencial para a formulação de políticas públicas de saúde, como discutido nos capítulos anteriores. Entretanto, ao transpor tais recomendações para o cenário clínico das doenças musculoesqueléticas, especialmente no contexto do envelhecimento, emerge um desafio prático e conceitual. O paciente que convive isoladamente ou simultaneamente com osteoartrose sintomática, sarcopenia, osteoporose ou dor lombar crônica não apresenta a mesma reserva adaptativa que fundamenta as recomendações populacionais. Dor, instabilidade segmentar, fragilidade óssea, medo de movimento e fadiga precoce impõem limitações que ultrapassam a mera adesão comportamental.

Assim, instala-se uma tensão entre diretrizes gerais e complexidade clínica. Embora as metas quantitativas sejam adequadas sob perspectiva de saúde pública, sua aplicação direta em indivíduos com declínio locomotor integrado pode ser biologicamente desproporcional ou funcionalmente inviável. A dificuldade não reside apenas na motivação do paciente, mas na reorganização estrutural e biomecânica própria do envelhecimento musculoesquelético.

Essa constatação revela uma lacuna conceitual: as diretrizes globais respondem adequadamente à prevenção primária, mas oferecem menor especificidade para indivíduos já inseridos em um processo de deterioração locomotora interdependente. É nesse ponto que o conceito do **Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento** assume relevância clínica.

Ao reconhecer que osteoartrose, osteoporose, sarcopenia e dor lombar frequentemente representam manifestações convergentes de um mesmo processo biológico — caracterizado por redução da reserva adaptativa, inflamação crônica de baixo grau e desorganização biomecânica progressiva — torna-se necessário ajustar o paradigma prescritivo.

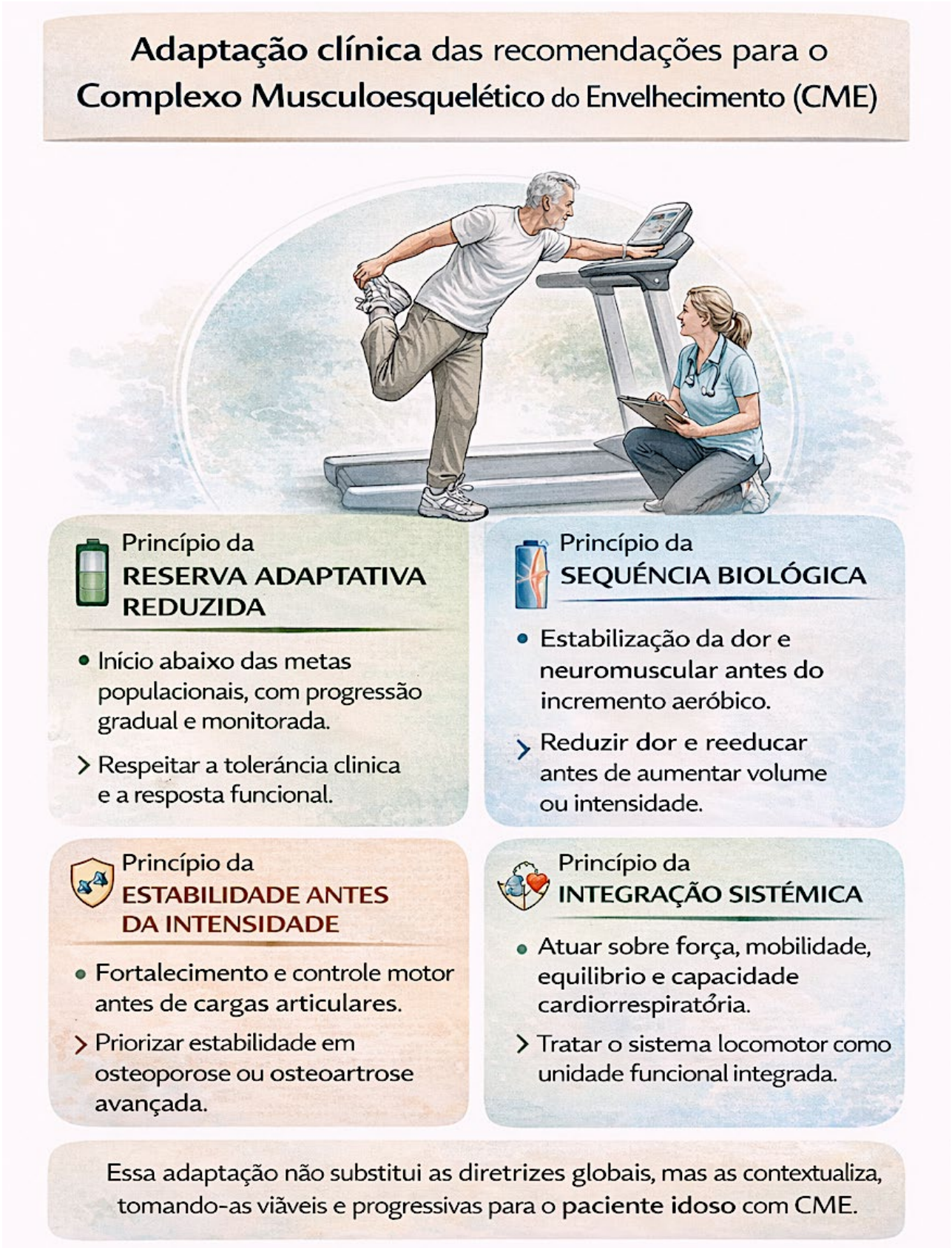
Propõe-se, portanto, uma **adaptação clínica das recomendações gerais**, direcionada especificamente ao indivíduo com Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento.

Essa adaptação fundamenta-se em quatro princípios estruturantes:

1. **Princípio da Reserva Adaptativa Reduzida:**
   O início do treinamento deve ocorrer abaixo das metas populacionais, com progressão gradual e monitorada, respeitando tolerância clínica e resposta funcional.
2. **Princípio da Sequência Biológica:**
   Prioriza-se estabilização da dor e reeducação neuromuscular antes do incremento de volume aeróbico ou intensidade metabólica elevada.
3. **Princípio da Estabilidade Antes da Intensidade:**
   O fortalecimento segmentar e o controle motor precedem cargas articulares ou impactos significativos, especialmente na presença de osteoporose ou osteoartrose avançada.
4. **Princípio da Integração Sistêmica:**
   O programa deve atuar simultaneamente sobre força, mobilidade, equilíbrio e capacidade cardiorrespiratória, reconhecendo o sistema locomotor como unidade funcional integrada.

Essa proposta não substitui as diretrizes globais, mas as contextualiza. O objetivo não é reduzir o nível de recomendação, e sim torná-lo viável, progressivo e biologicamente coerente para o paciente que já apresenta declínio locomotor integrado. Como detalhado na figura abaixo:

Figura 1 – Adaptação clínica das recomendações para o CME



Fonte: Elaboração autoral, fundamentada na literatura científica citada, com apoio de inteligência artificial na composição visual.

O Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento, proposto neste livro, oferece uma lente clínica capaz de harmonizar ciência populacional e prática individualizada. Ele desloca o foco do cumprimento rígido de metas numéricas para a restauração progressiva da funcionalidade.

Ao profissional da saúde cabe reconhecer que a prescrição de exercício, nesses casos, não é mera orientação comportamental, mas intervenção estruturada que exige avaliação, sequência, progressão e monitoramento contínuo.

Se o envelhecimento reorganiza o sistema musculoesquelético em direção ao declínio integrado, a prática clínica deve reorganizá-lo em direção à funcionalidade integrada.

A prescrição do movimento, quando guiada pela ciência e pela compreensão sistêmica, deixa de ser recomendação genérica e torna-se instrumento de reestruturação biológica do envelhecimento.

14. MENSAGEM FINAL AO LEITOR

Desde as primeiras páginas desta obra foi apresentado um paradoxo que atravessa a medicina contemporânea. Todos sabemos que a prática regular de atividade física é fundamental para a saúde. Essa afirmação é amplamente aceita por profissionais de saúde, pacientes e pela sociedade. No entanto, apesar desse consenso, ainda sabemos relativamente pouco sobre como prescrever exercício de forma estruturada, individualizada e biologicamente adequada.

Na prática clínica, o exercício frequentemente é recomendado de maneira genérica: “faça atividade física”, “procure caminhar”, “fortaleça a musculatura”. Diferentemente do que ocorre com os medicamentos, raramente discutimos com o mesmo rigor científico a dose adequada, a intensidade do estímulo, a progressão das cargas, os possíveis efeitos adversos e a probabilidade de adesão do paciente à intervenção proposta.

Por essa razão, ao longo deste livro foi sugerido que o exercício passe a ser compreendido também sob uma lógica terapêutica semelhante à utilizada para os medicamentos. Não se trata de reduzir o movimento humano a um fármaco, mas de reconhecer que ele exige o mesmo grau de responsabilidade clínica. Assim como qualquer intervenção terapêutica, o exercício tem indicações corretas, dose, frequência, progressão e possíveis efeitos colaterais. Prescrevê-lo adequadamente significa compreender esses elementos e aplicá-los com precisão e segurança.

Outro ponto importante é reconhecer que o ser humano, do ponto de vista evolutivo, não foi moldado para gastar energia de forma deliberada. Durante grande parte da história da espécie, o movimento esteve associado à sobrevivência. A economia energética, portanto, representava muitas vezes uma vantagem adaptativa.

Entretanto, aceitar essa tendência biológica de forma absoluta seria ignorar uma das maiores conquistas da própria evolução humana: a capacidade de compreender cientificamente o funcionamento do corpo e intervir conscientemente sobre ele.

Hoje dispomos de conhecimento robusto em fisiologia do exercício, biomecânica, neurociência, epidemiologia e medicina do esporte que permite compreender com maior precisão os efeitos do movimento sobre o organismo. Além disso, a ciência contemporânea tem desenvolvido estratégias cada vez mais eficazes para promover engajamento, adesão e manutenção de hábitos ativos ao longo da vida, seja por meio de programas estruturados, educação em saúde, abordagens comportamentais ou integração com novas tecnologias.

Ao longo desta obra, procuramos discutir as doenças musculoesqueléticas, especialmente osteoartrite (artrose), osteoporose, sarcopenia e dor lombar, não apenas como entidades clínicas isoladas, mas como manifestações interdependentes de um processo mais amplo de redução progressiva da reserva funcional do sistema locomotor ao longo do envelhecimento. Nesse contexto, foi apresentado ao leitor o conceito do Complexo Musculoesquelético do Envelhecimento (CME), uma proposta teórica ainda em desenvolvimento que busca compreender essas condições de forma integrada, reconhecendo que ossos, músculos, articulações e sistemas de controle neuromotor compartilham uma dinâmica comum de declínio funcional.

Essa perspectiva amplia o olhar clínico tradicional. Em vez de tratar cada condição de forma fragmentada, passamos a reconhecer que essas alterações frequentemente coexistem e se influenciam ao longo do tempo. Compreender essa integração permite enxergar o movimento não apenas como ferramenta de reabilitação direcionada a um diagnóstico específico, mas como uma estratégia terapêutica central para a preservação da autonomia, da mobilidade e da capacidade funcional ao longo do envelhecimento.

Mais do que apresentar protocolos rígidos, esta obra buscou oferecer princípios fisiológicos e clínicos capazes de orientar decisões terapêuticas fundamentadas, permitindo que o profissional da saúde compreenda o sistema locomotor como uma unidade funcional integrada e oriente programas de exercício seguros, progressivos e individualizados.

Em última análise, preservar o sistema musculoesquelético significa preservar mobilidade, independência e participação social, elementos que definem, em grande medida, a qualidade do envelhecimento humano.

Se esta obra contribuir para que o exercício físico seja cada vez mais compreendido, prescrito e utilizado com rigor científico e responsabilidade clínica, então terá cumprido plenamente seu propósito. Isso porque, no final, cuidar do sistema locomotor não é apenas tratar estruturas, **é preservar movimento, função e dignidade ao longo da vida.**

Um abraço, **Alexandre Paiva**



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMAM, D. M. et al. Low back pain-related disability is associated with pain-related beliefs across divergent non-English-speaking populations: systematic review and meta-analysis. Pain Medicine, v. 22, n. 5, p. 1080–1098, 2021. DOI: 10.1093/pm/pnaa430. Acesso em: 18 abr. 2026.

ALENTORN-GELI et al. The Association of Recreational and Competitive Running With Hip and Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis. J Orthop Sports Phys Ther. 47(6), p. 373–90, 2017. doi:10.2519/jospt.2017.7137. Disponível em: https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2017.7137. Acesso em: 13 maio 2026.

ALEXANDER, J. L. N. et al. Infographic. Running Myth: recreational running causes knee osteoarthritis. Br J Sports Med. [S. l], 56(6), p. :357-358, mar. 2022. doi: 10.1136/bjsports-2021-104342. Epub 2021 Nov 24. PMID: 34819274. Acesso em: 18 abr. 2026.

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 11. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2021.

AMERICAN HEART ASSOCIATION. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the AHA. Circulation. 128, 8, p. 873–934, 2013. doi:10.1161/CIR.0b013e31829b5b44. Disponível em: https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/cir.0b013e31829b5b44. Acesso em: 14 maio 2026.

AREM, H. et al. Leisure time physical activity and mortality: a detailed pooled analysis of the dose–response relationship. JAMA Internal Medicine, v. 175, n. 6, p. 959–967, 2015. doi: 10.1001/jamainternmed.2015.0533. Acesso em: 18 abr. 2026

ARTHRITIS FOUNDATION. Arthritis foundation.2014. Disponível em: http://www.arthritis.org. Acesso em: 18 abr. 2026.

BAMMAN, M. M. et al. Exercise medicine for osteoarthritis: research strategies to maximize effectiveness. Arthritis Care & Research (Hoboken), v. 68, n. 3, p. 288–291, 2016. DOI: 10.1002/acr.22680. Acesso em: 18 abr. 2026.

BANDURA, A. Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. Psychological Review, v. 84, n. 2, p. 191–215, 1977.

BANNURU, R. R. et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee, hip, and polyarticular osteoarthritis. Osteoarthritis and Cartilage, v. 27, p. 1578–1589, 2019. Disponível em: https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(19)31116-1/fulltext. Acesso em: 20 abr. 2026.

BARBOSA-SILVA, T. G. et al.; GRUPO DE ESTUDOS EM COMPOSIÇÃO CORPORAL E NUTRIÇÃO (COCONUT). Enhancing SARC-F: improving sarcopenia screening in the clinical practice. Journal of the American Medical Directors Association, v. 17, n. 12, p. 1136–1141, 2016. DOI: 10.1016/j.jamda.2016.08.004. Acesso em: 18 abr. 2026.

BARON, R.; KNEISSEL, M. WNT signaling in bone homeostasis and disease: from human mutations to treatments. Nature Medicine, v. 19, n. 2, p. 179–192, 2013. DOI: 10.1038/nm.3074. Acesso em: 18 abr. 2026.

BARRY, V. W. et al. Fitness vs fatness on mortality risk. Progress in Cardiovascular Diseases, 56(4), p. 382-90, Jan-Feb;2014. doi: 10.1016/j.pcad.2013.09.002. Epub 2013 Oct 11. Acesso em: 18 abr. 2026.

BATTIÉ, M. C. et al. Heritability of low back pain and the role of disc degeneration. Spine, v. 32, n. 12, p. 1401–1407, 2007. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318060bfbf. Acesso em: 18 abr. 2026.

BEAN, J. F.; VORA, A.; FRONTERA, W. R. Benefits of exercise for community-dwelling older adults. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 85, n. 7, supl. 3, p. S31–S42, 2004. Acesso em: 18 abr. 2026.

BEEN, E.; GÓMEZ-OLIVENCIA, A.; KRAMER, P. A. Lumbar lordosis of extinct hominins and the evolution of bipedalism. Journal of Anatomy, v. 216, n. 4, p. 429–440, 2010. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2010.01209.x. Acesso em: 18 abr. 2026.

BERCZIK et al. Exercise addiction: symptoms, diagnosis, epidemiology, and etiology. Subst Use Misuse. 2012;47(4):403–17. doi:10.3109/10826084.2011.639120.

BERENBAUM, F. Osteoarthritis as an inflammatory disease. Osteoarthritis and Cartilage, v. 21, n. 1, p. 16–21, 2013. Acesso em: 18 abr. 2026.

BERGSTRÖM, A. et al. Origins of modern human ancestry. Nature, v. 590, p. 229–237, 2021. Acesso em: 18 abr. 2026.

BORG, G. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign: Human Kinetics, 1998. Acesso em: 18 abr. 2026.

BØRSHEIM, E.; BAHR, R. Effect of exercise intensity and duration on post-exercise oxygen consumption. Sports Medicine, 33(14):1037-60, 2003. doi: 10.2165/00007256-200333140-00002.2003. Acesso em: 18 abr. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Vigitel Brasil 2023: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas. Brasília, 2024.

BRAY, G. A.; KIM, K. K.; WILDING, J. P. H. Obesity: a chronic relapsing progressive disease process. Obesity Reviews, 18(7), p. 715-723, 2017. doi: 10.1111/obr.125512017. Acesso em: 18 abr. 2026.

BRINJIKJI, W. et al. Systematic literature review of imaging features of spinal degeneration in asymptomatic populations. AJNR American Journal of Neuroradiology, v. 36, n. 4, p. 811–816, 2015. DOI: 10.3174/ajnr.A4173. Acesso em: 18 abr. 2026.

BROWN, J. C.; SCHMITZ, K. H. The dose-response effects of aerobic exercise on musculoskeletal injury: a post hoc analysis of a randomized trial. Journal of Clinical Medicine, v. 6, n. 8, p. 76, 2017. DOI: 10.3390/jcm6080076. Acesso em: 18 abr. 2026.

BRUUSGAARD, J. C. et al. Myonuclei acquired by overload exercise precede hypertrophy and are not lost on detraining. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 107, n. 34, p. 15111–15116, 2010. Acesso em: 18 abr. 2026.

BULL, F. C. et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. British Journal of Sports Medicine, v. 54, n. 24, p. 1451–1462, 2020. DOI: 10.1136/bjsports-2020-102955. Acesso em: 18 abr. 2026.

CAVANAGH, P. R; LAFORTUNE, M. A. Ground reaction forces in distance running. J Biomech. 13(5), p. 397–406, 1980. doi:10.1016/0021-9290(80)90033-0. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0021929080900330?via%3Dihub. Acesso em: 13 maio 2026.

CESARI, M. et al. Added value of physical performance measures in predicting adverse health-related events: results from the Health, Aging and Body Composition Study. Journal of the American Geriatrics Society, v. 57, p. 251–259, 2009. DOI: 10.1111/j.1532-5415.2008.02126.x. Acesso em: 18 abr. 2026.

CHEN, H.; ZHAO, L.; ZHANG, Y. Clinical effect and mechanism of aerobic exercise for knee osteoarthritis: a review of the last decade. Frontiers in Physiology, v. 16, p. 1708750, 2025. DOI: 10.3389/fphys.2025.1708750. Acesso em: 18 abr. 2026.

CHEN, L. K.; WOO, J.; ASSANTACHAI, P. et al. Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment. Journal of the American Medical Directors Association, v. 21, n. 3, p. 300–307.e2, 2020. DOI: 10.1016/j.jamda.2019.12.012. Acesso em: 18 abr. 2026.

CHEUNG, K; HUME, P; MAXWELL, L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. Sports Med. 33(2), p. 145–64, 2003. doi:10.2165/00007256-200333020-00005. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12617692/. Acesso em: 13 maio 2026.

CHILIBECK, P. D.; KAVIANI, M.; CANDOW, D. G. et al. Effect of creatine supplementation during resistance training on lean tissue mass and muscular strength in older adults: a meta-analysis. Open Access Journal of Sports Medicine, v. 8, p. 213–226, 2017. DOI: 10.2147/OAJSM.S123529. Acesso em: 18 abr. 2026.

CHURCH, T. S.; THOMAS, D. M.; TUDOR-LOCKE, C. et al. Trends over 5 decades in U.S. occupation-related physical activity and their associations with obesity. PLoS One, v. 6, n. 5, e19657, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0019657.

COMPSTON, J.; COOPER, A.; COOPER, C. et al. UK clinical guideline for the prevention and treatment of osteoporosis. Archives of Osteoporosis, v. 12, p. 43, 2017. Acesso em: 18 abr. 2026.

COMPSTON, J. E.; MCCLUNG, M. R.; LESLIE, W. D. Osteoporosis. The Lancet, v. 393, n. 10169, p. 364–376, 2019. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)32112-3. Acesso em: 18 abr. 2026.

COOPER, C.; FIELDING, R.; VISSER, M. et al. Tools in the assessment of sarcopenia. Calcified Tissue International, v. 93, n. 3, p. 201–210, 2013. Acesso em: 18 abr. 2026.

COSTA, D. C.; SANTI, G. L.; CRESCÊNCIO, J. C. et al. Use of the Wasserman equation in optimization of the duration of the power ramp in a cardiopulmonary exercise test: a study of Brazilian men. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, v. 48, n. 12, p. 1136–1144, 2015. DOI: 10.1590/1414-431X20154692. Acesso em: 18 abr. 2026.

CROSS, M.; SMITH, E.; HOY, D. et al. The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. Annals of the Rheumatic Diseases, v. 73, n. 7, p. 1323–1330, 2014. Acesso em: 18 abr. 2026.

CRUZ-JENTOFT, A. J.; BAHAT, G.; BAUER, J. et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis (EWGSOP2). Age and Ageing, v. 48, n. 1, p. 16–31, 2019. DOI: 10.1093/ageing/afy169. Acesso em: 18 abr. 2026.

DECI, E. L.; RYAN, R. M. Self-determination theory: a macrotheory of human motivation, development, and health. Canadian Psychology, v. 49, n. 3, p. 182–185, 2008. Acesso em: 18 abr. 2026.

DENHAM-JONES, L. et al. A systematic review of the effectiveness of Pilates on pain, disability, physical function, and quality of life in older adults with chronic musculoskeletal conditions. Musculoskeletal Care. 20(1):10-30, 2022. doi:10.1002/msc. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34028164/. Acesso em: 14 maio 2026.

DENNENY, D.; WALUMBE, J. Physical activity to prevent recurrences of low back pain. The Lancet, v. 404, n. 10448, p. 98–100, 2024. DOI: 10.1016/S0140-6736(24)01247-9. Acesso em: 18 abr. 2026.

DESAI, S.; BORG, B.; CUTTLER, C. et al. A systematic review and meta-analysis on the effects of exercise on the endocannabinoid system. Cannabis and Cannabinoid Research, v. 7, n. 4, p. 388–408, 2022. DOI: 10.1089/can.2021.0113. Acesso em: 18 abr. 2026.

DI CESARE, P. E. Osteoarthritis pathogenesis: molecular mechanisms of cartilage destruction. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, v. 8, n. 5, p. 301–308, 2000. DOI: 10.5435/00124635-200009000-00002. Acesso em: 18 abr. 2026.

DIONNE, C. E. et al. A consensus approach toward the standardization of back pain definitions for use in prevalence studies. Spine, v. 33, n. 1, p. 95–103, 2008. Acesso em: 18 abr. 2026.

DODDS, R. M. et al. Grip strength across the life course: normative data from twelve British studies. PLoS One, v. 9, e113637, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0113637. Acesso em: 18 abr. 2026.

DUNTON, G. F.; DO, B.; WANG, S. D. Early effects of the COVID-19 pandemic on physical activity and sedentary behavior in children living in the U.S. BMC Public Health, v. 20, p. 1351, 2020. DOI: 10.1186/s12889-020-09429-9. Acesso em: 18 abr. 2026.

EIJSVOGELS TMH, Thompson. Exercise is medicine: at any dose? JAMA, 314(18):1915-1916, 2015. doi: 10.1001/jama.2015.10858. Acesso em: 18 abr. 2026.

ETIENNE, C.; CONBOY, I. Skeletal muscle as an experimental model of choice to study tissue aging and rejuvenation. Skeletal Muscle, v. 10, p. 1–16, 2020. DOI: https://doi.org/10.1186/s13395-020-0222-1. Acesso em: 18 abr. 2026.

EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. Eur Heart J. v. 42(1), v. 17–96, 2021. doi:10.1093/eurheartj/ehaa605. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32860412. Acesso em: 14 maio 2026.

FARRIS, D. J.; SAWICKI, G. S. Linking mechanics and energetics of walking and running. Journal of the Royal Society Interface, v. 14, p. 20170509, 2017. Acesso em: 18 abr. 2026.

FELSON, D. T. Weight and osteoarthritis. The Journal of Rheumatology. Supplement, 1995. Acesso em: 18 abr. 2026.

FELSON, D. T. Osteoarthritis as a disease of mechanics. Osteoarthritis and Cartilage, v. 21, n. 1, p. 10–15, 2013. DOI: 10.1016/j.joca.2012.09.012. Acesso em: 19 abr. 2026.

FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, R. et al. Effectiveness of Pilates and Yoga to improve bone density in adult women: a systematic review and meta-analysis. PLoS One. 16, 5, 2021. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251391. Acesso em: 14 maio 2026.

FRANCESCHI, C. et al. Inflammaging: a new immune–metabolic viewpoint. Nature Reviews Endocrinology, v. 14, n. 10, p. 576–590, 2018. Acesso em: 19 abr. 2026.

FRANSEN, M. et al. Exercise for osteoarthritis of the knee. Cochrane Database of Systematic Reviews, n. 1, CD004376, 2015. Acesso em: 19 abr. 2026.

FROST, H. M. Bone “mass” and the “mechanostat”: a proposal. The Anatomical Record, v. 219, n. 1, p. 1–9, 1987. Acesso em: 19 abr. 2026.

GBD 2019 DISEASES AND INJURIES COLLABORATORS. Global prevalence and years lived with disability for 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019.

The Lancet, v. 396, n. 10258, p. 1204–1222, 2020. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9. Acesso em: 19 abr. 2026.

GBD 2019 MUSCULOSKELETAL DISORDERS COLLABORATORS. Global, regional, and national burden of musculoskeletal disorders, 1990–2019. The Lancet Rheumatology, v. 5, n. 1, p. e44–e56, 2023. Acesso em: 19 abr. 2026.

GBD 2021 LOW BACK PAIN COLLABORATORS. Global, regional, and national burden of low back pain, 1990–2020, its attributable risk factors, and projections to 2050. The Lancet Rheumatology, v. 5, n. 6, p. e316–e329, 2023. DOI: 10.1016/S2665-9913(23)00098-X. Acesso em: 19 abr. 2026.

GBD 2023 DISEASE AND INJURY AND RISK FACTOR COLLABORATORS. Burden of 375 diseases and injuries, risk-attributable burden of 88 risk factors, and healthy life expectancy in 204 countries and territories, including 660 subnational locations, 1990–2023: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2023. Lancet. 2025;406(10513):1873–1922. DOI:10.1016/S0140-6736(25)01637-X. Acesso em 10 jul. 2026.

GEUS, E. J. C. de et al. Genetic influences on physical activity levels in adults: twin studies. Exercise and Sport Sciences Reviews, v. 42, n. 2, p. 72–78, 2014. Acesso em: 19 abr. 2026.

GRGIC, J. et al. Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. J Sport Health Sci. 2022;11(2):202–11. doi:10.1016/j.jshs.2021.01.007. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33497853/. Acessoe m: 14 maio 2026.

GORRELL, S.; SHOTT, M. E.; FRANK, G. K. W. Associations between aerobic exercise and dopamine-related reward-processing: informing a model of human exercise engagement. Biological Psychology, v. 170, p. 108350, 2022. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2022.108350. Acesso em: 19 abr. 2026.

GOYAL, J.; RAKHRA, G. Sedentarism and chronic health problems. Korean Journal of Family Medicine, v. 45, n. 5, p. 239–245, 2024. DOI: 10.4082/kjfm.24. Acesso em: 19 abr. 2026.

GUO, X. et al. A recommended exercise program appropriate for patients with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. Front Physiol, v. 13, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fphys.2022.934511. Acesso em: 14 maio 2026.

GUSTAFSSON, T.; ULFHAKE, B. Sarcopenia: what is the origin of this aging-induced disorder? Frontiers in Genetics, v. 12, p. 688526, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2021.688526. Acesso em: 19 abr. 2026.

HALL, B. K.; HALLGRÍMSSON, B. Evolution. 5. ed. Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2020.

HALL, J. E.; HALL, M. E. Guyton and Hall textbook of medical physiology. 15. ed. Philadelphia: Elsevier, 2025.

HALLAL, P. C. et al. Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. The Lancet, v. 380, n. 9838, p. 247–257, 2012. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60646-1. Acesso em: 19 abr. 2026.

HARRIES, S. K; LUBANS, D. R.; CALLISTER, R. Systematic review and meta-analysis of linear and undulating periodized resistance training programs on muscular strength. J Strength Cond Res. v. 29, 4, p. 1113–25. doi:10.1519/JSC.0000000000000712. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25268290/. Acesso em: 24 maio 2026.

HARTVIGSEN, J. et al. What low back pain is and why we need to pay attention. The Lancet, v. 391, n. 10137, p. 2356–2367, 2018. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)30480-X. Acesso em: 19 abr. 2026.

HAYDEN, J. A. et al. Exercise therapy for chronic low back pain. Cochrane Database of Systematic Reviews, n. 9, CD009790, 2021. DOI: 10.1002/14651858.CD009790.pub2. Acesso em: 15 jan. 2026.

HEISIG, J. et al. Adherence support strategies in physical activity Interventions in People With Chronic Musculoskeletal Pain-A Systematic Review and Meta-Analysis. J Phys Act Health, 13;22(1):4-52, nov. 2024. doi: 10.1123/jpah.2024-0099. Acesso em: 19 abr. 2026.

HOLOWKA, N. B.; LIEBERMAN, D. E. Rethinking the evolution of the human foot. Journal of Experimental Biology, v. 221, jeb174425, 2018. doi: 10.1242/jeb.174425. Acesso em: 19 abr. 2026.

HOWE, T. E. et al. Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. Cochrane Database of Systematic Reviews, n. 7, 2011. DOI: 10.1002/14651858.CD000333.pub2. Acesso em: 19 abr. 2026.

HUBLIN, J.-J. et al. New fossils from Jebel Irhoud and the pan-African origin of Homo sapiens. Nature, v. 546, p. 289–292, 2017. https://doi.org/10.1038/nature22336. Acesso em: 19 abr. 2026. Acesso em: 19 abr. 2026.

HUNTER, D. J.; BIERMA-ZEINSTRA, S. Osteoarthritis. The Lancet, v. 393, n. 10182, p. 1745–1759, 2019. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)30417-9. Acesso em: 19 abr. 2026.

JONES, M. D. et al. Exercise adherence and improvements in pain and function: systematic review. Journal of Physiotherapy, 71 (2) abri. 2025. DOI:10.1016/j.jphys.2025.03.004. Acesso em: 19 abr. 2026.

JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY. Digital rehabilitation and exercise adherence in musculoskeletal conditions. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 2022. Disponível em: https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2022.11384. Acesso em: 19 abr. 2026.

KANIS, J. On behalf of the World Health Organization Scientific Group. Assessment of osteoporosis at the primary health-care level. World Health Organization Collaborating Centre for Metabolic Bone Diseases – University of Sheffield – UK, Technical Report, 2007. Disponível em: //efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fraxplus.org/sites/frax/files/pdf/WHO_Technical_Report.pdf. Acesso em: 19 abr. 2026.

KANIS, J. A. et al. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. Osteoporosis International, v. 30, n. 1, p. 3–44, 2019. doi: 10.1007/s00198-018-4704-5. Acesso em: 20 abr. 2026.

KARNI, A. et al. The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 95, n. 3, p. 861–868, 1998. Acesso em: 20 abr. 2026. https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.861. Acesso em: 20 abr. 2026.

KELLGREN, J. H.; LAWRENCE, J. S. Radiological assessment of osteo-arthrosis. Annals of the Rheumatic Diseases, v. 16, p. 494–502, 1957. Acesso em: 20 abr. 2026

KELLGREN, J. H.; LAWRENCE, J. S. The epidemiology of chronic rheumatism: atlas of standard radiographs. v. 2. Oxford: Blackwell Scientific, 1963.

KEMMLER, W. et al. Effects of different types of exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. Calcified Tissue International, v. 107, n. 5, p. 409–439, 2020. DOI: 10.1007/s00223-020-00744-w.

KENNY, M. et al. Exercise adherence in trials of therapeutic exercise interventions for common musculoskeletal conditions. Musculoskelet Sci Pract, [S.l], 65:102748, 2023. doi: DOI: 10.1016/j.msksp.2023.102748. Acesso em: 20 abr. 2026.

KLIMENTIDIS, Y. C. et al. Genome-wide association study of habitual physical activity in over 377,000 UK Biobank participants identifies multiple variants including CADM2 and APOE. Nature Communications, v. 9, p. 525, 2018. https://doi.org/10.1038/s41366-018-0120-3. Acesso em: 27 abr. 2026.

KNAB, A. M.; LIGHTFOOT, J. T. Does the difference between physically active and couch potato lie in the dopamine system? International Journal of Biological Sciences, v. 6, n. 2, p. 133–150, 2010. DOI: 10.7150/ijbs.6.133. Acesso em: 20 abr. 2026.

KOES, B. W. et al. An updated overview of clinical guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care. European Spine Journal, v. 19, n. 12, p. 2075–2094, 2010. doi: 10.1007/s00586-010-1502-y. Acesso em: 20 abr. 2026.

KOHN, M. D.; SASSOON, A. A.; FERNANDO, N. D. Classifications in brief: Kellgren-Lawrence classification of osteoarthritis. Clinical Orthopaedics and Related Research, v. 474, n. 8, p. 1886–1893, 2016. DOI: 10.1007/s11999-016-4732-4. Acesso em: 20 abr. 2026.

KOHRT, W. M.; BARRY, D. W.; SCHWARTZ, R. S. Muscle forces or gravity: what predominates mechanical loading on bone? Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 41, n. 11, p. 2050–2055, 2009. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181a8c717. Acesso em: 20 abr. 2026.

LEE, C.; WOODS, P. C. Effects of age on human skeletal muscle: a systematic review and meta-analysis of myosin heavy chain isoform protein expression, fiber size, and distribution. Am J Physiol Cell Physiol, 327(6): C1400-C1415, dez. 2024. doi: 10.1152/ajpcell.00347.2024. Acesso em: 20 abr. 2026.

LIANG, Z. et al. Effects of a single bout of endurance exercise on brain-derived neurotrophic factor in humans: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Biology, v. 12, n. 1, p. 126, 2023. DOI: 10.3390/biology12010126. Acesso em: 20 abr. 2026.

LIEBERMAN, D. E. Exercised: why something we never evolved to do is healthy and rewarding. New York: Pantheon Books, 2020.

LIEBERMAN et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. Nature.463(7280), p. 531–5, 2010. Doi:10.1038/nature08723. Disponível em: https://www.nature.com/articles/nature08723. Acesso em: 13 de maio 2026.

LU, L. et al. Effects of different exercise training modes on muscle strength and physical performance in older people with sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. BMC Geriatrics, v. 21, n. 1, p. 708, 2021. DOI: 10.1186/s12877-021-02642-8. Acesso em: 20 abr. 2026.

MARON, B. J. et al. Recommendations and considerations related to preparticipation screening for cardiovascular abnormalities in competitive athletes. Circulation, v. 115, n. 12, p. 1643–1655, 2007. Acesso em: 20 abr. 2026.

MATEI, D. et al. The endocannabinoid system and physical exercise. International Journal of Molecular Sciences, v. 24, n. 3, p. 1989, 2023. DOI: 10.3390/ijms24031989. Acesso em: 20 abr. 2026.

MATSUDO, S. et al. Questionário internacional de atividade física (IPAQ): estudo de validade e reprodutibilidade no Brasil. Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde, v. 6, n. 2, p. 5–18, 2001. Disponível em: https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-314655. Acesso em: 20 abr. 2026.

MATSUDO, V. K. R. Measuring nutrition status, physical activity, and fitness, with special emphasis on populations at nutritional risk. Nutrition Reviews, v. 54, n. 4, p. S79–S96, 1996. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1996.tb03902.x; Acesso em: 20 abr. 2026.

McAULEY, E. et al. Physical activity and quality of life in older adults: influence of health status and self-efficacy. Annals of Behavioral Medicine, v. 31, n. 1, p. 99–103, 2006. DOI: 10.1207/s15324796abm310114. Acesso em: 20 abr. 2026.

MESSIER, S. P. et al. Weight loss reduces knee-joint loads in overweight and obese older adults with knee osteoarthritis. Arthritis and Rheumatism, v. 52, n. 7, p. 2026–2032, 2005. DOI: 10.1002/art.21139. Acesso em: 20 abr. 2026.

MICHIE, S.; VAN STRALEN, M. M.; WEST, R. The behaviour change wheel. Implementation Science, v. 6, p. 42, 2011. DOI: 10.1186/1748-5908-6-42. Acesso em: 20 abr. 2026.

MILLER, R. H. et al. Evaluation of optimality criteria for human running. Proceedings of the Biological Sciences, v. 283, p. 20152445, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2015. Acesso em: 20 abr. 2026.

MOBASHERI, A. et al. The role of metabolism in the pathogenesis of osteoarthritis. Nature Reviews Rheumatology, v. 13, n. 5, p. 302–311, 2017. DOI: 10.1038/nrrheum.2017.50. Acesso em: 20 abr. 2026.

MONTERO-ODASSO, M. M. et al. Evaluation of clinical practice guidelines on fall prevention and management for older adults: a systematic review. JAMA Network Open, v. 4, n. 12, p. e2138911, 2021. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.38911. Acesso em: 20 abr. 2026.

MORRIS, J. N. et al. Coronary heart-disease and physical activity of work. The Lancet, v. 262, n. 6795, p. 1053–1057, 1953. DOI: 10.1016/s0140-6736(53)90665-5. Acesso em: 20 abr. 2026.

MURACH, K. A. et al. Fiber typing human skeletal muscle with fluorescent immunohistochemistry. Journal of Applied Physiology, v. 127, n. 6, p. 1632–1639, 2019. DOI: 10.1152/japplphysiol.00624.2019. Acesso em: 20 abr. 2026.

NATIONAL INSTITUTE OF ARTHRITIS AND MUSCULOSKELETAL AND SKIN DISEASES. 2014. Disponível em: <http://www.niams.nih.gov>. Acesso em: 21 abr. 2026.

NIGG, B. M. Impact forces in running. Curr Opin Orthop. 8(1), p. 43–7, 1997. doi:10.1097/00001433-199702000-00008.

NIELSEN, R. O. et al. Training errors and running related injuries: a systematic review. International Journal of Sports Physical Therapy, v. 7, n. 1, p. 58–75, 2012. DOI: 10.26603/ijspt20120058. Acesso em: 20 abr. 2026.

NÓBREGA, A. C. L. et al. Diretriz em cardiologia do esporte e do exercício da Sociedade Brasileira de Cardiologia e da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 100, n. 1, Supl. 2, p. 1–41, 2013. https://doi.org/10.5935/abc.2013S002. Acesso em: 20 abr. 2026.

NORTH, K. N. et al. A common nonsense mutation in ACTN3 is associated with elite athletic performance. American Journal of Human Genetics, v. 65, n. 1, p. 66–73, 1999.

NORTON, K.; NORTON, L.; SADGROVE, D. Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. Journal of Science and Medicine in Sport, v. 13, n. 5, p. 496–502, 2010. DOI: 10.1016/j.jsams.2009.09.008. Acesso em: 20 abr. 2026.

NOVACHECK, T. F. The biomechanics of running. J Bone Joint Surg Am. 80(5), p. 735–47, 1998. doi:10.2106/00004623-199805000-00014.

NOZAKI, S. et al. In vivo stiffness of the plantar aponeurosis. Scientific Reports, v. 12, p. 15707, 2022. https://doi.org/10.1038/s41598-022-20211-w. Acesso em: 20 abr. 2026.

NTOUMANIS, N. et al. Self-determination theory informed research for promoting physical activity: Contributions, debates, and future directions. Psychology of Sport and Exercise, v. 80, set. 2025. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2025.102879. Acesso em: 20 abr. 2026.

NTOUMANIS, N. et al. Self-determination theory in health interventions. Health Psychology Review, 2021. Disponível em: https://ir.library.louisville.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1137&context=tce Acesso em: 20 abr. 2026.

O'BRYAN, S. J et al. Progressive resistance training for concomitant increases in muscle strength and bone mineral density in older adults: a systematic review and meta-analysis. Sports Med. 52(8), p. 1939-1960, 2022. doi:10.1007/s40279-022-01675-2. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35608815/. Acesso em: 14 maio 2026.

PATTERSON, R. et al. Sedentary behaviour and risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and incident type 2 diabetes: a systematic review and dose-response meta-analysis. European Journal of Epidemiology, v. 33, n. 9, p. 811–829, 2018. DOI: 10.1007/s10654-018-0380-1. Acesso em: 20 abr. 2026.

PELLICCIA, A. et al. 2020 ESC guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. European Heart Journal, v. 42, n. 1, p. 17–96, 2021. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa605. Acesso em: 20 abr. 2026.

PETERMANN-ROCHA, F. et al. Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle, v. 13, n. 1, p. 86–99, 2022. DOI: 10.1002/jcsm.12783. Acesso em: 20 abr. 2026.

PEDERSEN, B. K.; SALTIN, B. Exercise as medicine – evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. Scand J Med Sci Sports. V. 25, (S3), p. 1–72. doi:10.1111/sms.12581. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26606383/. Acesso em: 14 maio 2026.

PETRELLA, J. K. et al. Potent myofiber hypertrophy during resistance training in humans is associated with satellite cell–mediated myonuclear addition. Journal of Applied Physiology, v. 104, n. 6, p. 1736–1742, 2008. DOI: 10.1152/japplphysiol.01215.2007. Acesso em: 20 abr. 2026.

PICORELLI, A. M. A. et al. Adherence to exercise programs for older people is influenced by program characteristics and personal factors: a systematic review. Journal of Physiotherapy, v. 60, n. 3, p. 151–156, 2014. https://doi.org/10.1016/j.jphys.2014.06.012. Acesso em: 20 abr. 2026.

PISTERS, M. F. et al. Long-term effectiveness of exercise therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee: a systematic review. Arthritis and Rheumatism, v. 57, n. 7, p. 1245–1253, 2007. doi: 10.1002/art.23009. Acesso em: 20 abr. 2026.

PLOTKIN, D. L. et al. Muscle fiber type transitions with exercise training: shifting perspectives. Sports, v. 9, n. 9, p. 127, 2021. DOI: 10.3390/sports9090127. Acesso em: 20 abr. 2026.

PONTZER, H. Burn: new research blows the lid off how we really burn calories, lose weight, and stay healthy. New York: Avery, 2021.

PONTZER, H Economy and Endurance in Human Evolution. Current Biology, v. 27, n. 12, p. R613–R621, 2017. Disponível em: https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822%2817%2930567-5. Acesso em: 20 abr. 2026.

PROSKE, U; MORGAN, D.L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. J Physiol. 537, p. 333–45, 2001. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11731568/. Acesso em:: 13 maio 2026.

RAICHLEN, D. A.; PONTZER, H. Energetic and endurance adaptations in humans. Comprehensive Physiology, v. 6, p. 689–723, 2016.

RAPOSO, F.; RAMOS, M.; CRUZ, A. L. Effects of exercise on knee osteoarthritisa systematic review. Musculoskeletal Care, v. 19, n. 4, p. 399–435, 2021. Disponível em: 10.1002/msc.1538. Acesso em: 20 abr. 2026.

RECOMENDAÇÕES para diagnóstico e tratamento da sarcopenia no Brasil. Sociedade Brasileira de Geriatria e Gerontologia, [S.l.], 2022. Disponível em: <https://sbgg.org.br/wp-content/uploads/2022/04/1649787227_Manual_de_Recomendaes_para_Diagnstico_e_Tratamento_da_Sarcopenia_no_Brasil-1.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2026.

RIEBE, D. et al. (eds.). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 11. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2021.

RIEBE, D. et al. Updating ACSM's recommendations for exercise preparticipation health screening. Med Sci Sports Exerc. V. 47, 11, p. 2473–9. doi:10.1249/MSS.0000000000000664. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26473759/.

RIOS, L. E. et al. Behaviour Change Wheel aplicado à saúde. Rev. Bras. Educ. Med., Rio de Janeiro, v. 40, n. 1, p. 144-147, mar. 2016. https://doi.org/10.1590/1981-52712015v40n1e01242015. Acesso em: 20 abr. 2026.

RIZZO, R. R. N. et al. Non-pharmacological and non-surgical treatments for low back pain in adults: an overview of Cochrane reviews. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2025, n. 3, art. CD014691. DOI: 10.1002/14651858.CD014691.pub2. Acesso em: 15 jan. 2026.

RODRIGUES, M. S. A. et al. Efficacy of Interventions to Promote Exercise Adherence in People With Overweight or Obesity: A Systematic Review, J Obes., 9:2025:4164477, jan. 2026. DOI: 10.1155/jobe/4164477. Acesso em: 20 abr. 2026.

ROLIAN, C. et al. Biomechanical considerations in human evolutionary locomotion. Evolutionary Anthropology, v. 26, p. 156–168, 2017.

ROSENBERG, I. H. Sarcopenia: origins and clinical relevance. Journal of Nutrition, v. 127, p. 990S–991S, 1997. DOI: 10.1093/jn/127.5.990S. Acesso em: 20 abr. 2026.

ROUBENOFF, R. Sarcopenic obesity: the confluence of two epidemics. Obes Res, 12(6), p. 887-888, jun. 2004. DOI: 10.1038/oby.2004.107. Acesso em: 20 abr. 2026.

RUIZ-TEJADA, A. et al. Regulation of voluntary physical activity behavior. Brain Sciences, v. 12, n. 3, p. 333, 2022. DOI: 10.3390/brainsci12030333. Acesso em: 21 abr. 2026.

SAFIRI, S. et al. Global, regional and national burden of osteoarthritis 1990–2017: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2017. Annals of the Rheumatic Diseases, v. 79, n. 6, p. 819–828, 2020. doi: 10.1136/annrheumdis-2019-216515. Acesso em: 21 abr. 2026.

SARAGIOTTO, B. T. et al. Motor control exercise for chronic non-specific low-back pain. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2016, n. 1, art. CD012004. DOI: 10.1002/14651858.CD012004. Acesso em: 21 abr. 2026.

SCHLEBUSCH, C. M. et al. Southern African ancient genomes estimate modern human divergence to 350,000 to 260,000 years ago. Science, v. 358, p. 652–655, 2017. Disponível em: https://www.science.org/doi/10.1126/science.aao6266. Acesso em: 21 abr. 2026.

SCHNOHR, P. et al. Dose of jogging and long-term mortality. J Am Coll Cardiol. 2015;65(5):411–9. doi:10.1016/j.jacc.2014.11.023

Schoenfeld B. J. et al. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. J Strength Cond Res. V. 31, (12), p. 3508–23, 2017. doi:10.1519/JSC.0000000000002200. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28834797/. Acesso em: 14 maio 2026.

SCHUMM, A. K. et al. Does adding exercise or physical activity to pharmacological osteoporosis therapy in patients with increased fracture risk improve bone mineral density and lower fracture risk? A systematic review and meta-analysis. Osteoporosis International, v. 34, n. 11, p. 1867–1880, 2023. DOI: 10.1007/s00198-023-06829-0. Acesso em: 21 abr. 2026.

SEABORNE, R. A. et al. Human skeletal muscle possesses an epigenetic memory of hypertrophy. Scientific Reports, v. 8, p. 1898, 2018. https://doi.org/10.1038/s41598-018-20287-3. Acesso em: 21 abr. 2026.

SHEN, Y; SHI, Q; NONG, K. et al. Exercise for sarcopenia in older people: a systematic review and network meta-analysis. J Cachexia Sarcopenia Muscle. 2023;14(3):1199-1211. doi:10.1002/jcsm.13225.

SHEPHARD, R. J. Qualified fitness and exercise professionals and exercise prescription: evolution of the PAR-Q and Canadian aerobic fitness test. Journal of Physical Activity and Health, v. 12, n. 4, p. 454–461, 2015. DOI: 10.1123/jpah.2013-0473. Acesso em: 21 abr. 2026.

SHIRI, R. et al. The association between obesity and low back pain: a meta-analysis. American Journal of Epidemiology, v. 171, n. 2, p. 135–154, 2010. DOI: 10.1093/aje/kwp356. Acesso em: 21 abr. 2026.

SICHTING, F. et al. Evolutionary anatomy of the plantar aponeurosis. Journal of Anatomy, v. 237, p. 85–104, 2020. doi: 10.1111/joa.13173. Acesso em: 21 abr. 2026.

STANTON, T. R. et al. A modified Delphi approach to standardize low back pain recurrence terminology. European Spine Journal, v. 20, n. 5, p. 744–752, 2011. doi: 10.1007/s00586-010-1671-8. Acesso em: 21 abr. 2026.

STEUDEL-NUMBERS, K. L.; WALL-SCHEFFLER, C. M. Optimal running speed and the evolution of hominin hunting strategies. Journal of Human Evolution, v. 133, p. 102653, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2008.11.002. Acesso em: 21 abr. 2026.

STRAIN, T. et al. National, regional, and global trends in insufficient physical activity among adults from 2000 to 2022: a pooled analysis of 507 population-based surveys with 5.7 million participants. The Lancet Global Health, v. 12, n. 7, p. e1234–e1246, 2024. DOI: 10.1016/S2214-109X(24)00150-5. Disponível em: https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(24)00150-5/fulltext. Acesso em: 21 abr. 2026.

STUBBE, J. H.; BOOMSMA, D. I.; DE GEUS, E. J. Sports participation during adolescence: a shift from environmental to genetic factors. Medicine and Science in Sports and Exercise,

v. 37, n. 4, p. 563–570, 2005. doi: 10.1249/01.mss.0000158181.75442.8b. Acesso em: 21 abr. 2026.

STUDENSKI, S. A. et al. The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates. Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences, v. 69, n. 5, p. 547–558, 2014. DOI: 10.1093/gerona/glu010. Acesso em: 21 abr. 2026.

SWIFT, D. L. et al. The role of exercise and physical activity in weight loss and maintenance. Progress in Cardiovascular Diseases, v. 56, n.4, p. 441-447, 2014. doi: 10.1016/j.pcad.2013.09.012. Acesso em: 21 abr. 2026.

TANAKA, K. et al. Elucidation of the mechanisms of exercise-induced hypoalgesia and pain prolongation due to physical stress and the restriction of movement. Neurobiology of Pain, v. 13, p. 100133, 2023. DOI: 10.1016/j.ynpai.2023.100133. Acesso em: 21 abr. 2026.

TROIANO, R. P. et al. Physical activity in the United States measured by accelerometer. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 40, n. 1, p. 181–188, 2008. DOI: 10.1249/mss.0b013e31815a51b3. Acesso em: 21 abr. 2026.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. World population prospects 2022: summary of results. New York: United Nations, 2022.

VENKADESAN, M. et al. Stiffness of the human foot and evolution of the transverse arch. Nature, v. 579, p. 97–100, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41586-020-2053-y. Acesso em: 21 abr. 2026.

VINCENT, H. K. et al. Obesity and weight loss in the treatment and prevention of osteoarthritis. PM&R, 4 (5 Suppl), S59-67, 2012. doi: 10.1016/j.pmrj.2012.01.005. Acesso em: 21 abr. 2026.

VINCENT, K. R. et al. Eccentric and concentric resistance exercise comparison for knee osteoarthritis. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 51, n. 10, p. 1977–1986, 2019. doi: 10.1249/MSS.0000000000002010. Acesso em: 21 abr. 2026.

VLAEYEN, J. W. S.; LINTON, S. J. Fear-avoidance and its consequences in chronic musculoskeletal pain: a state of the art. Pain, v. 85, n. 3, p. 317–332, 2000. doi: 10.1016/S0304-3959(99)00242-0. Acesso em: 21 abr. 2026.

VOS, T. et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2019. The Lancet, v. 396, n. 10258, p. 1204–1222, 2020. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9. Acesso em: 21 abr. 2026.

WARBURTON, D. E. R.; NICOL, C. W.; BREDIN, S. S. D. Health benefits of physical activity: the evidence. Canadian Medical Association Journal, v. 174, n. 6, p. 801–809, 2006. DOI: 10.1503/cmaj.051351. Acesso em: 21 abr. 2026.

WELLS, C. et al. The effectiveness of Pilates exercise in people with chronic low back pain: a systematic review. PLoS One. 9(7), 2014. https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0100402. Acesso em: 14 maio 2026.

WERTLI, M. M. et al. Fear-avoidance beliefs and disability in patients with low back pain: a systematic review and meta-analysis. The Spine Journal, v. 14, n. 5, p. 816–836, 2014. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.09.030. Acesso em: 21 abr. 2026.

WESTERSTÅHL, M. et al. Rise and fall of physical capacity in a general population: a 47-year longitudinal study. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle, v. 16, n. 6, p. e70134, 2025. DOI: 10.1002/jcsm.70134. Acesso em: 21 abr. 2026.

WESTON, A. T.; PETOSA, R.; PATE, R. R. Validation of an instrument for measurement of physical activity in youth. Medicine and Science in Sports and Exercise, v. 29, n. 1, p. 138–143, 1997. DOI: 10.1097/00005768-199701000-00020. Acesso em: 21 abr. 2026.

WHITTLE, M. W. Gait analysis: an introduction. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2007.

WILKE, J. et al. Physical activity during lockdowns associated with the COVID-19 pandemic: a systematic review and multilevel meta-analysis of 173 studies with 320,636 participants. Sports Medicine, v. 52, n. 9, p. 2051–2069, 2022. DOI: 10.1007/s40279-022-01678-9. Acesso em: 21 abr. 2026.

WILKINSON, D. J. et al. Effects of leucine and its metabolite β-hydroxy-β-methylbutyrate on human skeletal muscle protein metabolism. The Journal of Physiology, v. 591, n. 11, p. 2911–2923, 2013. doi: 10.1113/jphysiol.2013.253203. Acesso em: 21 abr. 2026.

WILLIAMS; THOMPSON, P. D. Walking versus running for hypertension, cholesterol, and diabetes mellitus risk reduction. Arterioscler Thromb Vasc Biol. 33(5), p. 1085-91, 2013. doi: 10.1161/ATVBAHA.112.300878. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23559628/. Acesso em: 13 maio 2026.

WINTER, D. A. Biomechanics and motor control of human movement. 4th ed. Hoboken: Wiley; 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global status report on physical activity 2022. Geneva: World Health Organization, 2022. Disponível em: https://www.who.int/teams/health-promotion/physical-activity/global-status-report-on-physical-activity-2022. Acesso em: 21 abr. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Obesity and overweight: 2023 global update. WHO Fact Sheets, 2023. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight. Acesso em: 21 abr. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Obesity: preventing and managing the global epidemic. WHO Technical Report Series, Geneva: World Health Organization, 2000. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11234459/. Acesso em: 21 abr. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO guideline for non-surgical management of chronic primary low back pain in adults in primary and community care settings. Geneva: World Health Organization, 2023. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240081789. Acesso em: 21 abr. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. Geneva: World Health Organization, 2020. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33239350/. Acesso em: 21 abr. 2026.

XIAOYA, L. et al. Effect of different types of exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and network meta-analysis. Scientific Reports, [S.l], v. 15, n. 1, p. 11740, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-94510-3. Acesso em: 21 abr. 2026.

YUSUF, E. et al. Association between body mass index and hand osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. Annals of the Rheumatic Diseases, 69, 4, p. 761-765, 2010. doi: 10.1136/ard.2008.106930. Acesso em: 21 abr. 2026.

ZERBINI, C. A. et al. A. Incidence of hip fracture in Brazil and the development of a FRAX model. Archives of Osteoporosis, v. 10, p. 224, 2015. DOI: 10.1007/s11657-015-0224-5. Acesso em: 21 abr. 2026.

ZHAO, T. E.; JONES, M. D.; GIBBS, M. T. Are exercise interventions for people with knee osteoarthritis dosed appropriately to meet the World Health Organisation's physical activity guidelines? Musculoskeletal Care, v. 23, n. 1, p. e70089, 2025. DOI: 10.1002/msc.70089. Acesso em: 21 abr. 2026.

ZHUO, Q. et al. Metabolic syndrome meets osteoarthritis. Nature Reviews Rheumatology, v. 8, n. 12, p. 729–737, 2012. DOI: 10.1038/nrrheum.2012.135. Acesso em: 21 abr. 2026.

UNITAU

Universidade de Taubaté

ISBN: 978-85-9561-246-4