



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E
TECNOLOGIAS
(TECNOLOGIAS E DESEMPENHO HUMANO)**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AGUDAS E CRÔNICAS AO CICLISMO
EXCÊNTRICO: REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

RENAN VIEIRA BARRETO



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E
TECNOLOGIAS
(TECNOLOGIAS E DESEMPENHO HUMANO)**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AGUDAS E CRÔNICAS AO CICLISMO
EXCÊNTRICO: REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

RENAN VIEIRA BARRETO

Orientador: Prof. Dr. BENEDITO SÉRGIO DENADAI

Co-orientador: Prof. Dr. LEONARDO COELHO RABELLO DE LIMA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias.

**Rio Claro/SP
2021**

B273r Barreto, Renan Vieira
Respostas fisiológicas agudas e crônicas ao ciclismo excêntrico:
revisão sistemática e meta-análise / Renan Vieira Barreto. -- Rio
Claro, 2021
127 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientador: Benedito Sérgio Denadai
Coorientador: Leonardo Coelho Rabello de Lima

1. Educação física. 2. Fisiologia humana. 3. Metanálise. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

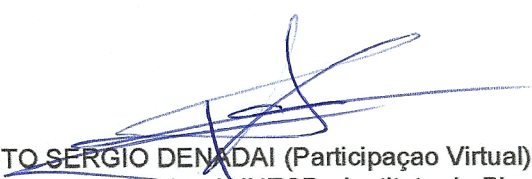
**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AGUDAS E CRÔNICAS AO CICLISMO
EXCÊNTRICO: REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

AUTOR: RENAN VIEIRA BARRETO

ORIENTADOR: BENEDITO SERGIO DENADAI

COORIENTADOR: LEONARDO COELHO RABELLO DE LIMA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em **DESENVOLVIMENTO HUMANO E TECNOLOGIAS**, área: **Tecnologias nas Dinâmicas Corporais** pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. **BENEDITO SERGIO DENADAI** (Participação Virtual)
Departamento de Educação Física / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Prof. Dr. **ADALGISO COSCRATO CARDOZO** (Participação Virtual)
Departamento de Educação Física / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Prof. Dr. **RICARDO DANTAS DE LUCAS** (Participação Virtual)
Centro de Desportos / Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis / SC

Rio Claro, 26 de julho de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Ana Claudia Vieira de Moraes, e irmão, Fabricio Vieira Barreto, pelo amor, carinho e incentivo durante todos os momentos de alegria e dificuldades na minha vida que me trouxeram até aqui.

Agradeço à minha companheira, Carolina dos Santos Jacob, que desde o período de graduação esteve ao meu lado, tornando todos esses anos que se passaram mais felizes e especiais.

Aos Professores Benedito Sérgio Denadai e Leonardo Coelho Rabello de Lima pela excelente orientação acadêmica e por acreditarem no meu trabalho.

Agradeço também ao Fernando Klitzke Borszcz, aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina, pela valiosa colaboração na condução das análises estatísticas deste estudo.

Agradeço aos membros e técnica do Laboratório de Avaliação da Performance Humana (LAPH).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O ciclismo excêntrico (CEXC) tem ganhado atenção de pesquisadores e profissionais da saúde pela sua eficácia em aumentar força e desenvolver massa muscular de indivíduos saudáveis e em condições clínicas. Uma característica importante dessa modalidade é o baixo custo energético do trabalho muscular excêntrico, que possibilita a geração de grande carga tensional mecânica sobre os músculos (importante estímulo adaptativo para o tecido musculoesquelético) sem respostas cardiorrespiratórias acentuadas durante o exercício (fator que poderia limitar a prática de exercícios em algumas populações). No entanto, para que a prescrição e condução de intervenções com o CEXC sejam realizadas de forma precisa e segura é necessário reunir e combinar informações provenientes de diferentes estudos independentes se valendo de métodos de revisão sistemática e meta-análise. Portanto, para estimar a magnitude das respostas fisiológicas agudas dos protocolos de CEXC e das adaptações crônicas ao treinamento de CEXC, foram realizadas meta-análises da diferença média percentual entre (1) as respostas fisiológicas agudas de sessões de CEXC e ciclismo concêntrico (CCON) realizadas em uma mesma potência absoluta; (2) as respostas fisiológicas agudas de sessões de CEXC e CCON realizadas com um mesmo consumo de oxigênio; e (3) as adaptações fisiológicas geradas pelo treinamento de CEXC e CCON. Dezenove estudos foram selecionados para análise das respostas agudas e treze estudos foram selecionados para a análise das respostas crônicas ao CEXC. A meta-análise das respostas fisiológicas agudas mostrou que o CEXC induziu menor estresse cardiorrespiratório e psicofisiológico que o CCON realizado com a mesma potência absoluta, e maior estresse cardiovascular comparado ao CCON realizado com o mesmo consumo de oxigênio. A meta-análise das respostas crônicas ao treinamento revelou que o CEXC foi mais eficaz que CCON em aumentar a capacidade máxima de produção de força e a capacidade funcional dos participantes dos estudos selecionados. O efeito do treinamento de CEXC sobre o consumo máximo de oxigênio, frequência cardíaca pico, área de secção transversa da fibra muscular e porcentagem de gordura corporal foi semelhante ao do CCON. Ainda, o treinamento de CEXC mostrou ser menos eficaz que o treinamento de CCON para aumentar a potência pico atingida em teste de carga incremental no ciclo ergômetro concêntrico. Portanto, a prescrição do CEXC baseada em cargas de trabalho utilizadas no CCON pode ser considerada segura e, portanto, viável em contextos de reabilitação e tratamento de indivíduos com intolerância ao esforço físico. No entanto, a prescrição do CEXC realizada com base no consumo de oxigênio das sessões de CCON deve ser evitada, principalmente no meio clínico, uma vez que existe grande probabilidade de uma sobrecarga cardiovascular adicional nessa condição. Ademais, o treinamento de CEXC pode induzir aumentos superiores aos do CCON na força muscular e capacidade funcional, e semelhantes em medidas de capacidade cardiorrespiratória, composição corporal e hipertrofia muscular.

Palavras-chave: exercício excêntrico, força muscular, tolerância ao exercício, doença pulmonar obstrutiva crônica, doença arterial coronariana, insuficiência cardíaca.

ABSTRACT

Eccentric cycling has been regarded as a promising exercise modality for improving muscle strength and lean body mass of healthy individuals and clinical patients. An important characteristic of eccentric cycling is the low metabolic cost associated with the negative work absorption, which has been linked to a great mechanical load stimulus over skeletal muscle tissue and reduced cardiorespiratory responses during exercise. However, for the prescription and monitoring of eccentric cycling interventions to be carried out more precisely and safely by scientists and healthcare professionals, it is necessary to extract and combine information from different independent studies through systematic review and meta-analysis. To estimate the magnitude of the acute physiological responses from eccentric cycling bouts and the chronic adaptations from eccentric cycling training, we meta-analyzed the mean difference between (1) acute physiological responses from eccentric and concentric cycling bouts performed at the same absolute power output; (2) acute physiological responses from eccentric and concentric cycling bouts performed at the same oxygen uptake; and (3) physiological adaptations from pre-post eccentric and concentric training interventions. Nineteen studies were included in the analysis of acute responses and thirteen studies were selected for analysis of chronic responses to CEXC. The meta-analysis of the acute physiological responses showed that CEXC induced lower cardiorespiratory and psychophysiological burden compared to CCON performed at the same absolute power output, and greater cardiovascular burden compared to CCON performed at the same oxygen uptake. The meta-analysis of chronic responses to training showed that CEXC was more effective than CCON to improve lower limb strength and functional capacity of the participants in the selected studies. The effect of CEXC and CCON training on maximal oxygen uptake, peak heart rate, muscle fiber cross-sectional area, and body fat percentage was similar. However, CEXC training proved to be less effective than CCON training to increase the peak power output reached in concentric incremental tests. In conclusion, the prescription of CEXC based on workloads used in the CCON sessions can be considered safe and, therefore, feasible for exercise treatment and rehabilitation of individuals with poor exercise tolerance. However, the prescription of CEXC based on the oxygen uptake during CCON sessions should be avoided, especially in clinical settings, since there is a high probability of an additional cardiovascular overload in such a condition. Furthermore, CEXC training can induce greater increases in muscle strength and functional capacity, and similar increases in measures of cardiorespiratory capacity, body composition, and muscle hypertrophy compared to CCON training.

Key-words: eccentric exercise, muscle strength, exercise tolerance, coronary artery disease, chronic obstructive pulmonary disease, chronic heart failure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos estudos.	39
Figura 2 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o consumo de oxigênio durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta.	51
Figura 3 – Médias posteriores e intervalos de credibilidade dos efeitos condicionais na diferença percentual entre o consumo de oxigênio em sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta, ajustadas pelas covariáveis intensidade das sessões em % do VO ₂ max (25%, 50% e 75%) durante as sessões concêntricas, pelo VO ₂ max dos participantes (média ±1 DP dos sujeitos nos estudos incluídos) e pela duração das sessões.	52
Figura 4 – Distribuição posterior dos efeitos modificadores (i.e., β coeficientes) derivados da meta-regressão da diferença percentual entre o consumo de oxigênio em sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizados com a mesma potência absoluta.	53
Figura 5 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a ventilação pulmonar durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta.	54
Figura 6 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a ventilação pulmonar no ciclismo excêntrico e concêntrico nos grupos de população (A), sexo (B) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).	56
Figura 7 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a frequência cardíaca durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta.	58
Figura 8 – Médias posteriores e intervalos de credibilidade dos efeitos condicionais na diferença percentual entre a frequência cardíaca em sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta ajustadas pelas covariáveis intensidade das sessões em % do VO ₂ max (25%, 50% e 75%) durante as sessões concêntricas, pelo VO ₂ max dos sujeitos (média ±1 DP dos sujeitos nos estudos incluídos) e pela duração das sessões.	59
Figura 9 – Distribuição posterior dos efeitos modificadores (i.e., β coeficientes) derivados da meta-regressão da diferença percentual entre a frequência cardíaca em sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizados com a mesma potência absoluta.	60
Figura 10 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a concentração de lactato sanguíneo durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta (A), distribuição posterior dos efeitos em cada grupo dentro do nível intensidade (B) e heterogeneidade entre estudos e entre os grupos de intensidade (C).	62
Figura 11 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a percepção subjetiva de esforço durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta.	63
Figura 12 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a percepção subjetiva de esforço no ciclismo excêntrico e concêntrico nos níveis população (A), duração (B) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).	65
Figura 13 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a potência gerada durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.	67
Figura 14 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a potência absoluta produzida no ciclismo excêntrico e concêntrico nos grupos do nível população (A) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro do nível população (B).	68
Figura 15 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a frequência cardíaca durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.	69
Figura 16 – Médias posteriores e intervalos de credibilidade dos efeitos condicionais ajustados pelo consumo máximo de oxigênio dos sujeitos (média ± 1DP) e pela duração das sessões (A), do efeito do consumo máximo de oxigênio dos participantes (B) e da duração da sessão (C) na diferença entre a	

frequência cardíaca durante o ciclismo excêntrico e concêntrico e heterogeneidade entre os efeitos (D).	71
Figura 17 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o volume sistólico durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.	72
Figura 18 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o volume sistólico no ciclismo excêntrico e concêntrico no nível duração (A) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro do nível duração (B).	73
Figura 19 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o débito cardíaco durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.	74
Figura 20 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o débito cardíaco durante o ciclismo excêntrico e concêntrico no nível duração (A) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos do nível duração (B).	75
Figura 21 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a pressão arterial média durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.	77
Figura 22 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a pressão arterial média durante o ciclismo excêntrico e concêntrico no nível duração (A) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos do nível duração (B).	78
Figura 23 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) no pico de torque isométrico.	80
Figura 24 – Médias posteriores e intervalos de credibilidade dos efeitos condicionais ajustados pela duração do treinamento e pelo consumo máximo de oxigênio dos participantes (média $\pm$ 1 DP) (A), do efeito do consumo máximo de oxigênio dos participantes (B) e da duração do treinamento (C) no pico de torque isométrico e heterogeneidade entre os efeitos (D).	81
Figura 25 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) no pico de torque isocinético concêntrico.	82
Figura 26 – Distribuição posterior dos efeitos nos grupos de nível população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) no pico de torque isocinético concêntrico e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (D).	83
Figura 27 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) no pico de torque isocinético excêntrico.	84
Figura 28 – Distribuições posteriores dos efeitos dos grupos dentro dos níveis população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) no pico de torque isocinético excêntrico e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (D).	85
Figura 29 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na área de secção transversa de fibras musculares do vasto lateral.	86
Figura 30 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro do nível população (A), nível duração do treinamento (B) na área de secção transversa de fibras musculares do vasto lateral e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).	88
Figura 31 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na potência pico.	90
Figura 32 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro do nível população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) na potência pico e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro de cada nível (D).	91
Figura 33 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) no consumo máximo de oxigênio.	93
Figura 34 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro do nível população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) no consumo máximo de oxigênio e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro de cada nível (D).	94
Figura 35 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na frequência cardíaca pico.	95
Figura 36 – Distribuições posteriores dos efeitos em grupo dentro dos níveis população (A) e sexo (B) na frequência cardíaca pico e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).	96

Figura 37 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos.....	98
Figura 38 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro dos níveis duração do treinamento (A) e sexo (B) na distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).	99
Figura 39 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na porcentagem de gordura corporal..	100
Figura 40 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro do nível população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) na porcentagem de gordura corporal e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (D).	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos estudos selecionados para a análise das respostas agudas ao CEXC...	42
Tabela 2 – Características dos estudos selecionados para a análise dos efeitos crônicos do treinamento de CEXC.	45
Tabela 3 – Pontuação na escala PEDro dos artigos incluídos na análise das respostas fisiológicas agudas ao CEXC.	48
Tabela 4 – Pontuação na escala PEDro dos artigos incluídos na análise dos efeitos do treinamento de CEXC.	49

LISTA DE ABREVIATURAS

[La]	Concentração de lactato
AST-F	Área de secção transversa da fibra muscular
ATP	Adenosina trifosfato
CCON	Ciclismo concêntrico
CEXC	Ciclismo excêntrico
DAC	Doença arterial coronariana
DP	Desvio padrão
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
EMG	Eletromiografia
EP	Erro padrão
FC	Frequência cardíaca
FC_{max}	Frequência cardíaca máxima
FR	Frequência respiratória
IC	Intervalo de credibilidade
LL	Limiar de lactato
LV	Limiar ventilatório
P	Probabilidade
PAD	Pressão arterial diastólica
PAM	Pressão arterial média
PAS	Pressão arterial sistólica
PGC1-α	Regulador do coativador gama 1-alfa ativado pelo proliferador de peroxissoma
PO	Potência absoluta
PO_{max}	Potência máxima
PO_{pico}	Potência pico
PPE	Pico de potência excêntrica
PSE	Percepção subjetiva de esforço

PTI	Pico de torque isométrico
PTIC	Pico de torque isocinético concêntrico
PTIE	Pico de torque isocinético excêntrico
Q	Débito cardíaco
QR	Quociente respiratório
SpO₂	Saturação arterial de oxigênio
TC6M	Teste de caminhada de 6 minutos
VC	Volume corrente
VCO₂	Volume de dióxido de carbono
VE	Ventilação pulmonar
VO₂	Consumo de oxigênio
VO_{2max}	Consumo máximo de oxigênio
VO_{2pico}	Consumo pico de oxigênio
VS	Volume sistólico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO GERAL	17
2.1 Objetivos específicos.....	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Contrações excêntricas	18
3.2 Ciclismo excêntrico.....	19
3.3 Respostas fisiológicas agudas ao CEXC	20
3.4 Adaptações crônicas ao treinamento de CEXC.....	22
4 MATERIAL E MÉTODO.....	28
4.1 Critérios de elegibilidade	28
4.2 Fontes de informação	29
4.3 Estratégia de busca	29
4.4 Seleção dos estudos.....	30
4.5 Extração dos dados.....	31
4.6 Meta-análises.....	31
4.6.1 Variáveis selecionadas para análise das respostas fisiológicas agudas ao CEXC.....	31
4.6.2 Variáveis selecionadas para análise das respostas fisiológicas crônicas ao CEXC.....	32
4.6.3 Tamanhos do efeito	32
4.6.4 Subgrupos e covariáveis.....	34
4.6.5 Modelos estatísticos	35
4.6.6 Transformações	36
4.6.7 Critérios de inferência	37
5 RESULTADOS.....	38
5.1 Seleção dos estudos.....	38
5.2 Características dos estudos.....	39
5.2.1 Estudos que investigaram as respostas agudas ao CEXC	39
5.2.2 Estudos que investigaram as adaptações crônicas ao treinamento de CEXC.....	40
5.3 Risco de viés e qualidade metodológica.....	48
5.4 Meta-análise das respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com a mesma potência absoluta	50
5.4.1 Consumo de oxigênio.....	50
5.4.2 Ventilação pulmonar	54
5.4.3 Frequência cardíaca.....	57
5.4.4 Concentração de lactato sanguíneo	61
5.4.5 Percepção subjetiva de esforço.....	63
5.5 Meta-análise das respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com o mesmo consumo de oxigênio.....	66

5.5.1 Potência absoluta.....	66
5.5.2 Frequência cardíaca.....	69
5.5.3 Volume sistólico.....	72
5.5.4 Débito cardíaco	74
5.5.5 Pressão arterial média.....	76
5.6 Meta-análise das respostas crônicas ao treinamento de CEXC comparado ao CCON	79
5.6.1 Pico de torque isométrico	79
5.6.2 Pico de torque isocinético concêntrico.....	82
5.6.3 Pico de torque isocinético excêntrico.....	84
5.6.4 Área de secção transversa da fibra muscular.....	86
5.6.5 Potência pico	89
5.6.6 Consumo máximo de oxigênio.....	91
5.6.7 Frequência cardíaca pico.....	94
5.6.8 Distância percorrida em teste de caminhada de 6 minutos.....	97
5.6.9 Porcentagem de gordura corporal.....	100
6 DISCUSSÃO.....	102
6.1 Respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com a mesma PO	102
6.2 Respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com o mesmo VO ₂	105
6.3 Respostas fisiológicas crônicas ao CEXC e CCON.....	106
6.4 Limitações	109
7 CONCLUSÃO	111
REFERÊNCIAS	112

1 INTRODUÇÃO

Exercícios excêntricos têm despertado o interesse de cientistas e profissionais da saúde por conta de suas características distintas que possibilitam a produção de grande taxa de trabalho mecânico a um baixo custo energético e pelo seu notável potencial na reabilitação e treinamento de diferentes populações (ISNER-HOROBETI et al., 2013). São considerados exercícios excêntricos todos os exercícios físicos compostos principalmente por contrações excêntricas (i.e., tipo de contração onde ocorre o alongamento do músculo ativo) como a corrida em declive, descer escadas, *drop-jumps* e treinamento resistido excêntrico isocinético; os quais, em sua essência, envolvem a desaceleração de uma carga externa, da massa de um segmento corporal ou do corpo todo via trabalho muscular “negativo”. Os exercícios excêntricos de intensidade moderada ou *endurance eccentric exercises*, têm recebido grande atenção pela variedade de adaptações musculoesqueléticas e sistêmicas que são capazes de induzir (ELLIS et al., 2015; FRIDÉN et al., 1983; HOPPELER, 2016; ROIG et al., 2009). Este tipo específico de treinamento excêntrico é composto por exercícios cíclicos e contínuos envolvendo grandes grupos musculares e sessões com duração de cinco a trinta minutos em intensidades submáximas.

Exercícios excêntricos de intensidade moderada têm sido recomendados como uma alternativa segura e eficaz para o tratamento e condicionamento de populações clínicas, pelo fato de o trabalho muscular excêntrico ser econômico num ponto de vista energético e, conseqüentemente, induzir respostas cardiorrespiratórias menores do que aquelas observadas durante o mesmo exercício realizado de forma concêntrica (ABBOTT et al., 1952; ELLIS et al., 2015). Dentre as diferentes formas de exercício excêntrico de intensidade moderada, o ciclismo excêntrico (CEXC) se destaca por permitir um controle adequado da carga de trabalho, além de promover potente estímulo adaptativo aos músculos locomotores sem impacto articular (HOPPELER, 2016). O CEXC é uma modalidade de exercício composta exclusivamente por contrações excêntricas, e consiste em resistir à força gerada pelo pedal do ciclo ergômetro que se movimenta no sentido contrário ao tradicional (i.e., para trás) por ação de um motor elétrico. Deste modo, os músculos extensores do joelho e do quadril absorvem o trabalho mecânico através de contrações excêntricas (ELMER et al., 2010). Com o recente desenvolvimento de ciclo ergômetros excêntricos disponíveis comercialmente, o CEXC tornou-se mais acessível para clínicas e hospitais que procuram alternativas eficientes de reabilitação e tratamento de pacientes com intolerância ao esforço físico.

Evidências sugerem que durante sessões submáximas de CEXC as respostas metabólicas [i.e., acúmulo de lactato e consumo de oxigênio (VO_2)], cardiovasculares [i.e., frequência cardíaca (FC) e débito cardíaco (Q)] e respiratórias (i.e., frequência respiratória) são menores quando comparadas às mesmas medidas tomadas durante sessões submáximas de ciclismo concêntrico (CCON) realizadas com a mesma carga absoluta de trabalho (DUFOUR et al. 2004; LAROCHE et al. 2013; LECHAUVE et al. 2014; PEÑAILILLO et al. 2017a). Ainda, estudos que avaliam os ajustes fisiológicos em reposta às duas modalidades de ciclismo desempenhadas com o mesmo VO_2 , encontram taxas de trabalho mecânico (i.e., potência) quatro a sete vezes maiores durante sessões de CEXC comparada às de CCON (DUFOUR et al. 2004, 2006; LASTAYO et al. 1999; LECHAUVE et al. 2014; LIPSKI et al. 2018a). Portanto, a relação entre carga interna (i.e., combinação de medidas de estresse fisiológico do organismo) e carga externa (i.e., trabalho mecânico produzido pelo organismo em forma de movimento) durante a realização do CEXC é significativamente diferente daquela observada durante o CCON, uma vez que a mesma carga externa realizada de forma concêntrica pode ser produzida com menor carga interna durante o CEXC (BARRETO et al., 2020; MCLAREN et al., 2018).

O estresse mecânico imposto sobre os músculos locomotores durante sessões de CEXC tem demonstrado ser um excelente estímulo para o desenvolvimento de força e massa muscular em indivíduos saudáveis (ELMER et al., 2012; GROSS et al., 2010; LASTAYO et al., 1999, 2000; LEONG et al., 2014; PAULSEN et al., 2019) e em populações clínicas (BOURBEAU et al., 2020; DIBBLE et al., 2006; MACMILLAN et al., 2017; NICKEL et al., 2020; STEINER et al., 2004). De fato, alguns estudos demonstram que as melhorias na força e tamanho muscular podem ser equivalentes ou superiores aos ganhos induzidos pelo treinamento de CCON. Em idosos, os aumentos de força gerados pelo treinamento de CEXC parecem ser semelhantes àqueles induzidos pelo treinamento resistido (LASTAYO et al., 2003; MUELLER et al., 2009).

Estudos individuais também demonstram um importante efeito do treinamento de CEXC em medidas de capacidade funcional [e.g., teste de caminhada de 6 minutos (TC6M)], que, por sua vez, estão fortemente relacionadas com a qualidade de vida e longevidade de indivíduos com doenças crônicas e idosos (BESSON et al., 2013; BOURBEAU et al., 2020; GREMEAUX et al., 2010). No entanto, o efeito do treinamento de CEXC sobre o desenvolvimento de parâmetros de potência de membros inferiores e de capacidade aeróbia permanece incerto. Até o momento poucos estudos reportaram aumento da potência pico (PO_{pico}) (LEONG et al., 2014; GREMEAUX et al., 2010) e no consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{max}}$) (BOURBEAU et al., 2020; GREMEAUX et al., 2010; JULIAN et al., 2018) após períodos de treinamento de CEXC.

Revisões prévias sugerem que, comparados aos exercícios concêntricos, os exercícios excêntricos são mais eficientes num ponto de vista energético, uma vez que maior carga de trabalho pode ser gerada com menor custo metabólico (CLOS et al., 2019; DOUGLAS et al., 2017; HOPPELER, 2016). Por meio da análise qualitativa de estudos primários que investigaram estas modalidades, as revisões existentes sugerem que algumas modalidades de exercício excêntrico possam ser mais seguras e eficazes para tratar e condicionar indivíduos frágeis (HOPPELER, 2016; LASTAYO et al., 2014). Embora estas revisões forneçam informações importantes sobre diversos aspectos dos exercícios excêntricos, nenhuma delas realizou uma análise quantitativa dos resultados dos estudos individuais aplicando os testes estatísticos adequados para combiná-los (i.e., meta-análise). Ademais, a maioria das revisões investigaram e discutiram a literatura acerca de diferentes modalidades de exercício excêntrico, enquanto poucas delas focaram especificamente nos efeitos agudos e crônicos do CEXC.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente projeto de pesquisa foi investigar a magnitude das repostas fisiológicas agudas e crônicas ao CEXC comparado com CCON, se valendo dos métodos revisão sistemática e meta-análise.

2.1 Objetivos específicos

- a. Comparar a magnitude da diferença entre as respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com a mesma potência absoluta;
- b. Comparar a magnitude da diferença entre as respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com o mesmo VO_2 ;
- c. Comparar a magnitude da diferença entre as respostas fisiológicas crônicas (i.e., efeito do treinamento) ao CEXC e CCON;
- d. Identificar características da população que impactam as diferenças entre as respostas agudas e crônicas ao CEXC e CCON;
- e. Identificar variáveis da prescrição das sessões e protocolos de treinamento que impactam as diferenças nas respostas agudas e crônicas ao CEXC e CCON.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Contrações excêntricas

A contração excêntrica pode ser entendida como o alongamento do músculo ativo, que ocorre quando uma carga externa supera o momento de força produzido pelo músculo ou grupo muscular (LINDSTEDT et al., 2001). O termo “excêntrico” usado para definir este tipo de contração foi adotado pela primeira vez em 1953 pelo cientista Erling Asmussen, a partir da combinação do prefixo *ex* (no inglês “*away*” – para longe) e *centric* (da palavra em inglês “*center*” – centro), desta forma, uma contração no sentido contrário ao centro do músculo (ASMUSSEN, 1953). Este tipo de contração integra a maior parte dos movimentos do corpo humano durante atividades cotidianas e esportivas. Ações excêntricas do músculo esquelético têm como principal função produzir força para suportar a massa corporal (total ou de um segmento específico) contra a aceleração gravitacional, bem como absorver forças aplicadas ao sistema musculoesquelético em forma de energia potencial elástica, que pode ser utilizada na preparação de ações concêntricas (FENN, 1924; LINDSTEDT et al., 2001). Um clássico exemplo de uma atividade composta predominantemente por contrações excêntricas é a caminhada ou corrida em declive, em que os músculos extensores do joelho absorvem o trabalho mecânico através de contrações excêntricas, desacelerando a massa corpórea.

Comparadas às contrações concêntricas e isométricas, as ações musculares excêntricas possuem muitas características únicas, que podem ser responsáveis por respostas fisiológicas agudas e crônicas peculiares, específicas a este tipo de contração (GUILHEM et al., 2010; FRANCHI et al., 2017). Por exemplo, maior força muscular pode ser gerada durante contrações excêntricas, comparado aos demais tipos de contração (HORTOBAGYI & KATCH, 1990). Ainda, para produzir determinada força muscular, as contrações excêntricas consomem menos energia e oxigênio do que contrações concêntricas (ABBOTT et al., 1952), enquanto requerem menor recrutamento de unidades motoras (DUCHATEAU & ENOKA, 2016). De fato, as estratégias neurais que controlam as ações excêntricas diferem consideravelmente daquelas observadas no controle neuromotor de ações concêntricas e isométricas (DUCHATEAU & BAUDRY, 2014). Estudos indicam uma ativação muscular reduzida (evidenciada por uma menor amplitude de sinal eletromiográfico – EMG) durante contrações excêntricas máximas comparadas com contrações concêntricas ou isométricas máximas (AAGAARD et al., 1998; BIGLAND & LIPPOLD, 1954; BIGLAND-RITCHIE & WOODS, 1976). No entanto, durante

contrações excêntricas, a excitabilidade cortical é maior do que nos outros tipos de contração (DUCLAY et al., 2011).

A eficiência superior (i.e., menor custo energético para uma determinada força produzida) das contrações excêntricas em comparação aos demais tipos de contração foi verificada repetidamente, mas os exatos mecanismos que explicam estas características ainda não foram elucidados. Um descolamento mecânico das pontes cruzadas de actina-miosina não dependente de adenosina trifosfato (ATP) foi proposto para explicar o baixo custo de energia observado durante ações excêntricas (HUXLEY, 1957; LOMBARDI & PIAZZESI, 1990). No entanto, isso por si só não consegue explicar a magnitude da capacidade de absorção de energia observada durante este tipo de contração (LINARI et al., 2003). Até o momento, foi proposto que as propriedades de “mola” das unidades músculo-tendíneas colaboram para a produção de força durante o alongamento muscular ativo, sendo que a proteína gigante titina e estruturas não contráteis (e.g., matriz extracelular) da fibra muscular participam na absorção das forças de tensão sem a necessidade de hidrólise de ATP (HERZOG, 2014; HESSEL et al., 2017; LINDSTEDT et al., 2001).

3.2 Ciclismo excêntrico

O CEXC é considerado uma modalidade puramente excêntrica, ou seja, sem contrações concêntricas ou isométricas. Sua prática consiste em resistir ao movimento do pedal (movido no sentido contrário por um motor elétrico) com contrações excêntricas dos músculos dos membros inferiores, dos quais os extensores do joelho e quadril absorvem a maior parte do trabalho mecânico (ELMER et al., 2010). O CEXC possui algumas vantagens em relação às demais modalidades de exercício excêntrico, como permitir o controle adequado da carga de trabalho excêntrico prescrito e realizado durante as sessões e não envolver impacto sobre as articulações dos praticantes (HOPPELER, 2016). Ainda, o CEXC pode ser considerado um modelo experimental apropriado para investigar as adaptações específicas do trabalho muscular excêntrico por permitir a comparação direta com o CCON, excluindo potenciais fatores de interferência relacionados a elementos da modalidade de exercício e presença de outros tipos de contração (TOURON et al. 2021).

A realização de exercícios físicos aos quais o indivíduo não está habituado e, principalmente, aqueles que envolvem contrações excêntricas, frequentemente geram dano muscular (HODY et al., 2019). Por isso, para a implementação do CEXC na rotina de exercícios

de um indivíduo – seja ele saudável ou em condições clínicas –, deve ser realizado um período de adaptação ao trabalho muscular excêntrico, o qual geralmente consiste em sessões repetidas de CEXC de baixa intensidade e curta duração (LASTAYO et al., 2014). Seguindo este modelo de progressão e adaptação, grande parte dos estudos reportam que cargas de trabalho expressivas podem ser alcançadas sem a ocorrência de dano muscular severo (LASTAYO et al., 1999, 2000, 2003, 2014; PEGEAUX et al., 2020).

3.3 Respostas fisiológicas agudas ao CEXC

Os estudos que avaliam as respostas fisiológicas agudas ao CEXC frequentemente usam uma sessão de CCON como controle, comparando as duas modalidades de exercício realizadas em uma mesma potência absoluta (PO), VO_2 ou FC. Dessa forma, quando o CEXC e o CCON são realizados em uma mesma carga de trabalho absoluta (i.e., mesma PO), o VO_2 , concentração de lactato sanguíneo ([La]), ativação muscular e a demanda cardiovascular são significativamente menores durante o CEXC em comparação com o CCON (ABBOTT et al., 1952; DUFOUR et al., 2004; GONZÁLEZ-BARTHOLIN et al., 2019; KNUTTGEN et al., 1982).

Aparentemente, as características intrínsecas de produção de força junto ao comando neural específico das ações excêntricas resultam em baixa demanda metabólica/energética durante sessões de CEXC (HERZOG, 2014; HESSEL et al., 2017; PEÑAILILLO et al., 2017a). Uma medida confiável do metabolismo muscular e da demanda energética durante o exercício aeróbio é o VO_2 (FLETCHER & MACINTOSH, 2017). Em um estudo recente de Peñailillo et al. (2017), foi demonstrado que a menor demanda energética avaliada durante uma sessão de CEXC (i.e., menor VO_2) estava associada com uma menor ativação eletromiográfica dos músculos agonistas e antagonistas (-16–24%) em comparação com as mesmas respostas ao CCON realizado em uma mesma PO.

No entanto, os estudos que compararam as duas modalidades de ciclismo realizadas com o mesmo VO_2 , demonstram que o CEXC resulta em maior carga de trabalho (i.e., PO quatro a cinco vezes maior) e maior estresse cardíaco (i.e., FC e Q) (DUFOUR et al., 2004, 2006; LASTAYO et al., 1999; LECHAUVE et al., 2014; LIPSKI et al., 2018a). Além disso, estudos recentes reportam que a EMG dos músculos da coxa é semelhante quando CEXC e CCON são realizados no mesmo VO_2 absoluto (CLOS et al., 2019; LECHAUVE et al., 2014). Quando sessões de CEXC e CCON de 45 minutos foram realizadas com a mesma demanda aeróbia (i.e.,

VO₂), a razão de troca respiratória foi semelhante entre os modos de ciclismo, bem como as taxas de oxidação de glicose e gordura (ISACCO et al., 2016). Neste estudo, a PO durante a sessão de CEXC foi ~ 2,5 vezes maior do que a PO observada durante o CCON, com gasto energético total semelhante entre as sessões (ISACCO et al., 2016). Além disso, o acúmulo de lactato sanguíneo parece não ser diferente entre o CEXC e CCON quando ambos os modos de ciclismo são realizados no mesmo VO₂ (DUFOUR et al., 2006; RAKOBOWCHUK et al., 2017).

Portanto, quando CEXC e CCON são realizados em uma carga metabólica semelhante (i.e., VO₂), a ativação muscular, gasto de energia, utilização de substrato e acúmulo de lactato sanguíneo são equivalentes entre os modos de ciclismo, com o CEXC sendo realizado em maior PO. Juntos, esses resultados sugerem que a sobrecarga mecânica adicional observada durante o CEXC tem efeitos desprezíveis sobre as respostas fisiológicas mencionadas anteriormente, que estão fortemente relacionados com a taxa metabólica (BIGLAND-RITCHIE & WOODS, 1976; DUFOUR et al., 2004; ISACCO et al., 2016). Por outro lado, a FC e o Q parecem ser influenciados pela sobrecarga mecânica adicional presente no CEXC (DUFOUR et al., 2006; RITTER et al., 2019). De fato, estudos indicam que ajustes cardiovasculares peculiares ocorrem durante o CEXC devido ao aumento da ativação simpática, provavelmente como resultado do maior estresse mecânico e térmico induzido por ações excêntricas repetidas (RAKOBOWCHUK et al., 2018; RITTER et al., 2019). Recentemente, Eiken et al. (2020) demonstraram que os valores diferentes de FC durante sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO₂ estão associados a um maior aumento na temperatura aural, corporal e da pele (avaliada na coxa dos participantes) durante o exercício excêntrico. Dessa forma, durante sessões de CEXC é possível que ocorra maior direcionamento do fluxo sanguíneo para periferia (resposta do organismo para favorecer a dissipação de calor), às custas de um aumento na FC para compensar a diminuição da resistência vascular periférica e manter a pressão arterial média (CHEUVRONT et al., 2010; EIKEN et al. 2020).

O CEXC pode produzir uma dinâmica respiratória diferente em comparação com CCON realizado com o mesmo VO₂. Embora os dois modos de ciclismo produzam ventilações semelhantes, Lechauve et al. (2014) reportaram um volume corrente menor e a frequência respiratória maior durante as sessões de CEXC em comparação ao CCON, possivelmente, devido ao maior trabalho dos membros superiores realizado para manter o controle postural no ciclo ergômetro excêntrico. Recentemente, Ritter et al. (2019) observaram ajustes respiratórios semelhantes aos relatados por Lechauve et al. (2014) durante uma sessão de CEXC de 45 minutos em indivíduos jovens saudáveis. Além disso, corroborando com o que foi proposto por

Lechauve et al. (2014), durante o CEXC pode ocorrer uma redução na expansão da caixa torácica devido ao esforço dos membros superiores realizado para estabilização do tronco no ciclo ergômetro excêntrico, o que também comprometeria o retorno venoso, acarretando a diminuição do volume diastólico durante a sessão de CEXC (RITTER et al., 2019).

Por fim, quando a FC é usada para igualar a intensidade das sessões de CEXC e CCON, a [La] e a percepção subjetiva de esforço (PSE) são semelhantes entre as modalidades de ciclismo (LASTAYO et al., 2000; MACMILLAN et al., 2017; RAKOBOWCHUK et al., 2018). Na verdade, LaStayo et al. (2000) reportaram que o esforço percebido nas pernas foi maior no CEXC do que no CCON, mas não existiu diferença na percepção do esforço geral entre as modalidades de ciclismo. MacMillan et al. (2017) reportaram menor percepção de fadiga nas pernas (avaliada através da escala CR10 de Borg) durante sessões de CEXC em comparação às de CCON realizadas na mesma FC (60-80% da frequência cardíaca máxima alcançada durante um teste incremental de CCON) por pacientes com DPOC.

Em uma mesma FC, indivíduos saudáveis apresentam menor VO_2 absoluto durante sessões de CEXC em comparação com sessões de CCON, com a primeira modalidade sendo realizada em uma PO significativamente maior (DUFOUR et al., 2004; LASTAYO et al., 2000; LIPSKI et al., 2018a; RAKOBOWCHUK et al., 2018). Na verdade, parece que tanto o CEXC quanto o CCON produzem ajustes semelhantes na FC durante o início do exercício com uma carga de trabalho fixa (54% da frequência cardíaca máxima obtida durante um teste incremental de CCON) (RAKOBOWCHUK et al., 2018; RITTER et al., 2019). Contudo, após este estágio (~ 5 a 15 minutos), a FC aumenta durante o CEXC e se estabiliza durante o CCON, refletindo a cinética do VO_2 (RAKOBOWCHUK et al., 2018). Esses resultados corroboram com uma relação mais acentuada (25%) entre FC e VO_2 encontrada por Lipski et al. (2018a) durante teste incremental no CEXC em comparação com o CCON. Uma vez que a mesma FC não resulta necessariamente em uma demanda aeróbia absoluta idêntica (i.e., VO_2) para ambas as modalidades de ciclismo, alguns autores não encorajam a utilização da FC para prescrever o CEXC (DUFOUR et al., 2004; LIPISKI et al., 2018a).

3.4 Adaptações crônicas ao treinamento de CEXC

É amplamente aceito que forças elevadas podem ser produzidas com baixo custo metabólico durante ações excêntricas (ABBOTT et al., 1952; HODY et al., 2019). O grande estresse mecânico imposto sobre o tecido musculoesquelético durante o CEXC tem se mostrado

um excelente estímulo para ganhos de força e massa muscular em indivíduos saudáveis (ELMER et al., 2012; GROSS et al., 2010; LASTAYO et al., 1999, 2000; LEONG et al., 2014; PAULSEN et al., 2019) e em populações clínicas (BOURBEAU et al., 2020; DIBBLE et al., 2006; MACMILLAN et al., 2017; NICKEL et al., 2020; STEINER et al., 2004).

Estudos pioneiros de LaStayo et al. (1999, 2000) mostraram aumentos de 26-33% na força isométrica dos extensores do joelho em indivíduos saudáveis após 6-8 semanas de treinamento de CEXC. LaStayo et al. (2000) também encontraram um aumento de 52% na área de secção transversa de fibras musculares retiradas do músculo vasto lateral após o treinamento de CEXC, enquanto os participantes que treinaram em ciclo ergômetro concêntrico (na mesma FC) não apresentaram aumento de força ou massa muscular. Em adolescentes obesos, 12 semanas de CEXC induziram maiores aumentos na porcentagem de massa magra corpórea (3,8%) em comparação com o treinamento de CCON (1,5%), e a massa magra de membros inferiores aumentou apenas para o grupo que realizou o treinamento de CEXC (3%) (JULIAN et al., 2018). Neste estudo, a força dos extensores do joelho aumentou apenas no grupo de CEXC durante contrações voluntárias máximas concêntricas (16%), excêntricas (21%) e isométricas (28%) (JULIAN et al., 2018). Mais recentemente, Paulsen et al. (2019) demonstraram que 10 semanas de treinamento de CEXC induziram aumentos na espessura muscular dos músculos vasto lateral e reto femoral de ciclistas amadores. Ainda, o protocolo de treinamento de CEXC resultou em melhorias na força excêntrica isocinética, enquanto a força concêntrica isocinética não foi alterada (PAULSEN et al., 2019).

O treinamento de CEXC tem se mostrado seguro e eficaz para o desenvolvimento de força e massa muscular de membros inferiores em pacientes com doença arterial coronariana (GREMEAUX et al., 2010; PEGEAUX et al., 2020), DPOC (MACMILLAN et al., 2017; ROCHA VIEIRA et al., 2011), doença de Parkinson (DIBBLE et al., 2006, 2009), sobreviventes do câncer (LASTAYO et al., 2011) e idosos (LASTAYO et al., 2003; MUELLER et al., 2009, 2011; PURTSI et al., 2012). Por induzir menores ajustes cardiorrespiratórios para uma mesma PO gerada, foi sugerido que o CEXC possa ser uma modalidade mais segura que o CCON no tratamento/reabilitação de populações clínicas e intolerantes a esforços físicos.

Um estudo pioneiro de LaStayo et al. (2003) demonstrou aumento de 60% na área da secção transversa da fibra muscular após 11 semanas de treinamento CEXC em idosos frágeis. Neste estudo, apenas os indivíduos que realizaram o treinamento de CEXC se beneficiaram de ganhos significativos na força isométrica dos extensores do joelho (60%), enquanto o grupo controle, que realizou um protocolo de treinamento resistido tradicional, não apresentou

melhorias significativas na força muscular (LASTAYO et al., 2003). Steiner et al. (2004) mostraram um aumento significativo de massa magra de membros inferiores (3%) após 8 semanas de treinamento de CEXC em pacientes com doença arterial coronariana. Eles também encontraram mudanças significativas no pico de torque isométrico (11%) e concêntrico (9-15%) após o treinamento de CEXC (STEINER et al., 2004). Em pacientes com doença de Parkinson, 12 semanas de treinamento de CEXC induziram aumentos significativos no volume muscular do quadríceps (6%) e na força isométrica de extensão do joelho (19-29%) (DIBBLE et al., 2006). Portanto, o CEXC parece oferecer estímulo tensional suficiente para melhorar cronicamente a força e massa muscular de populações clínicas e idosos, sem respostas cardiovasculares e hemodinâmicas exacerbadas ou níveis elevados de dispneia e fadiga (HOPPELER, 2016; ISNER-HOROBETI et al., 2013; LASTAYO et al., 2014).

Além de aumentar a força e a massa muscular dos membros inferiores, o treinamento de CEXC parece reduzir o conteúdo de gordura corporal total e/ou dos membros inferiores, bem como induzir melhorias em marcadores fisiológicos relacionados à saúde metabólica. Evidências robustas sustentam a prescrição do CEXC no tratamento da obesidade e dislipidemia, uma vez que o CEXC pode melhorar o metabolismo energético muscular e o perfil lipídico sanguíneo, além de reduzir a resistência à insulina (JULIAN et al., 2018, 2019; PASCHALIS et al., 2011). Foi demonstrado que 12 semanas de treinamento de CEXC [10-30 minutos por sessão a 20-70% do consumo pico de oxigênio (VO_{2pico}) CCON] diminuíram significativamente a resistência à insulina, enquanto o treinamento de CCON realizado com o mesmo VO_2 , não (JULIAN et al., 2018). Os autores sugerem que a melhora na sensibilidade à insulina após o treinamento de CEXC está associada ao aumento na taxa de oxidação de gordura e captação de glicose muscular (JULIAN et al., 2018).

Parece razoável supor que os impactos positivos do treinamento de CEXC no metabolismo de lipídios e glicose estão relacionados à melhora do conteúdo e/ou função mitocondrial. No entanto, resultados de estudos que avaliam os níveis de transcrição de proteínas que regulam adaptações e função mitocondriais não apoiam essa ideia (MACMILLAN et al., 2017; MUELLER et al., 2011; ZOLL et al., 2006). Por exemplo, Zoll et al. (2006) encontraram uma regulação negativa nos níveis de transcrição de enzimas que regulam a função mitocondrial (ciclooxigenase-1 e ciclooxigenase-4) após 8 semanas de treinamento CEXC em pacientes com doença arterial coronariana. Da mesma forma, Mueller et al. (2011) também encontraram que a codificação da transcrição de proteínas mitocondriais foi regulada negativamente após o CEXC, mas não após o treinamento de CCON. No entanto,

o conteúdo mitocondrial não foi alterado após o programa de treinamento em ambos os grupos. Mais recentemente, MacMillan et al. (2017) não encontraram nenhum impacto do treinamento de CEXC no principal fator de biogênese mitocondrial, o regulador do coativador gama 1-alfa ativado pelo proliferador de peroxissoma (PGC1- α), enquanto sua expressão aumentou após o treinamento de CCON. No entanto, neste estudo o treinamento de CEXC foi realizado com menor demanda metabólica do que o treinamento de CCON, o que pode ter influenciado os resultados obtidos (MACMILLAN et al., 2017).

Na verdade, exercícios excêntricos que induzem dano muscular têm sido associados a disfunções mitocondriais transitórias e/ou transporte de oxigênio prejudicado nos músculos (MAGALHÃES et al., 2009; MOLNAR et al., 2006). O acúmulo de cálcio induzido por distúrbios no retículo sarcoplasmático (CHEN et al., 2007) e o aumento da pressão intramuscular (FRIDÉN et al., 1986, 1988) são possíveis mecanismos que podem explicar as disfunções mitocondriais e de transporte de oxigênio. Por outro lado, algumas evidências indicam que o CEXC não prejudica a função oxidativa muscular (WALSH et al., 2001) e o treinamento de CEXC pode induzir adaptações que possivelmente contribuam para a capacidade oxidativa muscular (FRIDÉN et al., 1983; LASTAYO et al., 2000; MUELLER et al., 2009). Fridén et al. (1983), por exemplo, reportaram aumento da densidade do volume de mitocôndrias em fibras musculares do tipo I, IIA e IIB de indivíduos saudáveis após 8 semanas de treinamento de CEXC. Neste estudo, as sessões de treinamento de CEXC foram realizadas 2-3 vezes por semana até a “fadiga severa” em cargas de trabalho entre 100-300 W (FRIDÉN et al., 1983). LaStayo et al. (2000) mostraram aumento da razão capilar-fibra (47%) (determinada pela contagem do número de capilares e fibras) no grupo que realizou 8 semanas de treinamento de CEXC, enquanto nenhuma alteração foi encontrada no grupo que realizou o treinamento de CCON. Os autores sugerem que a proliferação de capilares parece estar diretamente relacionada à hipertrofia das fibras musculares observada após o treinamento de CEXC (aumento de 52% na área das fibras). Neste estudo, eles não encontraram mudanças na densidade capilar (número capilar por unidade de área) para nenhum dos grupos (LASTAYO et al., 2000). No estudo de Mueller et al. (2009) uma redução na relação das fibras tipo IIX/II foi encontrada após 12 semanas de treinamento de CEXC, enquanto o grupo que realizou apenas exercícios resistidos não apresentou alterações na constituição muscular.

Assim, o treinamento de CEXC pode induzir adaptações semelhantes às do treinamento aeróbio tradicional simultaneamente às adaptações de hipertrofia e força muscular, colocando a modalidade de CEXC entre o treinamento resistido e o treinamento aeróbio concêntrico

tradicional com relação às respostas adaptativas induzidas pelo exercício. Evidências recentes mostraram que o treinamento de CEXC induz diminuições significativamente maiores na massa gorda corporal (-10%) comparado ao treinamento de CCON realizado com o mesmo VO_2 (-4,2%) em adolescentes obesos (JULIAN et al., 2018). Neste estudo, a massa gorda dos membros inferiores foi reduzida apenas após o treinamento de CEXC (-6,5%) (JULIAN et al., 2018). Ademais, evidências suportam a adoção do treinamento de CEXC para melhorar a composição corporal e/ou reduzir a massa gorda, mesmo em indivíduos não obesos (MACMILLAN et al., 2017; MUELLER et al., 2009, 2011). Mueller et al. (2009) demonstraram que o treinamento de CEXC induziu maior redução no conteúdo de gordura corporal total e da coxa em comparação a um protocolo de treinamento resistido tradicional em idosos. Em outro estudo envolvendo participantes idosos, Muller et al. (2011) observaram uma redução de 3,1% e 5,4% na gordura corporal total e na coxa, respectivamente. Os idosos que realizaram o treinamento de CEXC também apresentaram redução no conteúdo de lipídio intramuscular por fibra muscular, que foi correlacionada com as mudanças no conteúdo de gordura corporal dos indivíduos (MUELLER et al. 2011). Ainda, pacientes com DPOC apresentaram reduções significantes no percentual de gordura corporal (-1,7%) após 10 semanas de treinamento de CEXC (sessões de 30 min; 3 vezes por semana), enquanto os pacientes que realizaram o treinamento de CCON neste estudo não apresentaram reduções no percentual de gordura corporal (MACMILLAN et al. 2017).

Estudos individuais também demonstram que o treinamento de CEXC pode melhorar o $\text{VO}_{2\text{pico}}$ e a potência máxima obtida no CCON, além de promover ganhos de força e massa magra (BOURBEAU et al., 2020; GREMEAUX et al., 2010; JULIAN et al., 2018; LEONG et al., 2014). Gremeaux et al. (2010) encontraram maiores aumentos no $\text{VO}_{2\text{pico}}$ (14,2% vs 4,6%) e PO_{pico} (30,8% vs 19,3%) alcançados durante um teste incremental de CCON em pacientes com doença arterial coronariana após cinco semanas de CEXC em comparação ao treinamento de CCON. Recentemente, Julian et al. (2018) mostraram melhorias semelhantes no $\text{VO}_{2\text{pico}}$ de adolescentes obesos após 12 semanas de treinamento de CCON (+ 10%) e de CEXC (+ 15%). Ainda mais recentemente, Bourbeau et al. (2020) encontraram aumentos significativos na PO_{pico} alcançada em um teste de CCON incremental após uma intervenção de 10 semanas de CEXC em pacientes com DPOC. Ao avaliar jovens saudáveis, Leong et al. (2014) observaram um aumento de 5-9% na potência máxima (PO_{max}) alcançada durante testes de CCON em um ciclo ergômetro de carga inercial (o teste consistiu em aceleração máxima por 8 revoluções do pedal) após 8 semanas de treinamento de CEXC (2 sessões por semana, cada uma com duração

de 5 a 10,5 minutos a 20-55% da PO_{max}). Em um estudo recente, Lipski et al. (2018b) investigaram as respostas fisiológicas agudas a uma sessão de CEXC intervalado de alta intensidade. Eles relataram que uma sessão de CEXC intervalada (10 x 1 min a 150% PO_{max} CCON com 1 minuto de descanso) induziu um VO_2 mais alto (durante toda a sessão e durante a fase ativa do protocolo), mas percepção de esforço semelhante em comparação com um protocolo de CEXC contínuo (20 minutos a 60% PO_{max} CCON). No entanto, não há estudos comparando os efeitos crônicos do treinamento de CEXC intervalado de alta intensidade e contínuo.

Aparentemente, o treinamento de CEXC pode melhorar a performance de indivíduos debilitados fisicamente em testes de capacidade funcional (BOURBEAU et al., 2020; DIBBLE et al., 2006; GREMEAUX et al., 2010). Na verdade, Dibble et al. (2006) encontraram aumento significativo (21%) da distância percorrida em TC6M após 12 semanas de treinamento de CEXC em pacientes com doença de Parkinson. Além disso, o treinamento de CEXC também melhorou o tempo para subir (-11%) e descer (-18%) um lance de escada o mais rápido possível (DIBBLE et al., 2006). Curiosamente, os pacientes que foram inscritos em uma intervenção de tratamento padrão (i.e., levantamento de peso, alongamento, caminhada em esteira e CCON) mostraram pequenas alterações no TC6M (5%) e subida de escada (1%) e não mostraram mudanças no tempo de descida de escada (DIBBLE et al., 2006). Além disso, no estudo de Gremeaux et al. (2010), pacientes com doença arterial coronariana se beneficiaram de um aumento significativo de ~12,5% na distância percorrida durante um TC6M após 15 sessões de treinamento de CEXC. Recentemente, Bourbeau et al. (2020) mostraram aumento da tolerância ao exercício de pacientes com DPOC durante um teste de carga constante de CCON realizado a 75% da PO_{pico} (155% de aumento no tempo até exaustão) e TC6M (6,8% de aumento na distância percorrida) após 10 semanas de CEXC realizado em uma intensidade alvo igual a quatro vezes a PO correspondente a 60-80% da PO_{pico} CCON.

4 MATERIAL E MÉTODO

O presente estudo foi conduzido em forma de revisão sistemática com meta-análise. A revisão sistemática da literatura foi elaborada com base em um protocolo registrado na plataforma *Open Science Framework* (<https://osf.io/sa6g3>) e redigida de acordo com as instruções PRISMA (APÊNDICE A) (MOHER et al., 2009). O modelo Bayesiano foi utilizado para realização da meta-análise dos dados extraídos dos estudos selecionados.

Até o momento, a maioria das meta-análises são conduzidas dentro de um modelo frequentista, no qual parâmetros como o tamanho do efeito agrupado (i.e., *pooled effect size*) são estimados e a incerteza é expressa por meio do intervalo de confiança de 95% (i.e., os valores que não seriam rejeitados por $p < 0,05$) (HIGGINS et al., 2019). No entanto, o intervalo de confiança não fornece informações distributivas, de forma que não permitem distinguir quais valores do intervalo são mais ou menos prováveis (BORENSTEIN et al., 2009). Em contraste, o modelo Bayesiano de meta-análise permite combinar crenças anteriores (i.e., distribuição *a priori*) sobre os efeitos mais plausíveis com os dados extraídos dos estudos para fornecer valores que podem ser interpretados diretamente como probabilidades (i.e., distribuição posterior). Deste modo, a interpretação dos resultados se torna mais simples e intuitiva. Ainda, perguntas mais aplicáveis ao contexto da prática clínica podem ser mais facilmente abordadas, como por exemplo, a probabilidade de os parâmetros de interesse (e.g., efeito do treinamento) excederem os limites relevantes (e.g., desfecho clinicamente relevante). Por fim, o modelo Bayesiano de meta-análise é considerado apropriado quando o número de estudos sobre determinado assunto é pequeno (BORENSTEIN et al., 2009).

4.1 Critérios de elegibilidade

Os critérios de elegibilidade dos estudos foram definidos a partir da estrutura PICO (acrônimo em que P representa população, I representa intervenção, C representa comparação ou controle e O, do inglês *outcome*, representa desfecho) (MOHER et al., 2009). Dessa forma, foram incluídos apenas estudos conduzidos em humanos (de ambos os sexos, de todas as idades, condições de saúde e níveis de aptidão física) que investigaram o efeito do treinamento de CEXC (com duração maior que 1 semana) e/ou que investigaram respostas fisiológicas agudas a sessões de CEXC (com duração mínima de cinco minutos). Ainda, foram incluídos apenas

estudos contendo um grupo ou sessão de CCON como controle e que avaliaram parâmetros fisiológicos durante as sessões de ciclismo e/ou antes e após um período de treinamento.

Os critérios de elegibilidade relacionados à população e ao desfecho dos estudos foram intencionalmente definidos para permitir a inclusão do maior número possível de estudos que tenham em seu delineamento uma sessão ou período de treinamento de CEXC e CCON. Dessa forma, foi possível avaliar a magnitude da diferença entre os efeitos agudos e crônicos do CEXC e CCON em diferentes populações (e.g., adultos saudáveis e pacientes com doenças crônicas) e sobre diferentes marcadores de estresse fisiológico (para os estudos que investigaram as respostas agudas) e de adaptação ao treinamento.

Adicionalmente aos critérios elaborados a partir da estrutura PICO, os artigos elegíveis deveriam ser referentes a estudos primários, revisados por pares e escritos em inglês. Estudos que investigaram respostas fisiológicas agudas ou crônicas ao CEXC realizado com apenas uma perna (i.e., unilateral) ou com os membros superiores foram excluídos na fase seleção.

4.2 Fontes de informação

As buscas foram realizadas nas bases de dados eletrônicas *PubMed*, *ScienceDirect* e *Embase* até o mês de fevereiro de 2021. A lista de referências dos artigos incluídos após filtragem dos títulos e resumos foi checada e os estudos relevantes encontrados foram incluídos na análise. Dados e informações relevantes dos artigos selecionados foram solicitados aos autores quando eles não foram claramente apresentados no estudo.

4.3 Estratégia de busca

A estratégia de busca nas bases de dados preconizou incluir todos os estudos possíveis sobre o tema “ciclismo excêntrico”. Cinco estudos relevantes conhecidos (i.e., “estudos sentinela”) foram usados no processo de desenvolvimento da estratégia de busca. Possíveis termos de busca foram identificados observando as palavras nos títulos e resumos desses artigos. Uma estratégia de pesquisa inicial foi desenvolvida usando esses termos, e então, outros termos de pesquisa adicionais foram identificados a partir dos resultados dessa estratégia. Os

termos de pesquisa também foram identificados e verificados usando a ferramenta de análise de frequência de palavras da base de dados *PubMed*.

A estratégia de busca foi testada por meio da identificação dos estudos sentinela no resultado das buscas preliminares e a partir da identificação de novos estudos relevantes obtidos através dos ajustes realizados na escolha dos termos de busca. Desta forma, foram realizadas buscas sistemáticas computadorizadas utilizando os seguintes termos: "eccentric", "eccentrically", "negative work", "cycling", "bicycle", "pedaling", "pedalling", "ergometer" e "ergometry" combinados através dos operadores booleanos apropriados. Nenhum recorte temporal foi adotado.

4.4 Seleção dos estudos

Consequente às buscas nas bases de dados eletrônicas, foi realizada a seleção dos artigos por meio do aplicativo Rayyan Qatar Computing Research Institute (Rayyan QCRI) (<https://www.rayyan.ai/>). Esta ferramenta permite a exportação dos resultados das buscas realizadas nas bases de dados, os quais são apresentados pelo título e resumo no programa. O Rayyan QCRI também permite o cegamento dos demais pesquisadores envolvidos na seleção dos estudos, aumentando a fidedignidade durante seleção e, consequentemente, a acurácia e precisão metodológica da revisão (OUZZANI et al. 2016). Todas as etapas da revisão sistemática foram realizadas por dois autores (Renan Vieira Barreto e Leonardo Coelho Rabello de Lima) de forma independente. As divergências encontradas foram resolvidas de forma cega por um terceiro autor (Benedito Sérgio Denadai).

A primeira e segunda fase de seleção foram realizadas, respectivamente, a partir da exclusão dos estudos duplicados e leitura dos títulos e resumos dos artigos. Posteriormente, os estudos selecionados foram lidos na íntegra e avaliados de acordo com os critérios de elegibilidade estabelecidos. Em seguida, as listas de referências dos artigos selecionados foram checadas. Durante a fase de extração dos dados (descrita no tópico a seguir), foram excluídos os estudos que investigaram respostas fisiológicas agudas e não conseguiram equalizar a intensidade das sessões de CEXC e CCON com uma mesma PO ou VO₂ e estudos que investigaram mudanças em variáveis (durante sessões de CEXC ou antes e após treinamento) que não foram avaliadas em outros estudos (no mínimo três estudos avaliando a mesma variável).

Todos os artigos selecionados para meta-análise tiveram sua qualidade metodológica avaliada por meio da escala *Physiotherapy Evidence-Based Database Scale* (PEDro) (ANEXO A). A escala PEDro é composta por 11 perguntas relacionadas ao rigor metodológico do estudo. Para cada critério cumprido, o estudo recebe 1 ponto; e quando o critério não é atingido, o estudo não pontua. Desta forma, quanto maior a pontuação do estudo (sendo 11 pontos a pontuação máxima), maior a qualidade (MAHER et al., 2003). A avaliação da qualidade metodológica dos estudos foi realizada por dois autores (Renan Vieira Barreto e Leonardo Coelho Rabello de Lima) de forma independente e as divergências encontradas foram resolvidas de forma cega por um terceiro autor (Benedito Sérgio Denadai).

4.5 Extração dos dados

Os dados de todos os artigos selecionados foram extraídos e organizados em tabelas utilizando o software Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA). Esta etapa foi conduzida de forma independente, pelos mesmos autores que realizaram a seleção dos estudos (Renan Vieira Barreto e Leonardo Coelho Rabello de Lima). As divergências encontradas foram resolvidas por um terceiro autor (Benedito Sérgio Denadai), também de forma independente. Foram extraídas de cada estudo informações relevantes da publicação (i.e., autor, ano, revista e identificador de objeto digital – DOI), características da amostra (i.e., número amostral, idade, estatura, massa corporal, VO_{2max} e condição de saúde), características da intervenção (i.e., intensidade, duração, cadência e tipo de sessão) e resultados (i.e., variável analisada, média e desvio padrão da variável coletada durante uma sessão e/ou antes e após um período de treinamento). Quando necessário, os dados foram extraídos dos gráficos dos estudos usando o site *WebPlotDigitizer* (<https://automeris.io/WebPlotDigitizer>).

4.6 Meta-análises

4.6.1 Variáveis selecionadas para análise das respostas fisiológicas agudas ao CEXC

Consequente à extração e tabulação dos dados dos estudos selecionados, foi possível identificar as variáveis fisiológicas que foram examinadas por pelo menos três artigos selecionados e, portanto, poderiam ser meta-analisadas. Para a avaliação das respostas

fisiológicas agudas ao CEXC comparado ao CCON realizado com a mesma PO, foram selecionadas variáveis de demanda cardiorrespiratória (i.e., VO_2 , VE e FC), metabólica (i.e., [La]) e psicofisiológica (i.e., PSE) do exercício. Para a avaliação das respostas fisiológicas agudas ao CEXC comparado ao CCON realizado com o mesmo VO_2 , foram selecionadas variáveis mecânicas (i.e., PO) e de resposta cardiovascular ao exercício [i.e., Q, FC, volume sistólico (VS) e pressão arterial média (PAM)].

4.6.2 Variáveis selecionadas para análise das respostas fisiológicas crônicas ao CEXC

A partir dos estudos longitudinais selecionados, foi possível avaliar os efeitos do treinamento de CEXC, comparado ao CCON, em variáveis de força muscular dos músculos extensores do joelho [i.e., pico de torque isométrico (PTI), pico de torque isocinético concêntrico (PTIC) e pico de torque isocinético excêntrico (PTIE)], área muscular [i.e., área de secção transversa de fibras musculares do músculo vasto lateral (AST-F)], capacidade máxima em teste de carga incremental CCON (i.e., FC_{pico} , PO_{pico} e $\text{VO}_{2\text{max}}$), capacidade funcional (i.e., distância percorrida em TC6M) e porcentagem de gordura corporal.

4.6.3 Tamanhos do efeito

Para avaliar as respostas fisiológicas agudas ao CEXC, foram realizadas meta-análises da diferença média em unidades de porcentagem entre a condição controle (média da variável fisiológica obtida durante uma sessão de CCON) e a condição experimental (média da variável fisiológica obtida durante uma sessão de CEXC). Portanto, um valor negativo do tamanho de efeito significa que a resposta da variável fisiológica analisada foi % maior no CEXC comparado ao CCON. Em estudos com mais de uma sessão de CEXC (i.e., estudos que avaliaram o efeito da sessão repetida), foram utilizados os dados da última sessão para comparação com a condição controle, uma vez que a maioria (68%) dos estudos que avaliam as respostas fisiológicas agudas ao CEXC inclui um período de familiarização (1-4 sessões) antes dos protocolos experimentais.

A avaliação das respostas crônicas ao treinamento de CEXC foi feita através da meta-análise do “efeito líquido” ou *net effect* entre as condições controle e experimental. Neste caso, o tamanho do efeito foi a diferença média em unidades percentuais entre a mudança observada na variável dependente na condição controle (diferença média entre os momentos pré- e pós-

treinamento de CCON) e a mudança observada na variável dependente na condição experimental (diferença média entre os momentos pré- e pós-treinamento de CEXC). Desta forma, um valor positivo do tamanho de efeito indica que o aumento na variável analisada foi % maior após o treinamento de CEXC comparado ao CCON (exceto na porcentagem de gordura corporal, onde o tamanho do efeito negativo indicou um efeito favorável para o treinamento de CEXC).

Para a determinação da precisão dos tamanhos de efeito, foram determinados os valores de erro padrão (EP), onde dentro do modelo meta-analítico o peso de cada estudo se deu pelo inverso do erro padrão ao quadrado ($1/EP^2$). Deste modo, os estudos com menor variabilidade nas respostas e/ou maior número de sujeitos, exerceram um maior peso sobre o resultado meta-analisado final. Para as respostas agudas, o erro padrão das diferenças entre CCON e CEXC foi determinado conforme a seguinte formula:

$$EP_{CCON-CEXC} = \frac{DP_{diferença\ CCON-CEXC}}{\sqrt{n}}$$

onde, $DP_{diferença\ CCON-CEXC}$ é o desvio padrão das diferenças entre as condições CCON e CEXC e n é o tamanho da amostra.

Para determinação do efeito líquido entre os treinamentos de CCON e CEXC, primeiro foi determinado o erro padrão da mudança pré para pós em cada grupo de treinamento e posteriormente combinados via variâncias, conforme a equação a seguir:

$$EP_{líquido} = \sqrt{\left(\frac{DP_{mudança\ pré-pós\ CCON}}{\sqrt{n_{CCON}}}\right)^2 + \left(\frac{DP_{mudança\ pré-pós\ CCEX}}{\sqrt{n_{CEXC}}}\right)^2}$$

onde, $DP_{mudança\ pré-pós\ CCON}$ e $DP_{mudança\ pré-pós\ CCEX}$ são os desvios padrão das mudanças nos grupos CCON e CEXC, respectivamente, e n_{CCON} e n_{CEXC} são os tamanhos da amostra nos grupos CCON e CEXC, respectivamente.

Ambos os erros padrão foram convertidos em unidades percentuais dividindo pela média do grupo/condição CCON e multiplicando por 100.

Para a determinação dos valores de EP, os desvios padrão das respostas entre as condições controle e experimental foram determinados usando os valores de p exatos via estatística t, valores de F ou os dados brutos. Quando não foi possível determinar o desvio padrão das respostas através das estatísticas inferenciais ou dados brutos, o desvio padrão da diferença/mudança foi imputado pelo coeficiente de correlação médio dos estudos em que essa determinação foi possível. Um coeficiente de correlação moderado ($r = 0,50$) foi adotado para

a imputação do desvio padrão da diferença/mudança quando nenhuma das alternativas descritas anteriormente foi possível.

4.6.4 Subgrupos e covariáveis

Para avaliar a influência das características das intervenções e dos participantes nas diferenças entre as respostas agudas e crônicas ao CEXC e CCON, foram usados modelos multiníveis, para que as estimativas dos grupos dentro de cada nível fossem determinadas. Quando possível, foram realizadas meta-regressões utilizando covariáveis provenientes das características dos sujeitos e dos estudos. A meta-regressão é considerada inviável quando o número de efeitos para uma determinada variável é menor que 10 (HIGGINS et al., 2019). Portanto, meta-regressões foram realizadas apenas para análise das seguintes variáveis:

- a. Diferença no VO_2 entre sessões de CEXC e CCON realizadas com a mesma PO (covariáveis: intensidade da sessão em unidades percentuais relativas ao VO_{2max} , duração da sessão em minutos e VO_{2max} dos participantes em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$);
- b. Diferença na FC entre sessões de CEXC e CCON realizadas com a mesma PO (covariáveis: intensidade da sessão em unidades percentuais relativas ao VO_{2max} , duração da sessão em minutos e VO_{2max} dos participantes em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$);
- c. Diferença na FC entre sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 (covariáveis: duração da sessão em minutos e VO_{2max} dos participantes em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$);
- d. Diferença no efeito do treinamento sobre o PTI entre CEXC e CCON (covariáveis: duração do treinamento em dias e VO_{2max} dos participantes em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$).

Nas variáveis onde não possível realizar as meta-regressões foram utilizadas análises multiníveis (modelos hierárquicos). Assim, para avaliar a influência das características da população na diferença entre as respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON foram realizadas análises com os seguintes grupos dentro do nível população: indivíduos saudáveis (i.e., participantes fisicamente ativos e sem qualquer comorbidade e/ou doença) e portadores de doença cardiorrespiratória (i.e., pacientes com DPOC e pacientes com insuficiência cardíaca). Para avaliar o impacto do sexo dos participantes na diferença entre as respostas agudas ao CEXC e CCON foram formados dois grupos dentro do nível sexo: “M” (estudos que recrutaram somente participantes do sexo masculino) e “M/F” (estudos que recrutaram participantes do

sexo masculino e feminino). Para avaliar a influência da duração da sessão na diferença entre as respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON foram utilizados dentro do nível duração os seguintes grupos: 5, 6, 15, 30 e 45 minutos. A influência da intensidade da sessão na diferença entre as respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON foram formados dois grupos dentro do nível intensidade: ~ 80 (i.e., aproximadamente 80% do VO_{2max}) e >95 (maior que 95% do VO_{2max}).

Os grupos formados dentro do nível população no efeito de treinamento entre CCON e CEXC foram: indivíduos saudáveis (i.e., fisicamente ativos e sem qualquer comorbidade e/ou doença), portadores de doença cardiorrespiratória (i.e., pacientes com DAC, DPOC e insuficiência cardíaca), adolescentes obesos, ciclistas amadores e indivíduos sedentários. Para verificar o impacto do sexo dos participantes no efeito líquido do treinamento de CEXC e CCON foram formados dois grupos dentro do nível sexo: “M” (i.e., estudos que recrutaram somente participantes do sexo masculino) e “M/F” (i.e., estudos que recrutaram participantes do sexo masculino e feminino). Para avaliar a influência da duração dos protocolos de treinamento na diferença entre os efeitos conferidos pelo treinamento de CEXC e CCON foram formados dois grupos dentro do nível duração: “ >2 meses” (i.e., estudos com protocolos de treinamento que duraram mais que 2 meses) e “1 a 2 meses” (i.e., estudos com protocolos de treinamento que duraram de 1 a 2 meses).

4.6.5 Modelos estatísticos

As análises foram realizadas usando métodos de inferência Bayesianos estabelecidos com modelos multiníveis/hierárquicos. Nas meta-análises (i.e., sem moderadores) o efeito fixo nos modelos foi o intercepto (estimativa da média populacional), além disso, a identidade (intercepto) de cada efeito foi definida como um efeito aleatório (i.e., meta-análise de efeitos aleatórios). Foram usados ainda efeitos aleatórios adicionais (níveis), descritos acima, para verificar o efeito médio nas características das intervenções e dos participantes nas respostas agudas e crônicas ao CEXC. Nas meta-regressões os efeitos fixos compreenderam o intercepto e os *slopes* (efeitos modificadores) das características dos sujeitos e dos estudos e os efeitos aleatórios compreenderam a identidade de cada efeito. A heterogeneidade foi apresentada a partir do valor de desvio padrão (tau - τ) entre os efeitos individuais (i.e., tamanhos dos efeitos observados em cada estudo) e entre os grupos dentro dos níveis. A análise estatística foi realizada no software estatístico R (v4.0; R Core Team [2020], Viena, Áustria) em sua interface

gráfica RStudio (v1.2.5). Foi utilizado para análise o pacote *brms* (BÜRKNER, 2017) que permitiu o ajuste de modelos Bayesianos multiníveis usando *Stan* (GELMAN et al., 2015).

Distribuições *a priori* t de Student pouco informativas ($df = 3$, $\mu = 0$ e $\sigma = 10$) foram usadas em todos os efeitos fixos dos modelos (médias populacionais). Para a estimativa da heterogeneidade dentro dos níveis com poucos grupos (e.g., 2-3 grupos), distribuições *a priori* metade normais (valores de tau são apenas positivos, >0) moderadamente informativas foram empregadas ($\mu = 0$ e $\sigma = 3-5$). Como as distribuições *a priori* nos efeitos fixos são pouco informativas, sua influência nos resultados obtidos pode ser considerada desprezível (GELMAN et al., 2008). Os ajustes dos modelos foram realizados usando métodos de Markov Chain Monte Carlo (MCMC), mais especificamente o modelo de amostragem No-U-Turn (NUTS) implementado em *Stan*. Para cada modelo, quatro cadeias foram executadas em paralelo com 4.000 interações e um aquecimento de 1.000 interações; a convergência foi verificada com o diagnóstico Gelman-Rubin (*Rhat*) (GELMAN e RUBIN, 1992).

Para lidar com as medidas repetidas nas meta-análises com estudos que reportaram mais de um efeito para o mesmo participante, foram calculadas matrizes de variância-covariância. Quando as informações fornecidas nos estudos foram insuficientes para a realização do cálculo da matriz, foi assumido um coeficiente de correlação moderado ($r = 0,50$) entre os efeitos derivados dos mesmos participantes. Ainda, análises de sensibilidade foram realizadas utilizando os valores de $r = 0,25$ e $0,75$ no cálculo das matrizes.

4.6.6 Transformações

Para a análise das respostas fisiológicas agudas a sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 , foi necessário transformar os valores de VO_2 (reportados em unidades de $ml \cdot min^{-1}$, $l \cdot min^{-1}$ e $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) obtidos durante as sessões para valores percentuais relativos ao VO_{2max} .

Para a análise do esforço percebido durante sessões de CEXC e CCON realizadas com a mesma PO, foi necessário converter os valores de PSE avaliados por meio de escalas diferentes (escalas de 0 a 10 pontos e 6 a 20 pontos) em uma escala comum (0 a 100 pontos).

Para a análise do efeito do treinamento de CEXC comparado ao CCON na porcentagem de gordura corporal, foi necessário transformar os dados de conteúdo de gordura corporal reportados em quilograma (JULIAN et al., 2018) para o valor percentual, relativo à massa corporal total.

4.6.7 Critérios de inferência

Todos os dados foram reportados como médias posteriores com intervalos de credibilidade de 95% bicaudais (IC). Ainda, considerando as distribuições posteriores completas, foram apresentadas as probabilidades (em %) do efeito ser menor ($P < 0$) ou maior ($P > 0$) que zero, ou seja, a área da distribuição posterior localizada acima ou abaixo de zero.

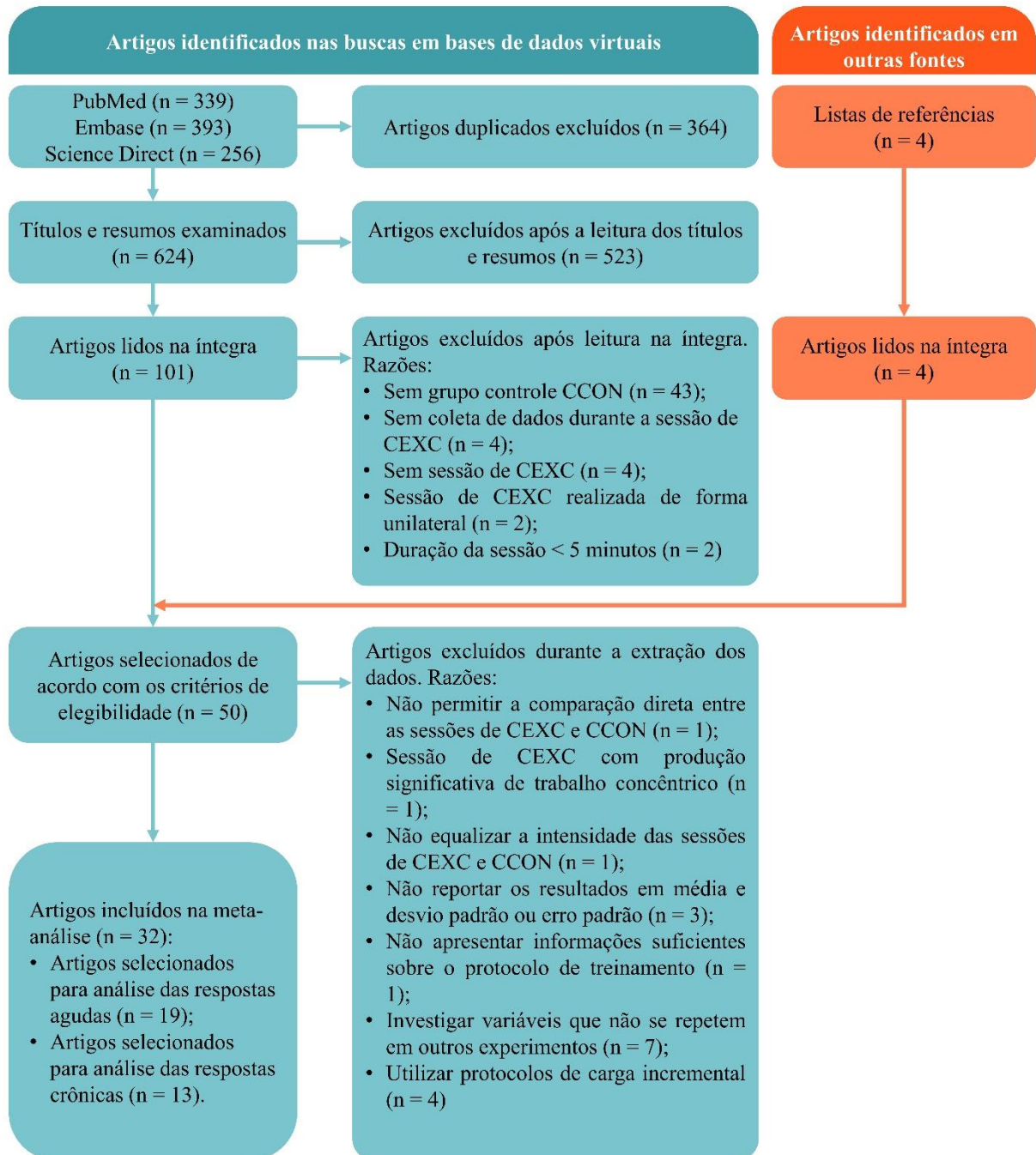
5 RESULTADOS

5.1 Seleção dos estudos

A Figura 1 apresenta o fluxograma de seleção dos estudos. As buscas nas bases de dados resultaram em um total de 988 títulos, incluindo estudos duplicados. Após a exclusão dos estudos duplicados ($n = 364$), 624 artigos tiveram seus títulos e resumos examinados, e um total de 101 artigos foi selecionado para a leitura na íntegra. Quatro estudos relevantes foram encontrados nas listas de referências checadas. Cinquenta artigos foram selecionados após terem sua elegibilidade confirmada pelos critérios estabelecidos. Dentre eles, 31 investigaram respostas fisiológicas agudas a sessões de CEXC e 19 avaliaram respostas crônicas ao treinamento de CEXC.

Durante a fase de extração dos dados, 12 estudos que investigaram as respostas agudas ao CEXC foram excluídos por: não permitir uma comparação direta entre a sessão de CEXC e CCON (BRUUNSGAARD et al., 1997); utilizar um protocolo de CEXC com uma produção de trabalho concêntrico significativa (FLÜCK et al., 2017); não equalizar a intensidade das sessões de CEXC e CCON (LAROCHE et al., 2013); não reportar os resultados em média e desvio padrão (ou erro padrão) (BIGLAND-RITCHIE & WOODS, 1976; PIMENTAL et al., 1982; WELLS et al., 1986); e investigar variáveis que não se repetiram em outros estudos (i. e., dispêndio energético e concentração sanguínea de norepinefrina) (PEÑAILILLO et al., 2014; RAKOBOWCHUK et al., 2017). Os estudos que empregaram protocolos de carga incremental foram excluídos nesta fase por utilizarem estágios com durações curtas e pelo efeito cumulativo dos estágios iniciais interferir nos resultados dos estágios subsequentes (DUFOUR et al., 2004; LECHAUVE et al., 2014; LIPSKI et al., 2018a; WARD et al., 2020). Por fim, 19 estudos foram incluídos na análise das respostas agudas ao CEXC.

Dentre os estudos que investigaram os efeitos crônicos do CEXC, seis foram excluídos durante a extração dos dados por não apresentarem informações suficientes sobre o protocolo de treinamento (GASSER et al., 2020) e investigarem variáveis que não se repetiram em outros estudos (i.e., qualidade de vida, densidade óssea, consumo de alimento, rigidez muscular, nível de transcrição de fatores envolvidos no processo adaptativo mitocondrial, potência de salto contra movimento e durante *sprints*) (ELMER et al., 2012; JULIAN et al., 2020a, 2020b; THIVEL et al., 2019; ZOLL et al., 2006). Desta forma, 13 estudos foram incluídos na meta-análise das respostas crônicas ao CEXC.

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos estudos.

Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: CEXC: ciclismo excêntrico; CCON: ciclismo concêntrico.

5.2 Características dos estudos

5.2.1 Estudos que investigaram as respostas agudas ao CEXC

A Tabela 1 resume as principais características dos estudos que investigaram as respostas agudas a sessões de CEXC. Um total de 16 estudos (84%) recrutou indivíduos

saudáveis e três estudos (16%) recrutaram indivíduos com doenças cardiorrespiratórias. Dentre os estudos que avaliaram indivíduos saudáveis, um estudo classificou os participantes como indivíduos treinados em exercício aeróbio (EIKEN et al., 2020). Entre os estudos que avaliaram indivíduos com doenças cardiorrespiratórias, dois recrutaram pacientes com DPOC (NICKEL et al., 2020; ROOYACKERS et al., 1997) e um estudo recrutou pacientes com insuficiência cardíaca (CHASLAND et al., 2017).

Todos os artigos selecionados para a análise das respostas agudas ao CEXC utilizaram sessões contínuas de carga constante. A duração das sessões variou de 5 a 45 minutos (Moda = 30 minutos). A maioria dos estudos (58%) investigou as respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados em uma mesma PO, 21% dos estudos reportou resultados de sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 e 21% dos estudos realizou as duas comparações (i.e., CCON realizado ora com a mesma PO e ora com o mesmo VO_2 que o CEXC).

5.2.2 Estudos que investigaram as adaptações crônicas ao treinamento de CEXC

A Tabela 2 sumariza as principais características dos estudos que investigaram os efeitos crônicos ao treinamento de CEXC. A maioria (54%) dos artigos selecionados recrutou pacientes com doenças cardiorrespiratórias. Especificamente, três artigos reportaram dados coletados em pacientes com DAC (GREMEAUX et al., 2010; MEYER et al., 2003; STEINER et al., 2004), dois artigos apresentaram dados de pacientes com insuficiência cardíaca (BESSON et al., 2013; CASILLAS et al., 2016) e dois artigos reportaram dados de pacientes com DPOC (BOURBEAU et al., 2020; MACMILLAN et al., 2017). Dentre os demais estudos, dois investigaram os efeitos do treinamento de CEXC e CCON em indivíduos saudáveis (LASTAYO et al., 2000, 1999), dois estudos recrutaram participantes sedentários (HUANG et al., 2021; LEWIS et al., 2018), um estudo avaliou ciclistas amadores (PAULSEN et al., 2019) e um estudo avaliou adolescentes obesos (JULIAN et al., 2018). Todos os estudos selecionados foram conduzidos em forma de ensaio clínico controlado randomizado, exceto um (LEWIS et al., 2018), que adotou o delineamento *quasi-randomizado*, onde os participantes foram alocados nos grupos de acordo com a capacidade máxima de produção de força isométrica dos músculos extensores do joelho.

O período de treinamento adotado nos estudos variou de 5 a 12 semanas (Moda = 8 semanas), com frequências semanais entre 2 e 5 sessões por semana (Moda = 3 sessões por semana). A duração das sessões de treinamento dos estudos selecionados variou entre 10 e 30

minutos (Moda = 30 minutos). Com exceção de um estudo (PAULSEN et al., 2019), que utilizou sessões de treinamento intervalado, todos os demais utilizaram sessões de intensidade constante, realizadas de forma contínua (i.e., sem intervalos).

A intensidade das sessões de treinamento de CEXC e CCON dos estudos selecionados foi prescrita através da PSE, FC correspondente ao LV, percentual da PO_{pico} encontrada em teste CCON de carga incremental, percentual do VO_{2pico} encontrado em teste CCON de carga incremental, percentual da FC_{pico} encontrada em teste CCON de carga incremental e percentual da FC_{pico} estimada pela idade. Em 15% dos estudos selecionados, a intensidade das sessões foi definida para que os participantes dos dois grupos (i.e., CEXC e CCON) se exercitassem em uma mesma PO (HUANG et al., 2021; LEWIS et al., 2018); em 23% dos estudos a intensidade do treinamento foi escolhida para que o VO_2 durante as sessões de CEXC e CCON fossem semelhantes (JULIAN et al., 2018; LASTAYO et al., 1999; STEINER et al., 2004); e 39% dos estudos definiu os protocolos de treinamento para que ambos os grupos se exercitassem em uma mesma FC relativa (BOURBEAU et al., 2020; GREMEAUX et al., 2010; LASTAYO et al., 2000; MACMILLAN et al., 2017; MEYER et al., 2003). Apenas um estudo (8%) equalizou a intensidade do treinamento de CEXC e CCON com a mesma PSE (PAULSEN et al., 2019) e dois artigos (15%) realizaram a prescrição dos protocolos de treinamento baseada em valores de PSE e FC seguros para população investigada, sem estabelecer critérios de equalização entre os grupos (BESSON et al., 2013; CASILLAS et al., 2016).

Tabela 1 – Características dos estudos selecionados para a análise das respostas agudas ao CEXC.

Artigo	Participantes		Intervenção			Variáveis fisiológicas coletadas
			Tipo da sessão	Duração	Intensidade (CEXC / CCON)	
Chasland et al. (2017)	Pacientes com insuficiência cardíaca	(n = 11)	Carga constante	5 min	70% PO _{pico} / Mesma PO	VO ₂ , VE, QR, FC, PAM e [La]
Dufour et al. (2006)	Indivíduos saudáveis	(n = 11)	Carga constante	6 min	270 W / Mesma PO e mesmo VO ₂	VO ₂ , FC, VS, Q, PAS, PAD, PAM, [La], [epinefrina], [norepinefrina] e EMG
Eiken et al. (2021)	Indivíduos treinados	(n = 8)	Carga constante	~20 min	60% PO _{pico} / Mesmo VO ₂	VO ₂ , FC, PSE e temperatura corporal
González-Bartholin et al. (2019)	Indivíduos saudáveis	(n = 10)	Carga constante	30 min	50% PO _{pico} / Mesma PO	VO ₂ , FC e PSE
Hesser et al. (1977)	Indivíduos saudáveis	(n = 7)	Carga constante	6 min	16, 33, 49, 98 e 147 W / Mesma PO	VO ₂ , VCO ₂ , VE, FR, VC, QR e FC
Isacco et al. (2016)	Indivíduos saudáveis	(n = 12)	Carga constante	45 min	35% VO _{2max} / Mesmo VO ₂	VO ₂ , QR, FC e dispêndio energético
Kan et al. (2019)	Indivíduos saudáveis	(n = 30)	Carga constante	20 min	20% PO _{pico} avaliada por 10 revoluções concêntricas máximas a 60 rpm / Mesma PO	FC, oxigenação do córtex pré-frontal e variáveis de demanda cognitiva

Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: CEXC: ciclismo excêntrico; CCON: ciclismo concêntrico; EMG: eletromiografia; FC: frequência cardíaca; FR: frequência respiratória; La: lactato; PAD: pressão arterial diastólica; PAM: pressão arterial média; PAS: pressão arterial sistólica; PO: potência absoluta; PO_{pico}: potência pico; PSE: percepção subjetiva de esforço; Q: débito cardíaco; QR: quociente respiratório; VC: volume corrente; VCO₂: volume de dióxido de carbono; VE: ventilação pulmonar; VO₂: consumo de oxigênio; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio; VS: volume sistólico.

Tabela 1 – Continuação.

Artigo	Participantes		Intervenção			Variáveis fisiológicas coletadas
			Tipo da sessão	Duração	Intensidade (CEXC / CCON)	
Kuipers et al. (1985)	Indivíduos saudáveis	(n = 6)	Carga constante	30 min	80% VO _{2max} / Mesma PO	VO ₂ , FC e [La]
Nickel et al. (2020)	Pacientes com DPOC	(n = 10)	Carga constante	30 min	50% PO _{pico} / Mesma PO	VO ₂ , VCO ₂ , VE, FR, SpO ₂ , FC, PAS, PAD, PAM, PSE e dispneia
Okamoto et al. (2018)	Indivíduos saudáveis	(n = 15)	Carga constante	30 min	60% PO _{pico} / Mesma PO e mesmo VO ₂	VO ₂ , FC, PAS e PAD
Peñailillo et al. (2013)	Indivíduos saudáveis	(n = 10)	Carga constante	30 min	60% PO _{pico} / Mesma PO	VO ₂ , FC, [La], PSE e EMG
Peñailillo et al. (2017a)	Indivíduos saudáveis	(n = 11)	Carga constante	10 min	65% PO _{pico} / Mesma PO	VO ₂ , FC, oxigenação e hemodinâmica muscular, comportamento de fascículos do m. vasto lateral e EMG
Peñailillo et al. (2017b)	Indivíduos saudáveis	(n = 10)	Carga constante	5 min	30-80% PO _{pico} / Mesma PO	VO ₂ , FC e PSE
Perrey et al. (2001)	Indivíduos saudáveis	(n = 6)	Carga constante	6 min	Mesma PO requerida para atingir o VO ₂ correspondente a 70% ΔLV-VO _{2max} durante o CCON / Mesma PO e mesmo VO ₂	VO ₂ , FC, PSE e EMG

Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: CEXC: ciclismo excêntrico; CCON: ciclismo concêntrico; DPOC: doença pulmonar obstrutiva crônica; EMG: eletromiografia; FC: frequência cardíaca; FR: frequência respiratória; La: lactato; LV: limiar ventilatório; PAD: pressão arterial diastólica; PAM: pressão arterial média; PAS: pressão arterial sistólica; PO: potência absoluta; PO_{pico}: potência pico; PSE: percepção subjetiva de esforço; SpO₂: saturação arterial de oxigênio; VCO₂: volume de dióxido de carbono; VE: ventilação pulmonar; VO₂: consumo de oxigênio; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio.

Tabela 1 – Continuação.

Artigo	Participantes		Intervenção			Variáveis fisiológicas coletadas
			Tipo da sessão	Duração	Intensidade (CEXC / CCON)	
Plante & Houston (1984)	Indivíduos saudáveis	(n = 8)	Carga constante	15 min	70% PO _{pico} / Mesma PO	VO ₂ e FC
Rakobowchuk et al. (2018)	Indivíduos saudáveis	(n = 12)	Carga constante	45 min	54% FC _{pico} / 54% FC _{pico}	VO ₂ , FC, VS, PAS, PAD, PAM, [La] e oxigenação muscular
Ritter et al. (2019)	Indivíduos saudáveis	(n = 10)	Carga constante	45 min	50% FC _{pico} / 50% FC _{pico}	VO ₂ , VE, FR, VC, FC, VS, Q, PAS, PAD, PAM e [norepinefrina]
Rooyackers et al. (1997)	Pacientes com DPOC	(n = 12)	Carga constante	6 min	50% PO _{pico} / Mesma PO	VO ₂ , VCO ₂ , VE, FC e [K ⁺] arterial
Walsh et al. (2019)	Indivíduos saudáveis	(n = 13)	Carga constante	30 min	PSE 10-12 / PSE 10-12	FC e PSE

Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: CEXC: ciclismo excêntrico; CCON: ciclismo concêntrico; DPOC: doença pulmonar obstrutiva crônica; FC: frequência cardíaca; FC_{pico}: frequência cardíaca pico; FR: frequência respiratória; La: lactato; PAD: pressão arterial diastólica; PAM: pressão arterial média; PAS: pressão arterial sistólica; PO: potência absoluta; PO_{pico}: potência pico; PSE: percepção subjetiva de esforço; Q: débito cardíaco; VC: volume corrente; VCO₂: volume de dióxido de carbono; VE: ventilação pulmonar; VO₂: consumo de oxigênio; VS: volume sistólico.

Tabela 2 – Características dos estudos selecionados para a análise dos efeitos crônicos do treinamento de CEXC.

Artigo	Participantes		Intervenção				Desfechos avaliados
			Período de treinamento	Frequência semanal	Duração	Intensidade (CEXC / CCON)	
Besson et al. (2013)	Pacientes com insuficiência cardíaca	(n = 30)	7 semanas	3 sessões	25 min	PSE entre 9-11 na escala de Borg / FC correspondente ao LV	Distância percorrida no TC6M com medidas de FC e VO ₂ durante o teste
Bourbeau et al. (2020)	Pacientes com DPOC	(n = 24)	10 semanas	3 sessões	30 min	4x 60-80% PO _{pico} / 60-80% PO _{pico}	PTI, PTIC, PTIE, PPE dos m. extensores do joelho, PO _{pico} , tempo de tolerância a sessão de CCON a 75% PO _{pico} e distância percorrida em TC6M
Casillas et al. (2016)	Pacientes com insuficiência cardíaca	(n = 42)	7 semanas	3 sessões	25 min	PSE entre 9-11 na escala de Borg / FC correspondente ao LV	PTI dos m. extensores do joelho e flexores plantar, PO _{pico} , VO _{2pico} , FC _{max} , LV e distância percorrida em TC6M
Gremeaux et al. (2010)	Pacientes com DAC	(n = 14)	5 semanas	3 sessões	30 min	FC correspondente ao LV / FC correspondente ao LV	PTI dos m. extensores do joelho e flexores plantar, PO _{pico} , VO _{2pico} , distância percorrida em TC6M e tempo em teste de caminhada de 200 m
Huang et al. (2021)	Indivíduos sedentários	(n = 24)	6 semanas	5 sessões	30 min	45-70% PO _{pico} / 45-70% PO _{pico}	PO _{max} , VO _{2max} , características metabólicas e capacidade de liberação de O ₂ de eritrócitos

Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: CEXC: ciclismo excêntrico; CCON: ciclismo concêntrico; DAC: doença arterial coronariana; DPOC: doença pulmonar obstrutiva crônica; FC: frequência cardíaca; FC_{max}: frequência cardíaca máxima; LV: limiar ventilatório; PO_{pico}: potência pico; PO_{max}: potência máxima; PPE: pico de potência excêntrica; PSE: percepção subjetiva de esforço; PTI: pico de torque isométrico; PTIC: pico de torque isocinético concêntrico; PTIE: pico de torque isocinético excêntrico; TC6M: teste de caminhada de 6 minutos; VO₂: consumo de oxigênio; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio; VO_{2pico}: consumo pico de oxigênio.

Tabela 2 – Continuação.

Artigo	Participantes		Intervenção				Desfechos avaliados
			Período de treinamento	Frequência semanal	Duração	Intensidade (CEXC / CCON)	
Julian et al. (2018)	Adolescentes obesos	(n = 23)	12 semanas	3 sessões	30 min	20-70% $\text{VO}_{2\text{pico}}$ / 20-70% $\text{VO}_{2\text{pico}}$	PTI, PTIC, PTIE dos m. extensores do joelho, PO_{pico} , $\text{VO}_{2\text{pico}}$, composição corporal, glicemia, insulinemia e níveis plasmáticos de colesterol e triglicérides
LaStayo et al. (1999)	Indivíduos saudáveis fisicamente ativos	(n = 9)	6 semanas	2-5 sessões	10-30 min	100-300W durante as 3 primeiras semanas e então a PO era ajustada para atingir o VO_2 de 1 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ / 50-100W durante as 3 primeiras semanas e então a PO era ajustada para atingir o VO_2 de 1 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	PTI dos m. extensores do joelho
LaStayo et al. (2000)	Indivíduos saudáveis fisicamente ativos	(n = 13)	8 semanas	2-5 sessões	15-30 min	54-65% FC_{pico} predita pela idade	PTI dos m. extensores do joelho, $\text{VO}_{2\text{pico}}$, FC_{pico} , AST-F e características ultraestruturais da fibra muscular, razão e densidade fibra-capilar
Lewis et al. (2018)	Indivíduos sedentários	(n = 17)	8 semanas	2 sessões	20 min	60% PO_{pico} / 60% PO_{pico}	PTI dos m. extensores do joelho, 6 repetições máximas no <i>leg press</i> , PO_{pico} , $\text{VO}_{2\text{pico}}$, FC_{pico} e pressão arterial

Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: AST-F: área de secção transversa da fibra muscular; CEXC: ciclismo excêntrico; CCON: ciclismo concêntrico; FC_{pico} : frequência cardíaca pico; PO: potência absoluta; PO_{pico} : potência pico; PTI: pico de torque isométrico; PTIC: pico de torque isocinético concêntrico; PTIE: pico de torque isocinético excêntrico; VO_2 : consumo de oxigênio; $\text{VO}_{2\text{pico}}$: consumo pico de oxigênio.

Tabela 2 – Continuação.

Artigo	Participantes		Intervenção				Desfechos avaliados
			Período de treinamento	Frequência semanal	Duração	Intensidade (CEXC / CCON)	
MacMillan et al. (2017)	Pacientes com DPOC	(n = 15)	10 semanas	3 sessões	30 min	4x 60-80% PO _{pico} / 60-80% PO _{pico}	PTI dos m. extensores do joelho, PO _{pico} , composição corporal, AST-F e fatores de adaptação e função mitocondrial
Meyer et al. (2003)	Pacientes com DAC	(n = 13)	8 semanas	3 sessões	30 min	60% VO _{2pico} e/ou 85% FC _{pico} / 60% VO _{2pico} e/ou 85% FC _{pico}	PO _{pico} , VO _{2pico} e características hemodinâmicas centrais durante sessões de CEXC e CCON
Paulsen et al. (2019)	Ciclistas amadores	(n = 23)	10 semanas	2 sessões	5-8 x 2 min	PSE entre 12-17 na escala de Borg / PSE entre 12-17 na escala de Borg	PTI, PTIC, PTIE dos m. extensores do joelho, espessura muscular, PO _{pico} , VO _{2max} , LL, teste CCON contra-relógio de 20 min, testes de Wingate CCON e características da pedalada
Steiner et al. (2004)	Pacientes com DAC	(n = 12)	8 semanas	3 sessões	30 min	60% VO _{2pico} / 60% VO _{2pico}	PTI, PTIC, PTIE dos m. extensores do joelho, composição corporal e AST-F

Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: AST-F: área de secção transversa da fibra muscular; CEXC: ciclismo excêntrico; CCON: ciclismo concêntrico; DAC: doença arterial coronariana; DPOC: doença pulmonar obstrutiva crônica; FC_{pico}: frequência cardíaca pico; LL: limiar de lactato; PO_{pico}: potência pico; PSE: percepção subjetiva de esforço; PTI: pico de torque isométrico; PTIC: pico de torque isocinético concêntrico; PTIE: pico de torque isocinético excêntrico; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio; VO_{2pico}: consumo pico de oxigênio.

5.3 Risco de viés e qualidade metodológica

Os artigos selecionados para a análise das respostas agudas a sessões de CEXC receberam pontuações na escala PEDro que variaram entre 5 e 7 pontos (Moda = 5 pontos; Média = 5,74) (Tabela 3). Devido à natureza das intervenções, o cegamento dos participantes e pesquisadores responsáveis pela prescrição do exercício é considerada inviável. Portanto, nenhum dos estudos que investigaram as respostas agudas ao CEXC recebeu pontos nos critérios 5, 6 e 7 da escala. Ainda, pelo fato de o trabalho muscular excêntrico frequentemente induzir dano muscular e, portanto, comprometer a integridade musculoesquelética nos dias subsequentes, a ordem das sessões de CON e CEXC não foi randomizada em grande parte dos estudos selecionados (47%). Assim, as principais fontes de viés foram a falta de cegamento de participantes e avaliadores, randomização da ordem das sessões, alocação oculta e descrição dos critérios de elegibilidade dos participantes (critérios 1, 2 e 3).

Tabela 3 – Pontuação na escala PEDro dos artigos incluídos na análise das respostas fisiológicas agudas ao CEXC.

Artigo	Escala PEDro											Pontuação total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Chasland et al. (2017)	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Dufour et al. (2006)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Eiken et al. (2021)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
González-Bartholin et al. (2019)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Hesser et al. (1977)	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	5
Isacco et al. (2016)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Kan et al. (2019)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Kuipers et al. (1985)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Nickel et al. (2020)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Okamoto et al. (2018)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Peñailillo et al. (2013)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Peñailillo et al. (2017a)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Peñailillo et al. (2017b)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Perrey et al. (2001)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Plante & Houston (1984)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Rakobowchuk et al. (2018)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Ritter et al. (2019)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Rooyackers et al. (1997)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Walsh et al. (2019)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6

Fonte: elaborada pelo autor.

A pontuação na escala PEDro dos artigos selecionados para a análise das adaptações crônicas ao treinamento de CEXC (Tabela 4) variou de 4 a 9 pontos (Moda = 6 pontos; Média = 6,77). De forma semelhante aos estudos que investigaram as respostas agudas ao CEXC, nenhum estudo que investigou o efeito do treinamento de CEXC recebeu pontos nos critérios 5 e 6 da escala. No entanto, cinco estudos fizeram o cegamento dos avaliadores e pontuaram no critério 7 (BOURBEAU et al., 2020; CASILLAS et al., 2016; GREMEAUX et al., 2010; JULIAN et al., 2018; MACMILLAN et al., 2017). As principais fontes de viés foram a falta de cegamento dos avaliadores, alocação oculta e descrição dos critérios de elegibilidade dos participantes (critérios 1, 3 e 7).

Tabela 4 – Pontuação na escala PEDro dos artigos incluídos na análise dos efeitos do treinamento de CEXC.

Artigo	Escala PEDro											Pontuação total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Besson et al. (2013)	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	6
Bourbeau et al. (2020)	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	9
Casillas et al. (2016)	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	8
Gremeaux et al. (2010)	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	8
Huang et al. (2021)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Julian et al. (2018)	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	8
LaStayo et al. (1999)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
LaStayo et al. (2000)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Lewis et al. (2018)	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	4
MacMillan et al. (2017)	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	7
Meyer et al. (2003)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Paulsen et al. (2019)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Steiner et al. (2004)	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6

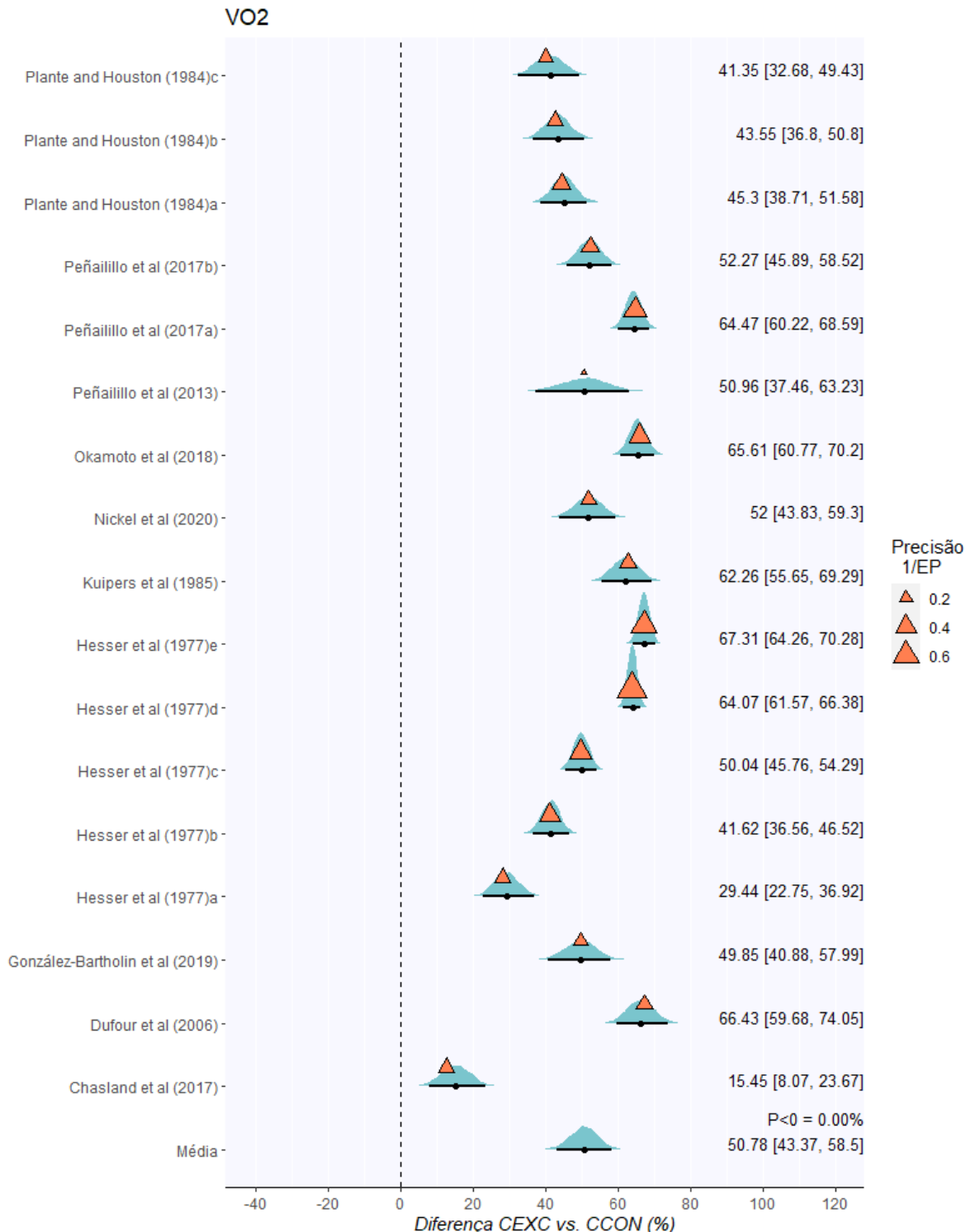
Fonte: elaborada pelo autor.

5.4 Meta-análise das respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com a mesma potência absoluta

5.4.1 Consumo de oxigênio

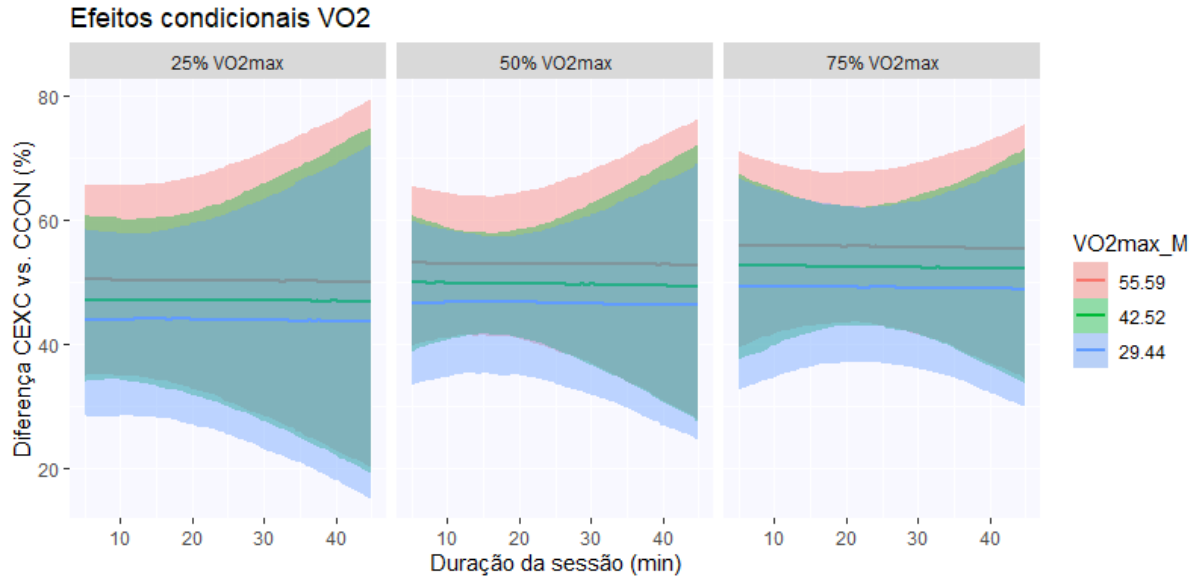
Onze dos 19 estudos selecionados para análise das respostas agudas avaliaram o VO_2 durante sessões de CEXC e CCON realizadas com a mesma PO (n participantes = 109). O efeito médio populacional meta-analisado indica um VO_2 50,78% maior [IC 95%: 43,37%, 58,50%] ($\tau = 14,80\%$ [IC 95%: 10,60%, 22,10%]) em sessões de CCON comparado com sessões de CEXC realizadas com a mesma PO (Figura 2). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indica uma probabilidade de 0,00% do VO_2 ser maior durante o CEXC comparado ao CCON. Os efeitos posteriores condicionais, considerando a intensidade e duração das sessões e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ dos participantes como covariáveis na diferença de VO_2 entre o CEXC e CCON, foram apresentados na Figura 3. Os efeitos modificadores derivados da meta-regressão e a heterogeneidade entre os efeitos foram apresentados na Figura 4. Os resultados da meta-regressão revelam que a diferença no VO_2 entre o CEXC e CCON realizados com a mesma PO, foi maior em intensidades mais altas e em indivíduos com maior $\text{VO}_{2\text{max}}$, mas não foi influenciada pela duração da sessão. Especificamente, a cada incremento de $10 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ no $\text{VO}_{2\text{max}}$ dos participantes a diferença percentual no VO_2 entre CEXC e CCON aumenta 2,44% [IC 95%: -3,13%, 8,12%] (Figura 4 A); a cada incremento na potência equivalente a 10% do $\text{VO}_{2\text{max}}$ na intensidade da sessão, a diferença entre CEXC e CCON aumenta 1,09% [IC 95%: -2,50%, 4,57%] (Figura 4 B); e a cada incremento de 10 minutos na duração da sessão, a diferença entre CEXC e CCON diminui 0,09% ($\mu = -0,09\%$ [-7,03%, 6,66%]) (Figura 4 C). A heterogeneidade (τ) entre os tamanhos de efeito da meta-regressão foi de 15,11% [IC 95%: 9,39%, 21,51%] (Figura 4 D).

Figura 2 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o consumo de oxigênio durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta.



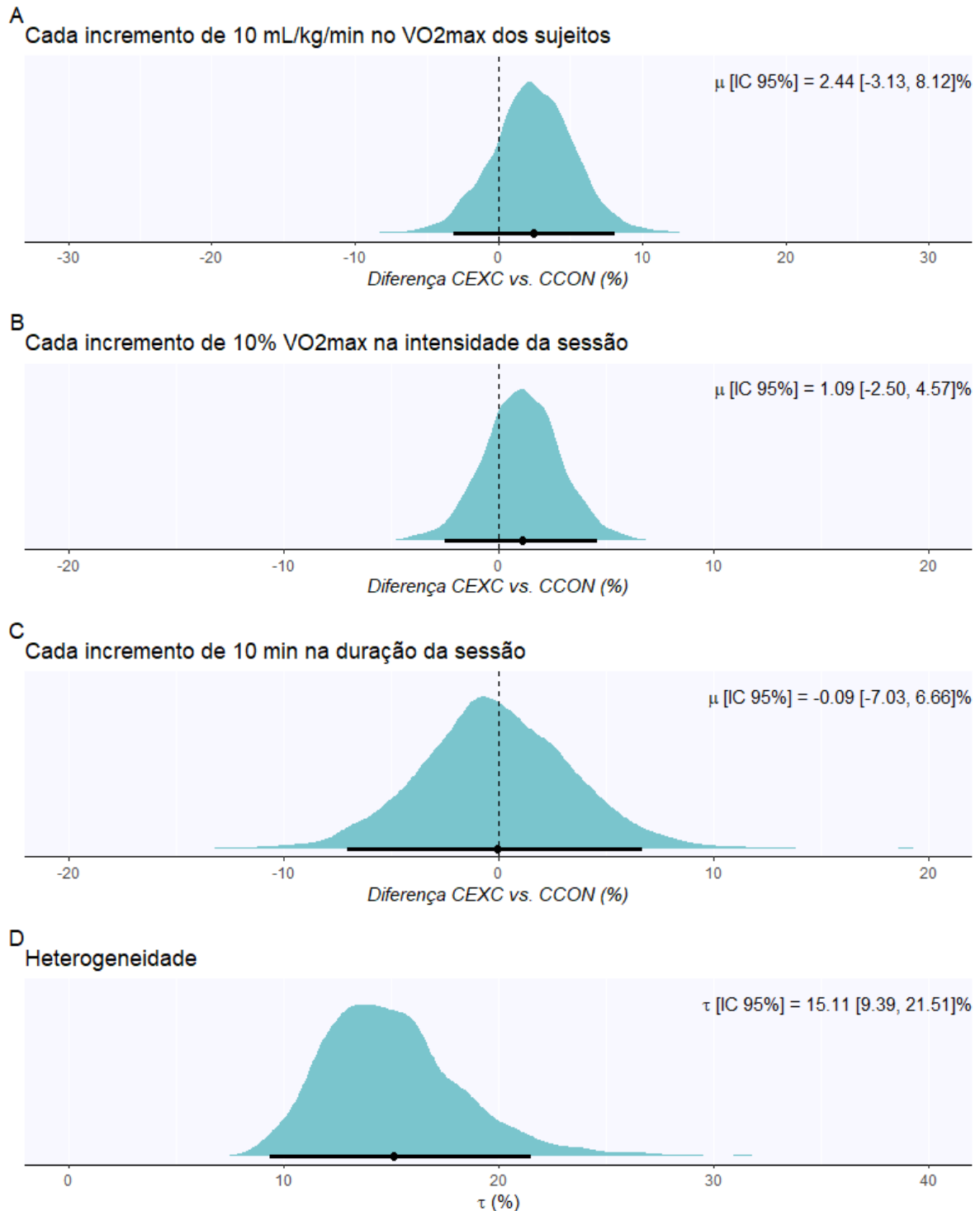
Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / EP$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; VO₂: consumo de oxigênio.

Figura 3 – Médias posteriores e intervalos de credibilidade dos efeitos condicionais na diferença percentual entre o consumo de oxigênio em sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta, ajustadas pelas covariáveis intensidade das sessões em % do VO_{2max} (25%, 50% e 75%) durante as sessões concêntricas, pelo VO_{2max} dos participantes (média ± 1 DP dos sujeitos nos estudos incluídos) e pela duração das sessões.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; VO_2 : consumo de oxigênio; VO_{2max} : consumo máximo de oxigênio.

Figura 4 – Distribuição posterior dos efeitos modificadores (i.e., β coeficientes) derivados da meta-regressão da diferença percentual entre o consumo de oxigênio em sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizados com a mesma potência absoluta.

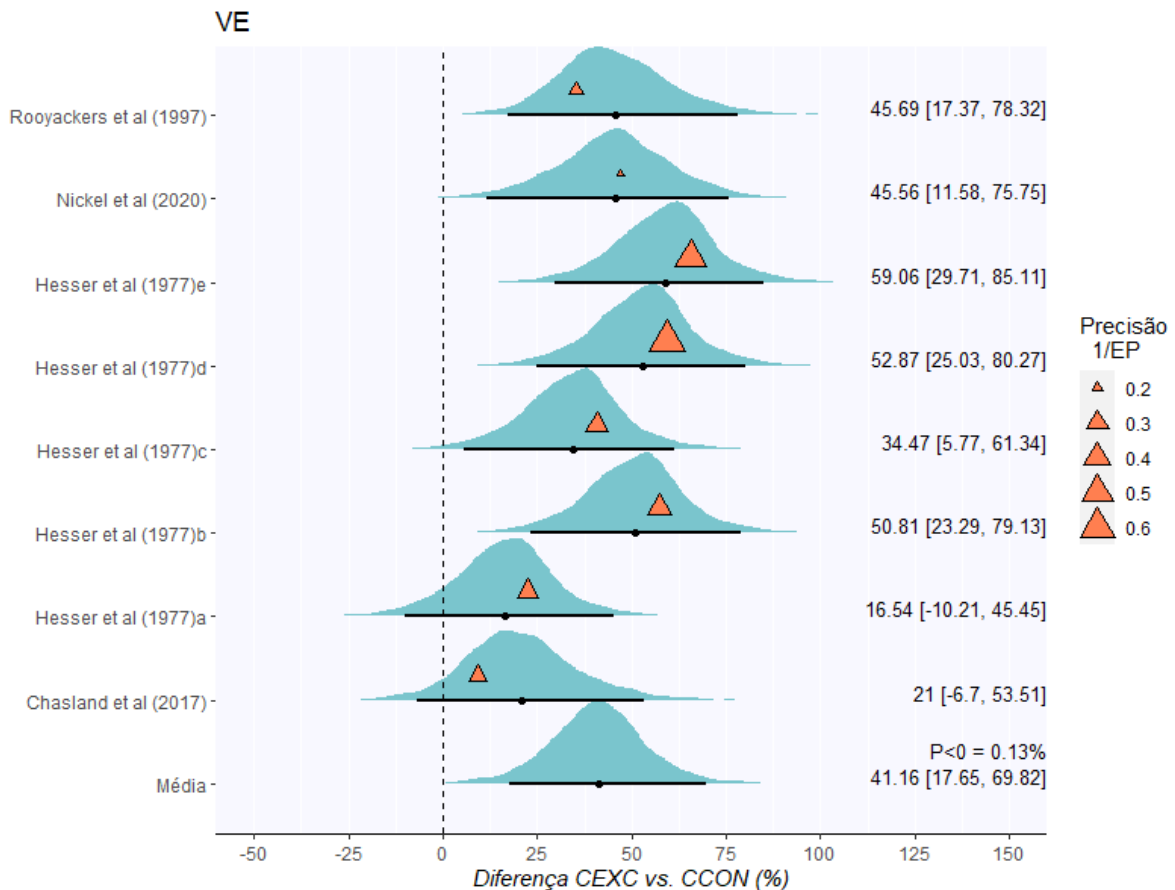


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; IC: intervalo de credibilidade; VO₂max: consumo máximo de oxigênio; μ : média; τ : tau.

5.4.2 Ventilação pulmonar

Quatro estudos selecionados avaliaram a VE durante sessões de CEXC e CCON realizadas com a mesma PO (n participantes = 40). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado mostrou uma VE 41,16% [IC 95%: 17,65%; 69,82%] maior em sessões de CCON comparado com sessões de CEXC realizadas com a mesma PO (Figura 5). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado mostrou uma probabilidade de 0.13% da VE ser maior durante o CEXC comparado ao CCON.

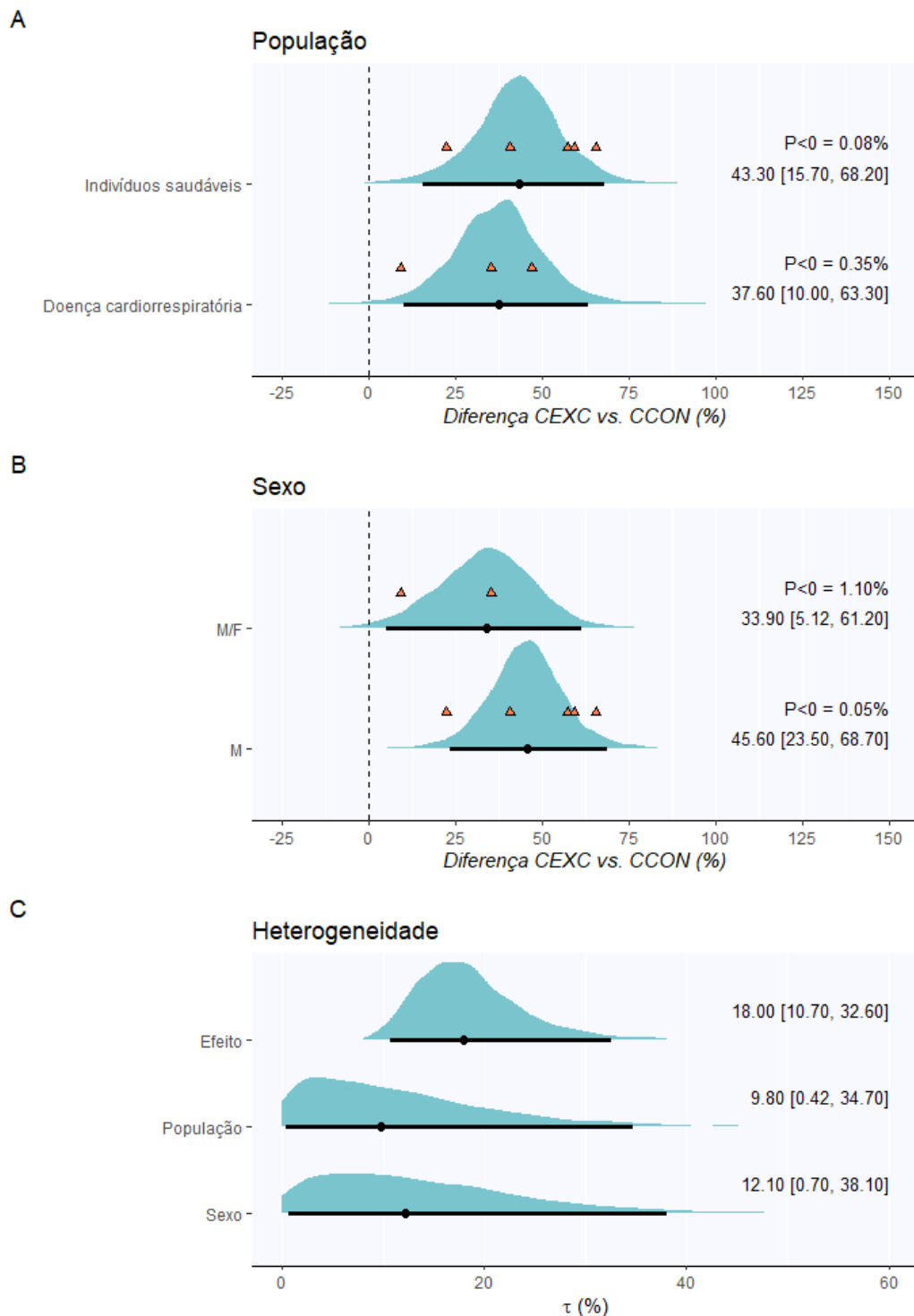
Figura 5 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a ventilação pulmonar durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; P < 0: área da distribuição posterior menor que zero; VE: ventilação pulmonar.

As estimativas dos grupos (i.e., efeitos aleatórios) dentro do nível população (Figura 6 A) mostraram efeitos semelhantes entre os estudos que recrutaram indivíduos saudáveis ($\mu = 43,30\%$ [15,70%, 68,20%]; $P < 0 = 0,08\%$) e os estudos que recrutaram portadores de doença cardiorrespiratória ($\mu = 37,60\%$ [10,00%, 63,30%]; $P < 0 = 0,35\%$). Os efeitos nos grupos relacionados ao sexo dos participantes (Figura 6 B), indicam que os estudos que recrutaram apenas participantes do sexo masculino apresentaram uma diferença maior entre a VE no CCON e CEXC ($\mu = 45,60\%$ [23,50%, 68,70%]; $P < 0 = 0,05\%$), comparados aos estudos que recrutaram participantes de ambos os sexos ($\mu = 33,90\%$ [5,12%, 61,20%]; $P < 0 = 1,10\%$). Foi possível identificar grande heterogeneidade entre estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 18,00\%$ [10,70%, 32,60%]) e entre os grupos dentro dos níveis de análise ($\tau_{\text{População}} = 9,80\%$ [0,42%, 34,70%]; $\tau_{\text{Sexo}} = 12,10\%$ [0,70%, 38,10%]) (Figura 6 C).

Figura 6 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a ventilação pulmonar no ciclismo excêntrico e concêntrico nos grupos de população (A), sexo (B) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).

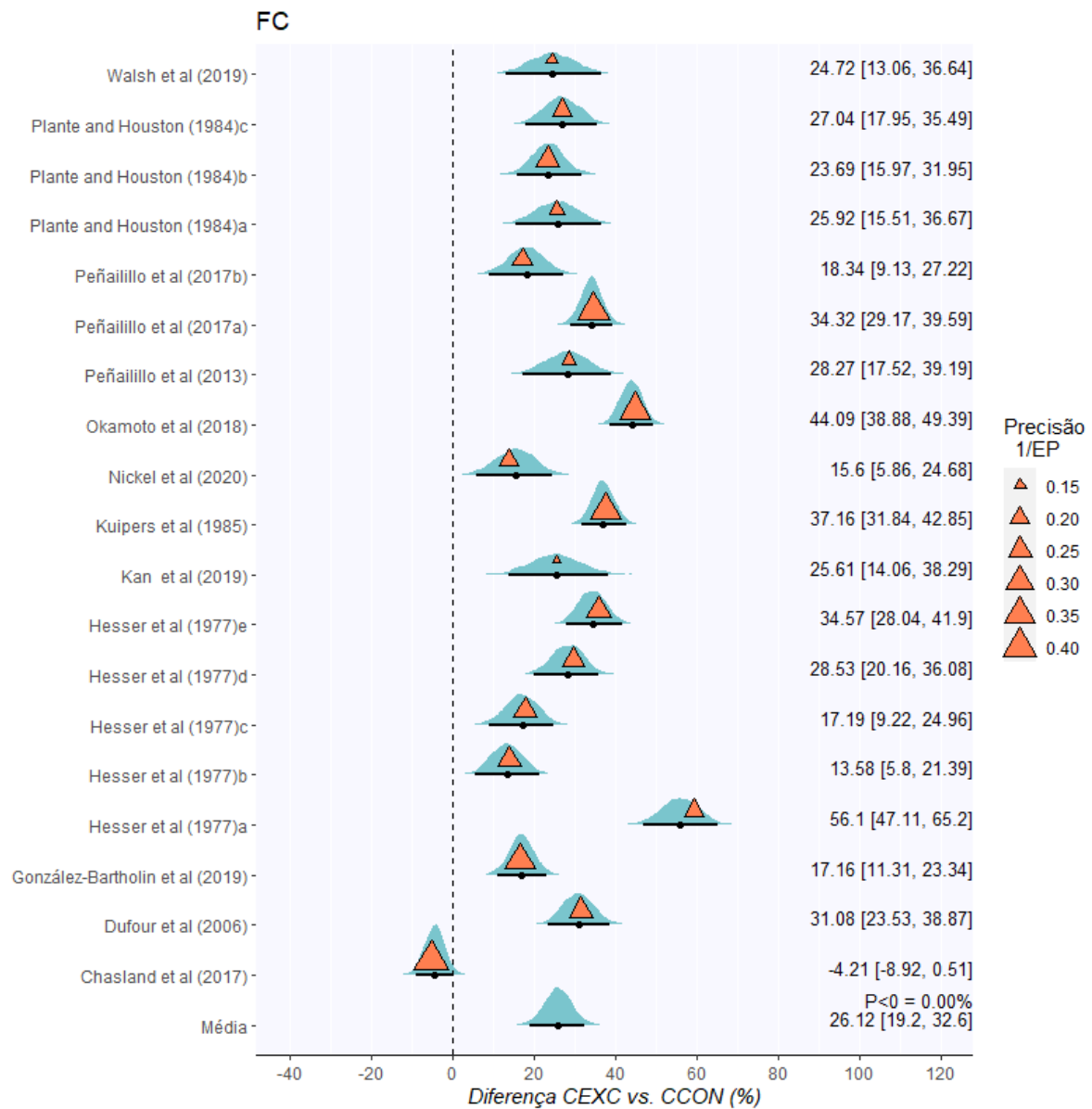


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; M: sexo masculino; M/F: sexo masculino e feminino; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; τ : tau.

5.4.3 Frequência cardíaca

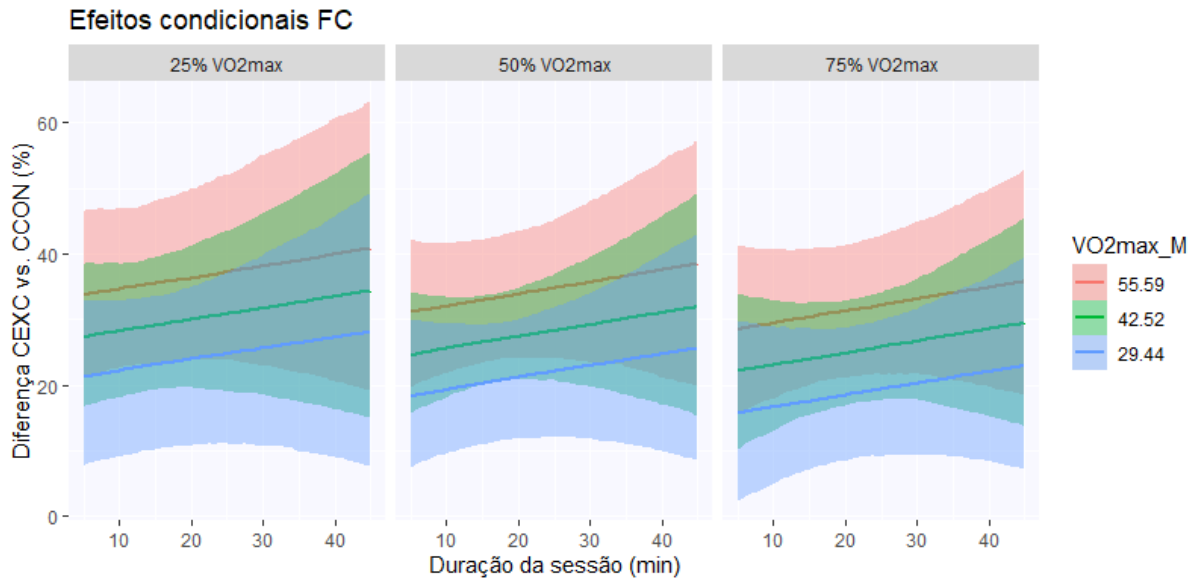
Treze dos 19 estudos selecionados para análise das respostas agudas avaliaram a FC durante sessões de CEXC e CCON realizadas com a mesma PO (n participantes = 146). A estimativa do efeito médio populacional indica que a FC foi 26,12% maior [IC 95%: 19,20%, 32,60%] ($\tau = 13,60$ [95% IC; 9,95%, 19,80%]) em sessões de CCON comparado com sessões de CEXC realizadas com a mesma PO (Figura 7). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indica uma probabilidade de 0,00% da FC ser maior durante o CEXC comparado ao CCON. As distribuições posteriores dos efeitos condicionais foram apresentadas na Figura 8. Os efeitos modificadores derivados da meta-regressão e a heterogeneidade entre os efeitos foram apresentados na Figura 9. Os resultados da meta-regressão mostram que a diferença na FC entre o CEXC e CCON realizados com a mesma PO, foi maior em participantes com o VO_{2max} mais elevado e em sessões com maior duração. Ainda, os efeitos condicionais derivados da meta-regressão indicam que a diferença entre a resposta da FC no CEXC e CCON diminui à medida que a intensidade das sessões aumenta. A distribuição posterior dos efeitos modificadores revela que a cada incremento de $10 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ no VO_{2max} dos participantes, a diferença na FC entre as modalidades aumenta 4,85% [IC 95%: 0,30%, 9,79%] (Figura 9 A), a cada incremento de 10% VO_{2max} na intensidade da sessão a diferença entre CEXC e CCON diminui 1,04% [IC 95%: -3,51%, 1,69%] (Figura 9 B) e a cada incremento de 10 minutos na duração da sessão a diferença entre CEXC e CCON aumenta 1,83% [IC 95%: -3,42%, 7,80%] (Figura 9 C). A heterogeneidade entre os efeitos meta-analisados foi de 12,35% [IC 95%: 7,76%, 17,68%] (Figura 9 D).

Figura 7 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a frequência cardíaca durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta.



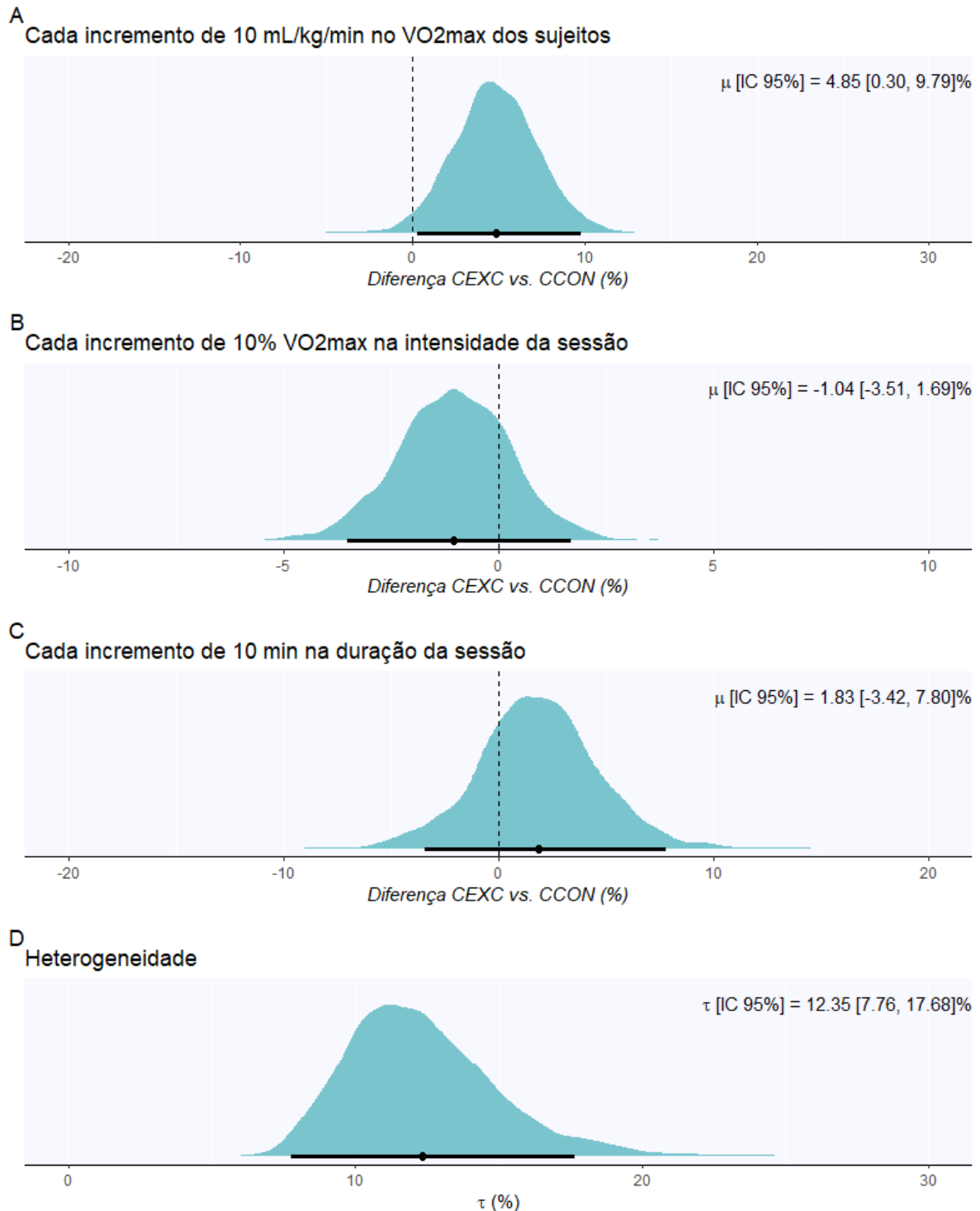
Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / EP$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; FC: frequência cardíaca.

Figura 8 – Médias posteriores e intervalos de credibilidade dos efeitos condicionais na diferença percentual entre a frequência cardíaca em sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta ajustadas pelas covariáveis intensidade das sessões em % do VO_{2max} (25%, 50% e 75%) durante as sessões concêntricas, pelo VO_{2max} dos sujeitos (média ± 1 DP dos sujeitos nos estudos incluídos) e pela duração das sessões.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; FC: frequência cardíaca; VO_{2max} : consumo máximo de oxigênio.

Figura 9 – Distribuição posterior dos efeitos modificadores (i.e., β coeficientes) derivados da meta-regressão da diferença percentual entre a frequência cardíaca em sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizados com a mesma potência absoluta.

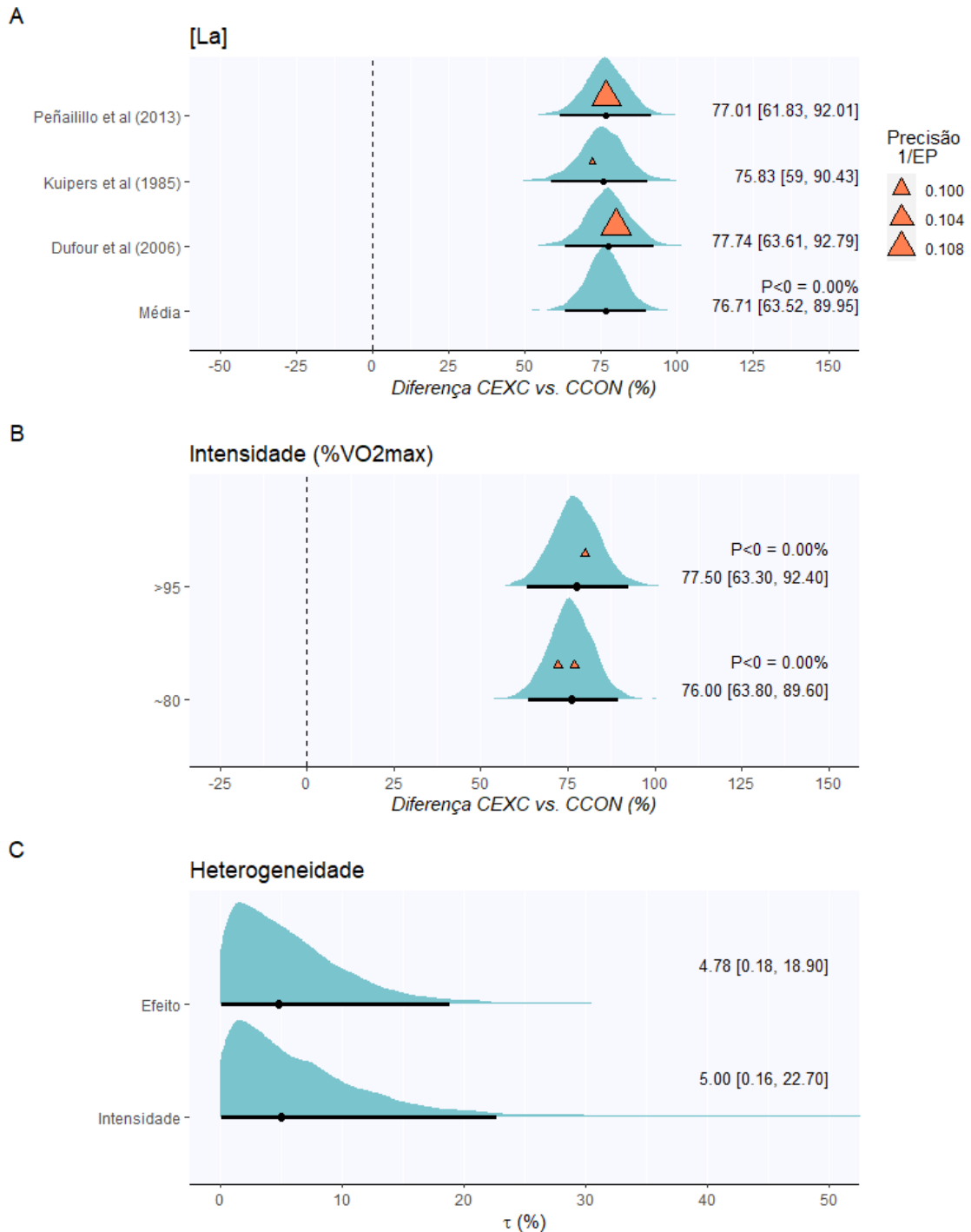


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; IC: intervalo de credibilidade; VO₂max: consumo máximo de oxigênio; μ : média; τ : tau.

5.4.4 Concentração de lactato sanguíneo

Apenas 3 estudos selecionados avaliaram a [La] durante sessões de CEXC e CCON realizadas com a mesma PO (n participantes = 27). O efeito médio meta-analisado mostra que a [La] durante sessões de CCON foi 76,71% maior [IC 95%: 63,52%; 89,95%] que em sessões de CEXC realizadas com a mesma PO (Figura 10 A). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado mostra uma probabilidade de 0.00% da [La] ser maior durante o CEXC comparado ao CCON. Os efeitos dos grupos dentro do nível intensidade (Figura 10 B) mostram efeitos semelhantes entre sessões realizadas em intensidades acima de 95% $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\mu = 77,50\%$ [63,30%, 92,40%]; $P < 0 = 0,00\%$) e sessões realizadas em intensidades próximas a 80% $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\mu = 76,00\%$ [63,80%, 89,60%]; $P < 0 = 0,00\%$). A heterogeneidade entre estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 4,78\%$ [0,18%, 18,90%]) foi semelhante à heterogeneidade observada entre os grupos de intensidade ($\tau_{\text{Intensidade}} = 5,00\%$ [0,16%, 22,70%]) (Figura 10 C).

Figura 10 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a concentração de lactato sanguíneo durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta (A), distribuição posterior dos efeitos em cada grupo dentro do nível intensidade (B) e heterogeneidade entre estudos e entre os grupos de intensidade (C).

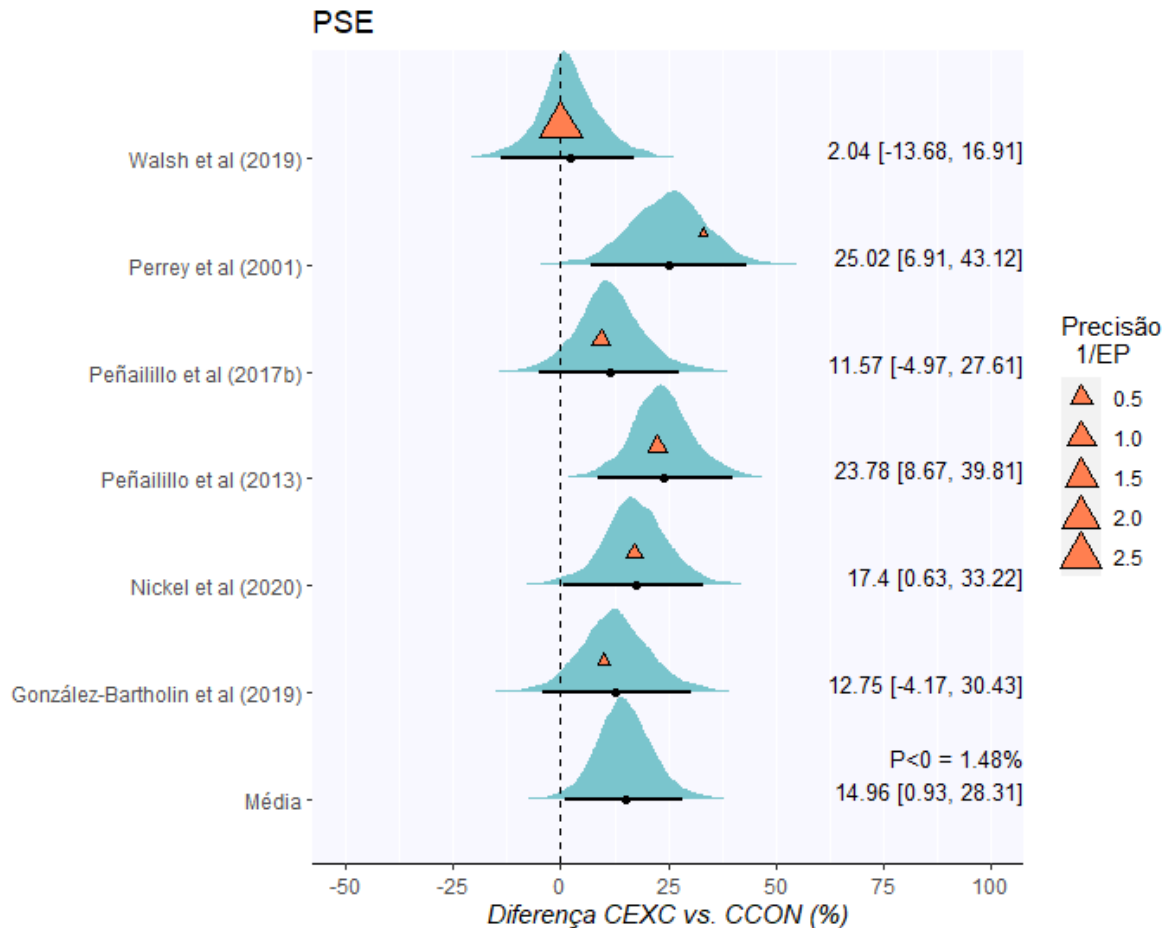


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos (no painel A), representam a precisão do efeito apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; %VO₂max: percentagem do consumo máximo de oxigênio; >95: intensidades maiores que 95% do consumo máximo de oxigênio; ~80: intensidades próximas a 80% do consumo máximo de oxigênio; τ : tau.

5.4.5 Percepção subjetiva de esforço

Seis estudos selecionados avaliaram a PSE durante sessões de CEXC e CCON realizadas com a mesma PO (n participantes = 59). A estimativa do efeito médio populacional mostra que a PSE foi 14,96% maior [IC 95%: 0,93%, 28,31%] em sessões de CCON comparado com sessões de CEXC realizadas com a mesma PO (Figura 11). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indica uma probabilidade de 1.48% da PSE ser maior durante o CEXC comparado ao CCON.

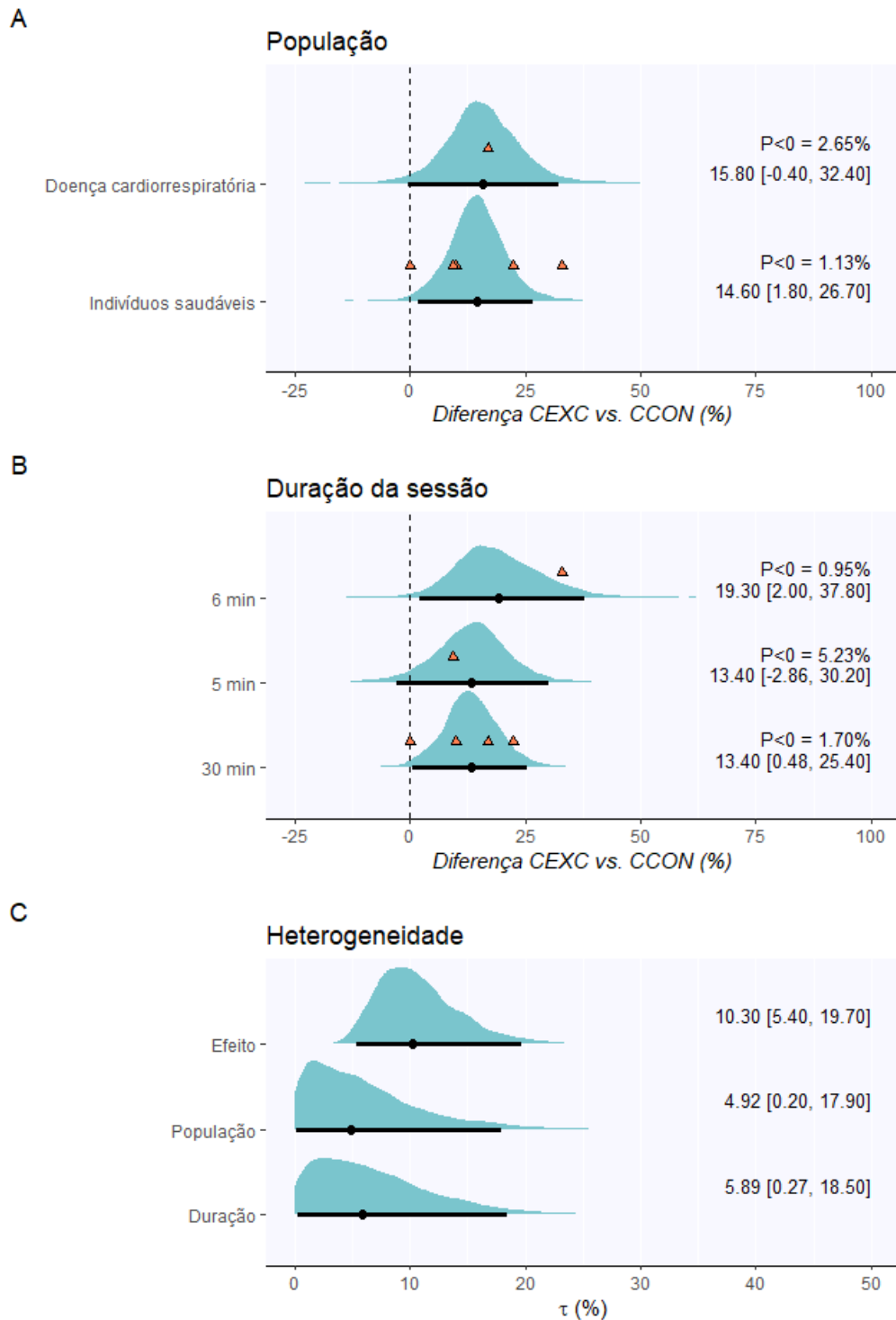
Figura 11 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a percepção subjetiva de esforço durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com a mesma potência absoluta.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; P < 0: área da distribuição posterior menor que zero; PSE: percepção subjetiva de esforço.

Os efeitos do nível da população (Figura 12 A) mostram efeitos semelhantes entre indivíduos saudáveis ($\mu = 14,60\%$ [1,80%, 26,70%]; $P < 0 = 1,13\%$) e portadores de doença cardiorrespiratória ($\mu = 15,80\%$ [-0,40%, 32,40%]; $P < 0 = 2,65\%$). Os efeitos no nível duração da sessão (Figura 12 B) mostram efeitos semelhantes entre os estudos que utilizaram sessões com duração de 5 minutos ($\mu = 13,40\%$ [-2,86%, 30,20%]; $P < 0 = 5,23\%$) e 30 minutos ($\mu = 13,40\%$ [0,48%, 25,40%]; $P < 0 = 1,70\%$) e maior nos estudos com sessões de 6 minuto ($\mu = 19,30\%$ [2,00%, 37,80%]; $P < 0 = 0,95\%$). Foi observada uma heterogeneidade considerável entre estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 10,30\%$ [5,40%, 19,70%]) e moderada entre os grupos em cada nível ($\tau_{\text{População}} = 4,92\%$ [0,20%, 17,90%]; $\tau_{\text{Duração}} = 5,89\%$ [0,27%, 18,50%]) (Figura 12 C).

Figura 12 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a percepção subjetiva de esforço no ciclismo excêntrico e concêntrico nos níveis população (A), duração (B) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).



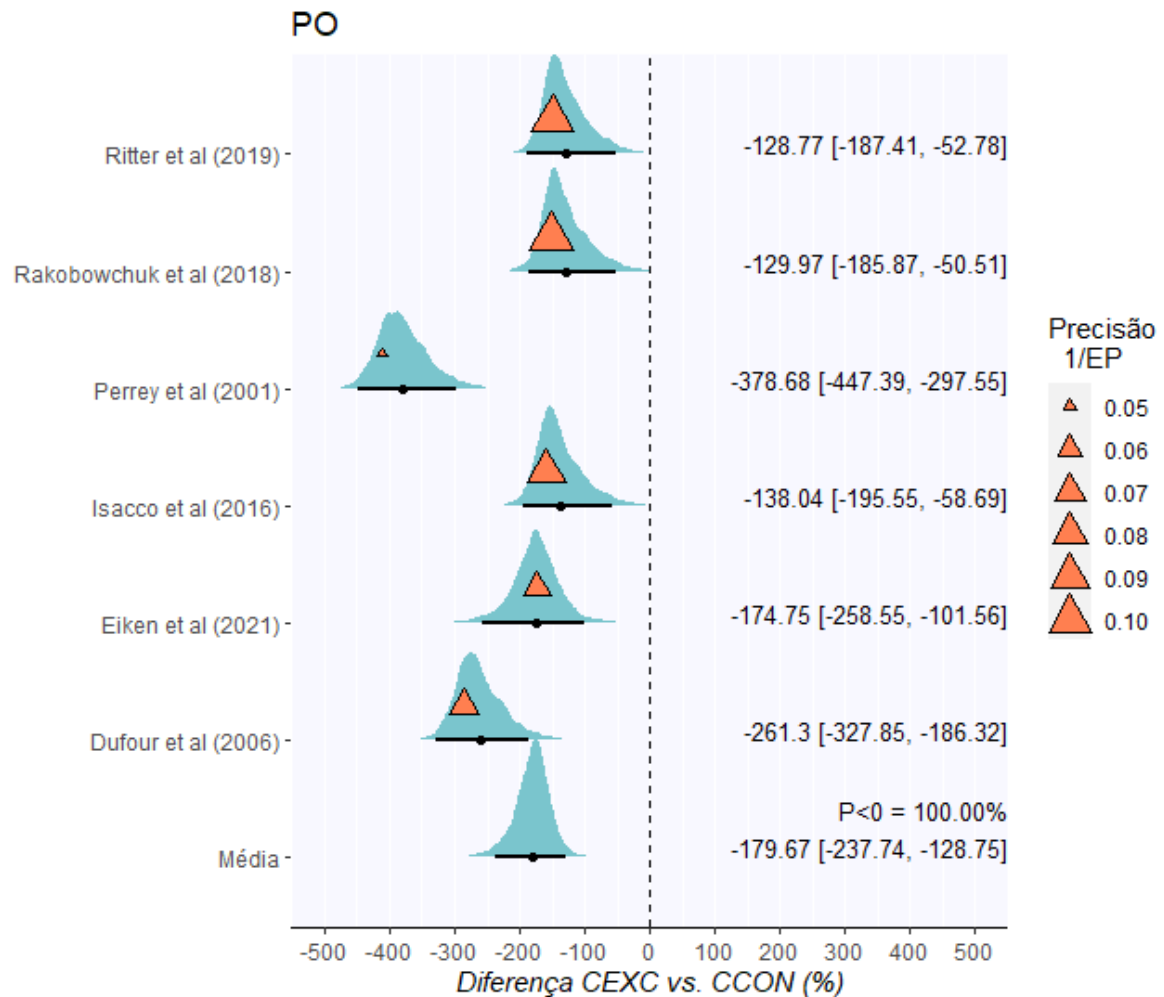
Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; τ : tau.

5.5 Meta-análise das respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com o mesmo consumo de oxigênio

5.5.1 Potência absoluta

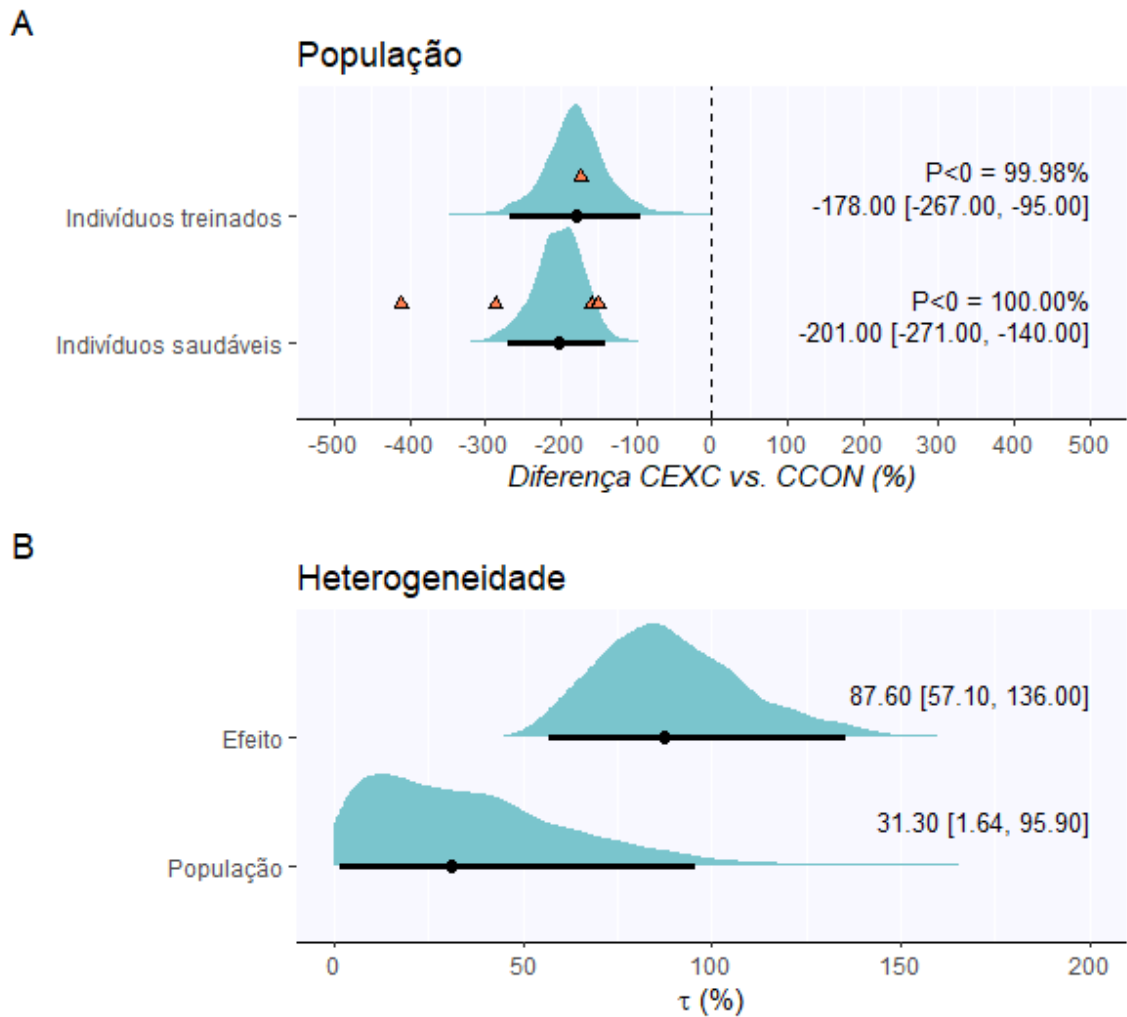
Seis dos 19 estudos selecionados para análise das respostas agudas avaliaram a PO durante sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 (n participantes = 59). O efeito médio populacional meta-analisado mostra que a PO gerada durante o CEXC foi 179,67% maior que a PO gerada em sessões de CCON ($\mu = -179,67\%$ [-237,74%, -128,75%]), quando as duas modalidades foram realizadas com o mesmo VO_2 (Figura 13). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indica 100.00% de probabilidade de a PO ser maior durante o CEXC comparado ao CCON realizado com o mesmo VO_2 . Os efeitos nos grupos do nível população (Figura 14 A), mostram uma diferença maior entre a PO realizada no CEXC e CCON em estudos que recrutaram indivíduos saudáveis ($\mu = -201,00\%$ [-271,00%, -140,00%]; $P < 0 = 100,00\%$) comparado com os estudos que recrutaram indivíduos treinados ($\mu = -178,00\%$ [-267,00%, -95,00%]; $P < 0 = 99,98\%$). A heterogeneidade foi considerável entre os estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 87,60\%$ [57,10%, 136,00%]) e entre os grupos ($\tau_{\text{População}} = 31,30\%$ [1,64%, 95,90%]) (Figura 14 B).

Figura 13 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a potência gerada durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; PO: potência absoluta.

Figura 14 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a potência absoluta produzida no ciclismo excêntrico e concêntrico nos grupos do nível população (A) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro do nível população (B).

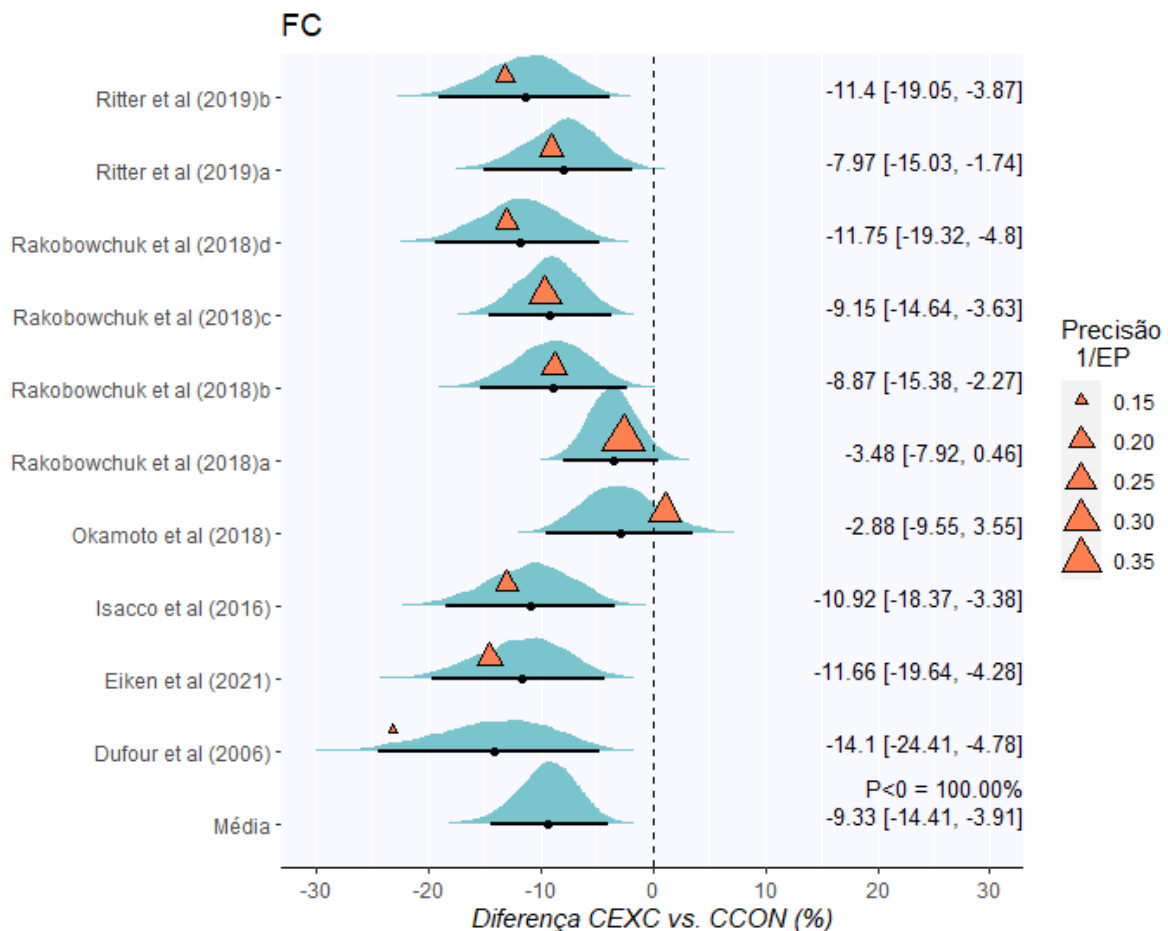


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; τ : tau.

5.5.2 Frequência cardíaca

Seis estudos selecionados avaliaram a FC durante sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 (n participantes = 68). O efeito médio populacional meta-analisado mostra que a FC durante sessões de CEXC foi 9,33% maior que a FC durante sessões de CCON realizadas com o mesmo VO_2 ($\mu = -9,33\%$ [-14,41%, -3,91%]; $\tau = 4,89\%$ [95% IC; 1,77%, 10,50%]) (Figura 15). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indica uma probabilidade de 100,00% da FC ser maior durante o CEXC comparado ao CCON realizado com o mesmo VO_2 .

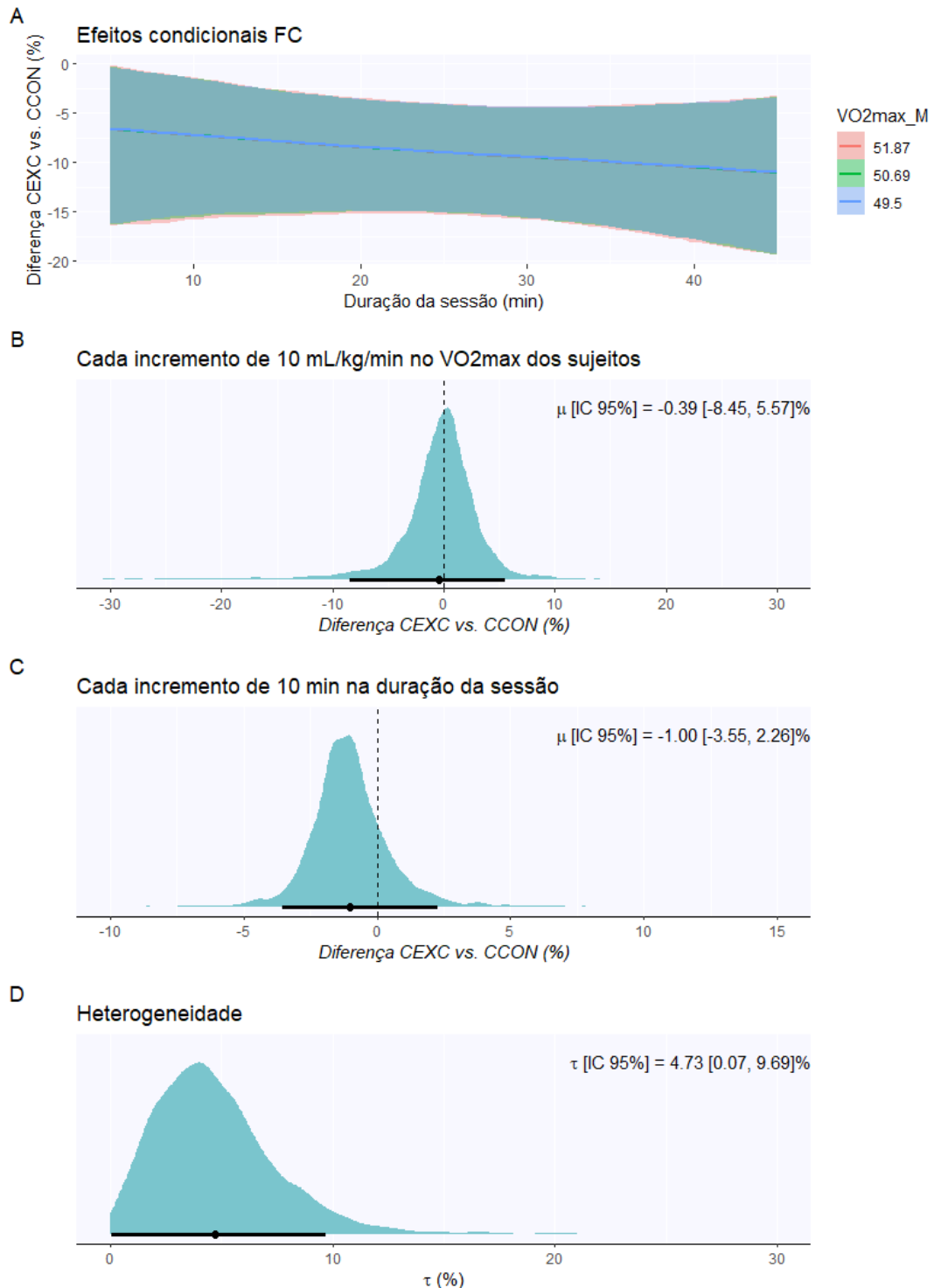
Figura 15 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a frequência cardíaca durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / \text{EP}$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; FC: frequência cardíaca.

A distribuição posterior dos efeitos condicionais, os efeitos modificadores e a heterogeneidade entre os efeitos derivados da meta-regressão foram apresentadas na Figura 16. Os resultados da meta-regressão mostram que a diferença da FC entre o CEXC e CCON realizados com o mesmo VO_2 se torna um pouco maior à medida que a duração da sessão aumenta e é pouco influenciada pelo $\text{VO}_{2\text{max}}$ dos participantes (Figura 16 A). A distribuição posterior dos efeitos moderadores revela que a cada incremento de $10 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ no $\text{VO}_{2\text{max}}$ dos participantes, a diferença da FC entre as modalidades de ciclismo aumenta 0,39% ($\mu = -0,39\%$ [IC 95%: -8,45%, 5,57%]) (Figura 16 B) e, a cada incremento de 10 minutos na duração da sessão, a diferença entre a FC no CEXC e CCON aumenta 1,00% ($\mu = -1,00$ [IC 95%: -3,55%, 2,26%]) (Figura 16 C). A heterogeneidade entre os tamanhos de efeito foi de 4,73% [IC 95%: 0,07%, 9,69%] (Figura 16 D).

Figura 16 – Médias posteriores e intervalos de credibilidade dos efeitos condicionais ajustados pelo consumo máximo de oxigênio dos sujeitos (média $\pm$ 1DP) e pela duração das sessões (A), do efeito do consumo máximo de oxigênio dos participantes (B) e da duração da sessão (C) na diferença entre a frequência cardíaca durante o ciclismo excêntrico e concêntrico e heterogeneidade entre os efeitos (D).

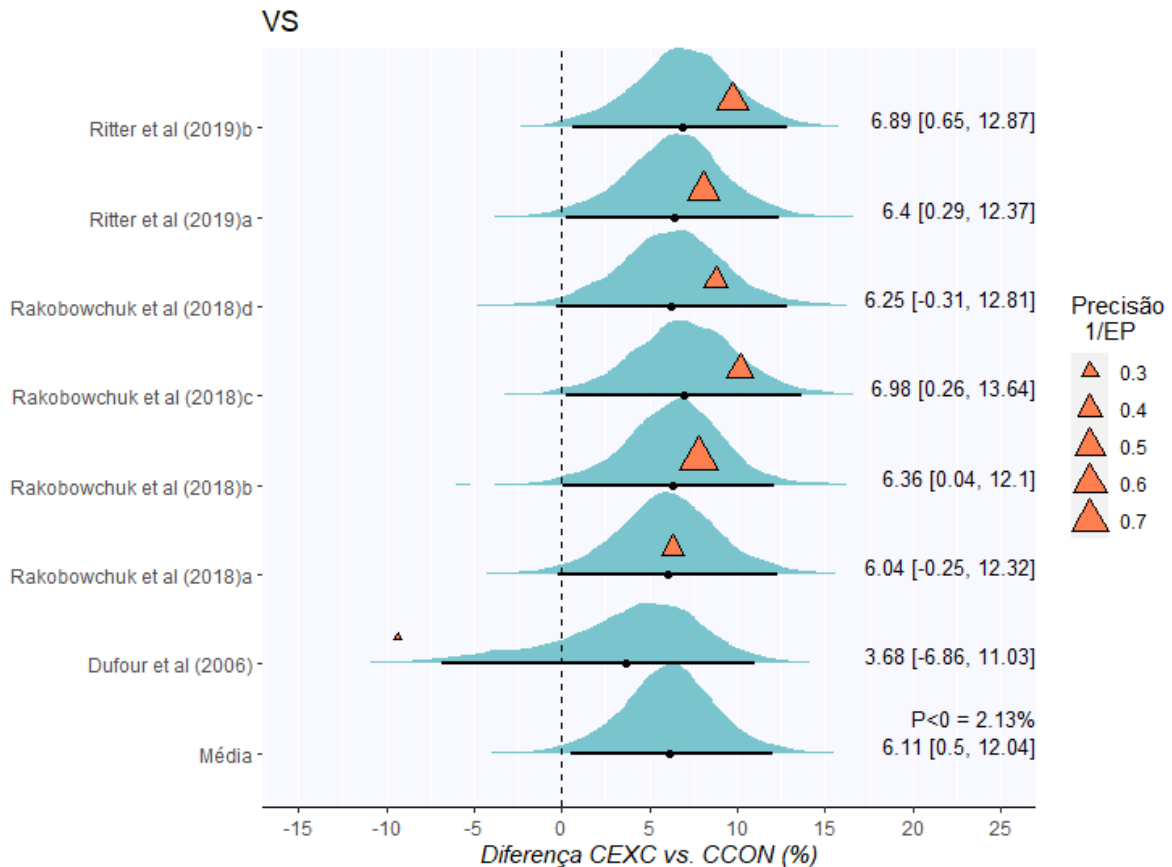


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; FC: frequência cardíaca; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio; μ : média; τ : tau.

5.5.3 Volume sistólico

Três estudos selecionados para análise das respostas agudas avaliaram o VS durante sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 (n participantes = 33). A estimativa do efeito médio populacional indica que o VS durante sessões de CEXC foi 6,11% menor comparado ao VS durante sessões de CCON realizadas com o mesmo VO_2 ($\mu = 6,11$ [0,50%, 12,04%]) (Figura 17). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indica uma probabilidade de 2,13% do VS ser maior durante o CEXC comparado ao CCON.

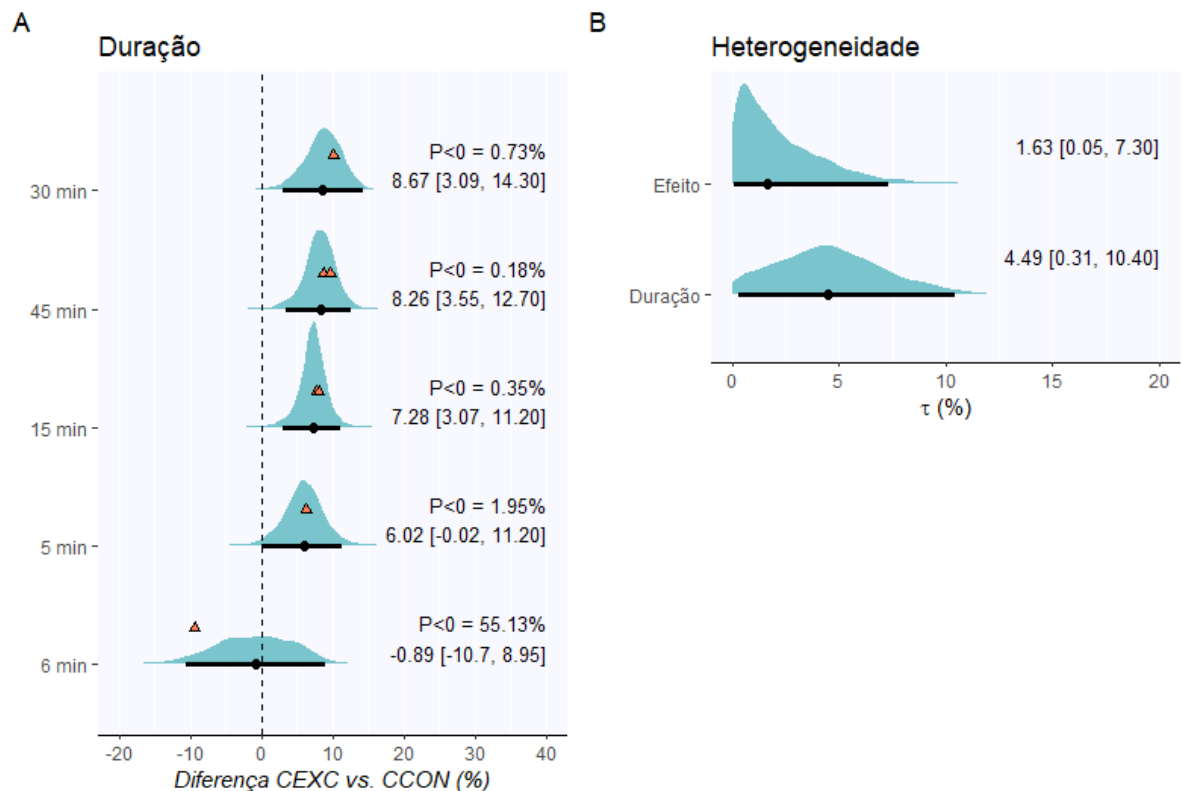
Figura 17 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o volume sistólico durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; P < 0: área da distribuição posterior menor que zero; VS: volume sistólico.

As estimativas dos grupos dentro do nível duração (Figura 18 A) mostraram efeitos semelhantes entre os grupos de estudos que utilizaram sessões com duração de 45 minutos ($\mu = 8,26\%$ [3,55%, 12,70%]; $P < 0 = 0,18\%$), 30 minutos ($\mu = 8,67\%$ [3,09%, 14,30%]; $P < 0 = 0,73\%$) e 15 minutos ($\mu = 7,28\%$ [3,07%, 11,20%]; $P < 0 = 0,35\%$), todos indicando menor VS durante o CEXC comparado ao CCON. O grupo com estudos que utilizaram sessões de 5 minutos apresentou um efeito um pouco menor ($\mu = 6,02\%$ [-0,02%, 11,20%]; $P < 0 = 1,95\%$) do que os grupos citados anteriormente, enquanto o grupo com estudos que utilizaram sessões de 6 minutos, apresentou um efeito que indica um VS semelhante entre o CEXC e CCON ($\mu = -0,89\%$ [-10,70%, 8,95%]; $P < 0 = 55,13\%$). A heterogeneidade foi baixa entre estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 1,63\%$ [0,05%, 7,30%]) e considerável entre os grupos do nível duração ($\tau_{\text{Duração}} = 4,49\%$ [0,31%, 10,40%]) (Figura 18 B).

Figura 18 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o volume sistólico no ciclismo excêntrico e concêntrico no nível duração (A) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro do nível duração (B).

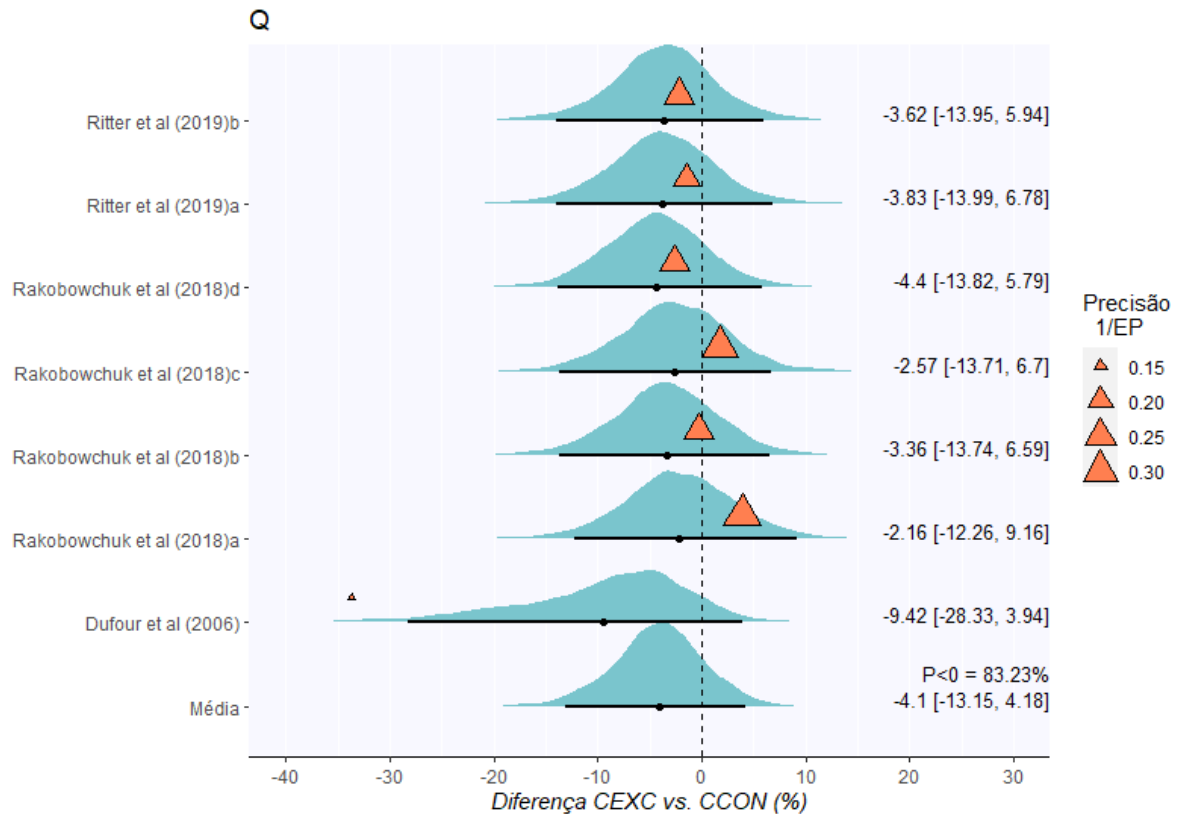


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; τ : tau.

5.5.4 Débito cardíaco

Apenas 3 dos 19 estudos selecionados para análise das respostas agudas avaliaram o Q durante sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 (n participantes = 33). O efeito médio populacional estimado indica que o Q durante sessões de CEXC foi 4,10% maior que o Q durante sessões de CCON realizadas com o mesmo VO_2 ($\mu = -4,10$ [-13,15%, 4,18%]) (Figura 19). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indica uma probabilidade de 83,23% do Q ser maior durante o CEXC comparado ao CCON.

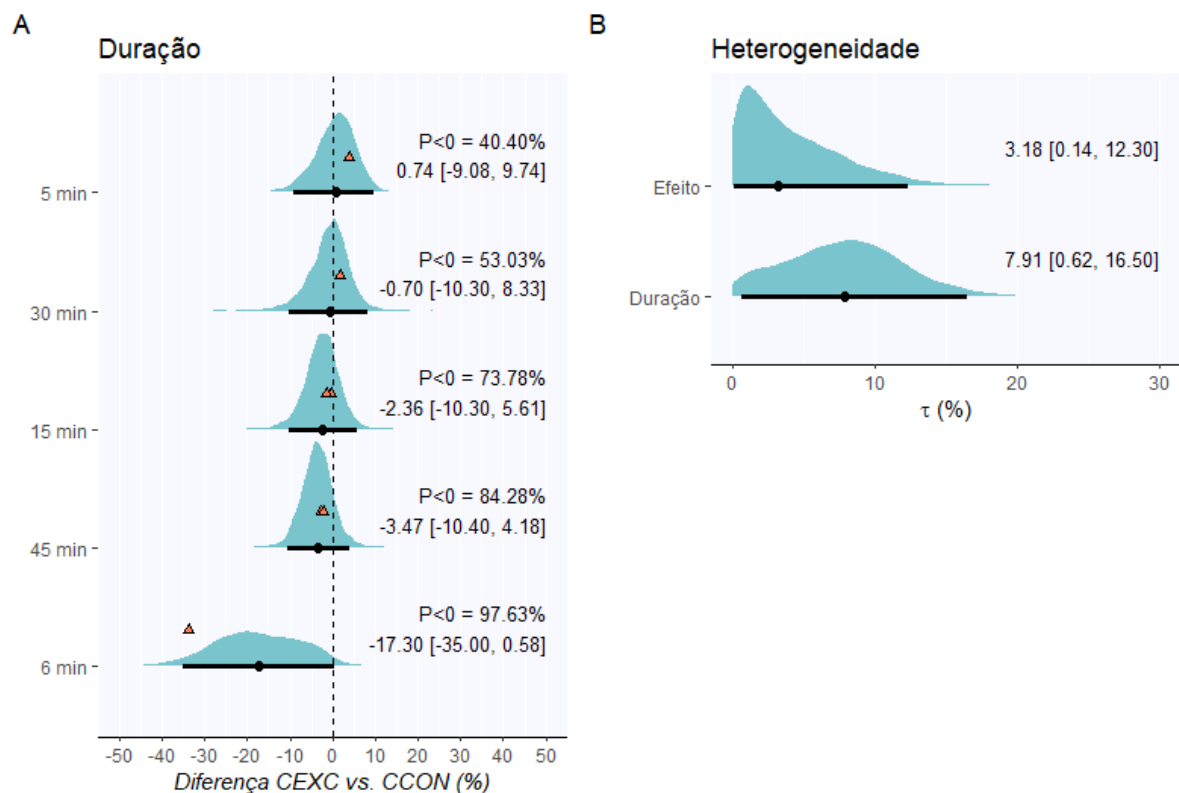
Figura 19 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o débito cardíaco durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; P < 0: área da distribuição posterior menor que zero; Q: débito cardíaco.

As análises de grupos dentro do nível duração (Figura 20 A) mostraram efeitos semelhantes entre o CEXC e CCON nos grupos de estudos que utilizaram sessões com duração de 5 minutos ($\mu = 0,74\%$ [-9,08%, 9,74%]; $P < 0 = 40,40\%$) e 30 minutos ($\mu = -0,70\%$ [-10,30%, 8,33%]; $P < 0 = 53,03\%$). Os estudos que utilizaram sessões de 6 minutos ($\mu = -17,30\%$ [-35,00%, 0,58%]; $P < 0 = 97,63\%$), 15 minutos ($\mu = -2,36\%$ [-10,30%, 5,61%]; $P < 0 = 73,78\%$) e 45 minutos ($\mu = -3,47\%$ [-10,40%, 4,18%]; $P < 0 = 84,28\%$) mostraram maior Q durante o CEXC comparado ao CCON. A heterogeneidade foi baixa entre estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 3,18\%$ [0,14%, 12,30%]) e considerável entre os grupos do nível duração ($\tau_{\text{Duração}} = 7,91\%$ [0,62%, 16,50%]) (Figura 20 B).

Figura 20 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre o débito cardíaco durante o ciclismo excêntrico e concêntrico no nível duração (A) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos do nível duração (B).

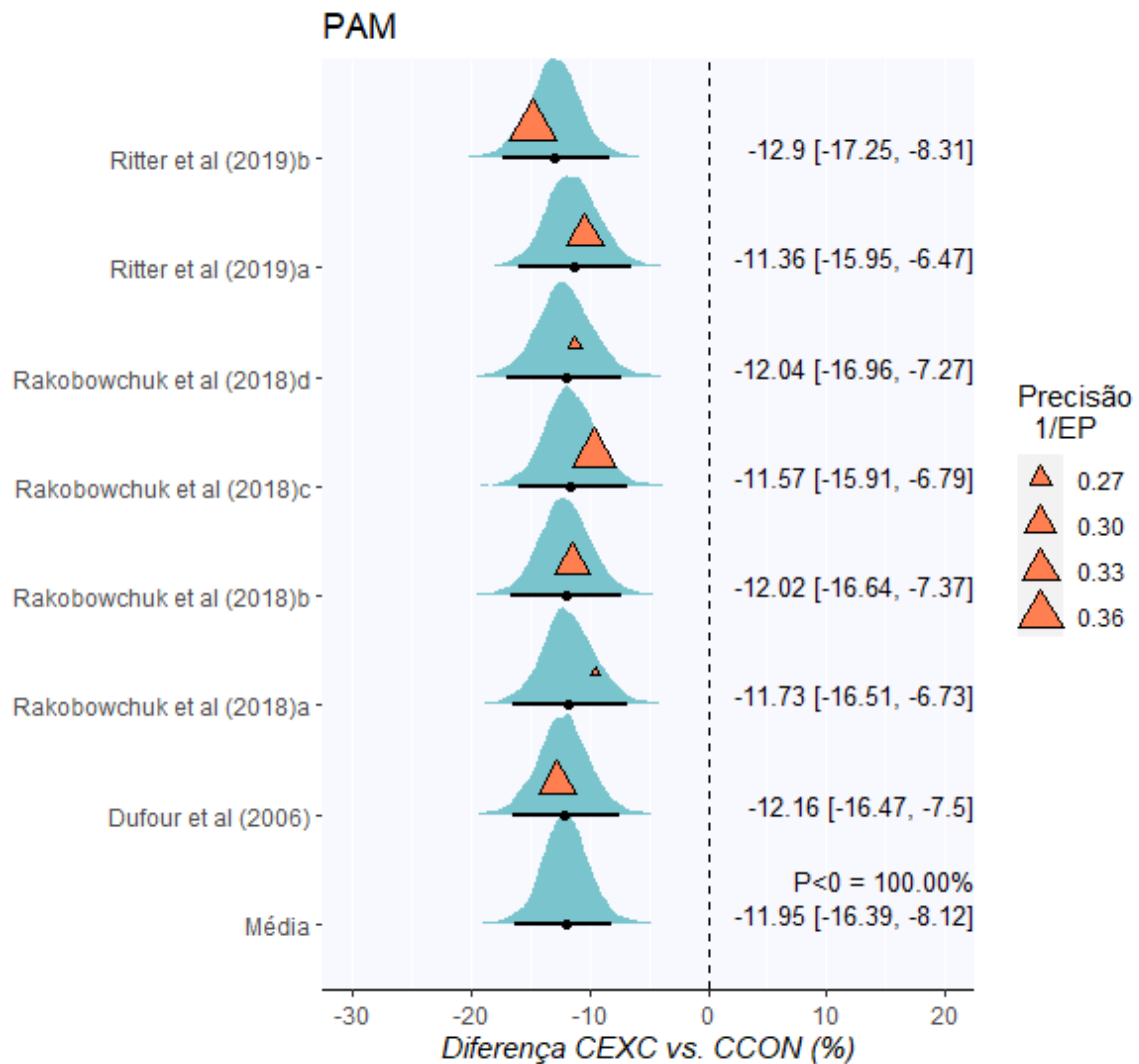


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; τ : tau.

5.5.5 Pressão arterial média

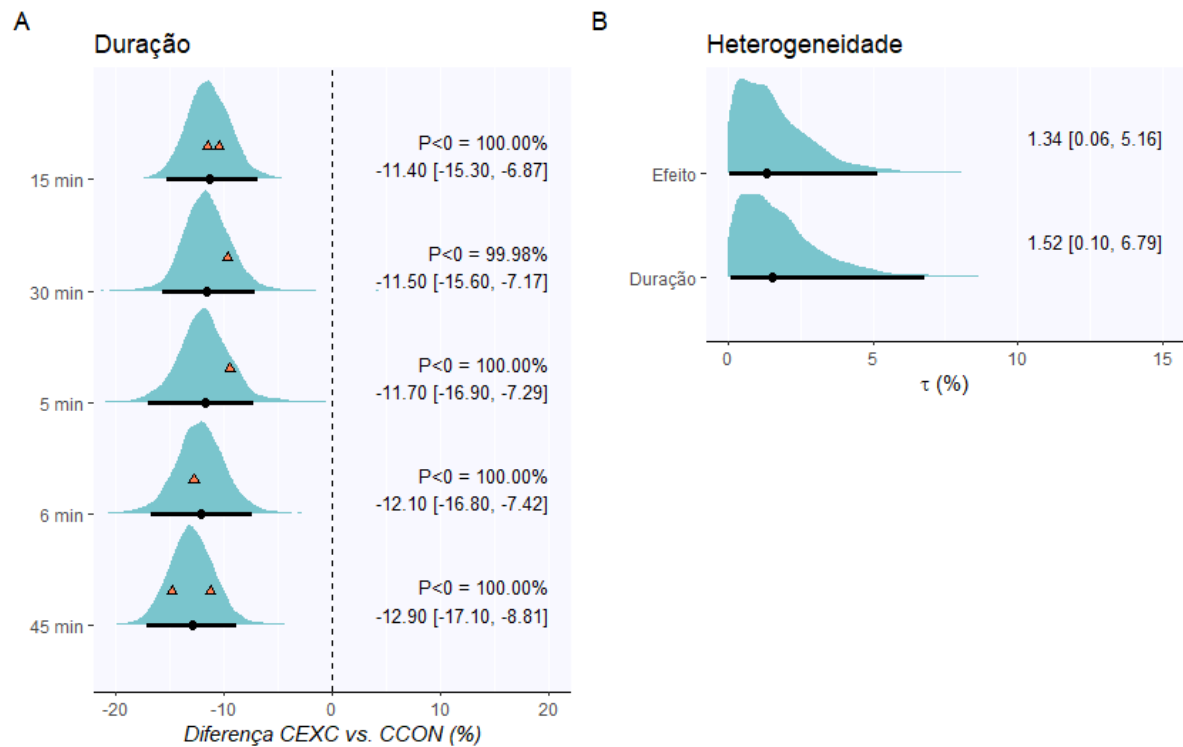
Três estudos selecionados para análise das respostas agudas avaliaram a PAM durante sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 (n participantes = 33). O efeito médio populacional meta-analisado indica que a PAM foi 11,95% maior durante sessões de CEXC comparado a sessões de CCON realizadas com o mesmo VO_2 ($\mu = -11,95$ [-16,39%, -8,12%]) (Figura 21). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado mostra uma probabilidade de 100,00% da PAM ser maior durante o CEXC comparado ao CCON. As análises do nível duração mostram efeitos semelhantes entre todos os grupos (Figura 22 A). A heterogeneidade foi baixa entre estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 1,34\%$ [0,06%, 5,16%]) e entre os grupos do nível duração ($\tau_{\text{Duração}} = 1,52\%$ [0,10%, 6,79%]) (Figura 22 B).

Figura 21 – Gráfico de floresta da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a pressão arterial média durante sessões de ciclismo excêntrico e ciclismo concêntrico realizadas com o mesmo consumo de oxigênio.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / EP$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; PAM: pressão arterial média.

Figura 22 – Distribuição posterior da diferença percentual (i.e., tamanhos de efeito) entre a pressão arterial média durante o ciclismo excêntrico e concêntrico no nível duração (A) e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos do nível duração (B).



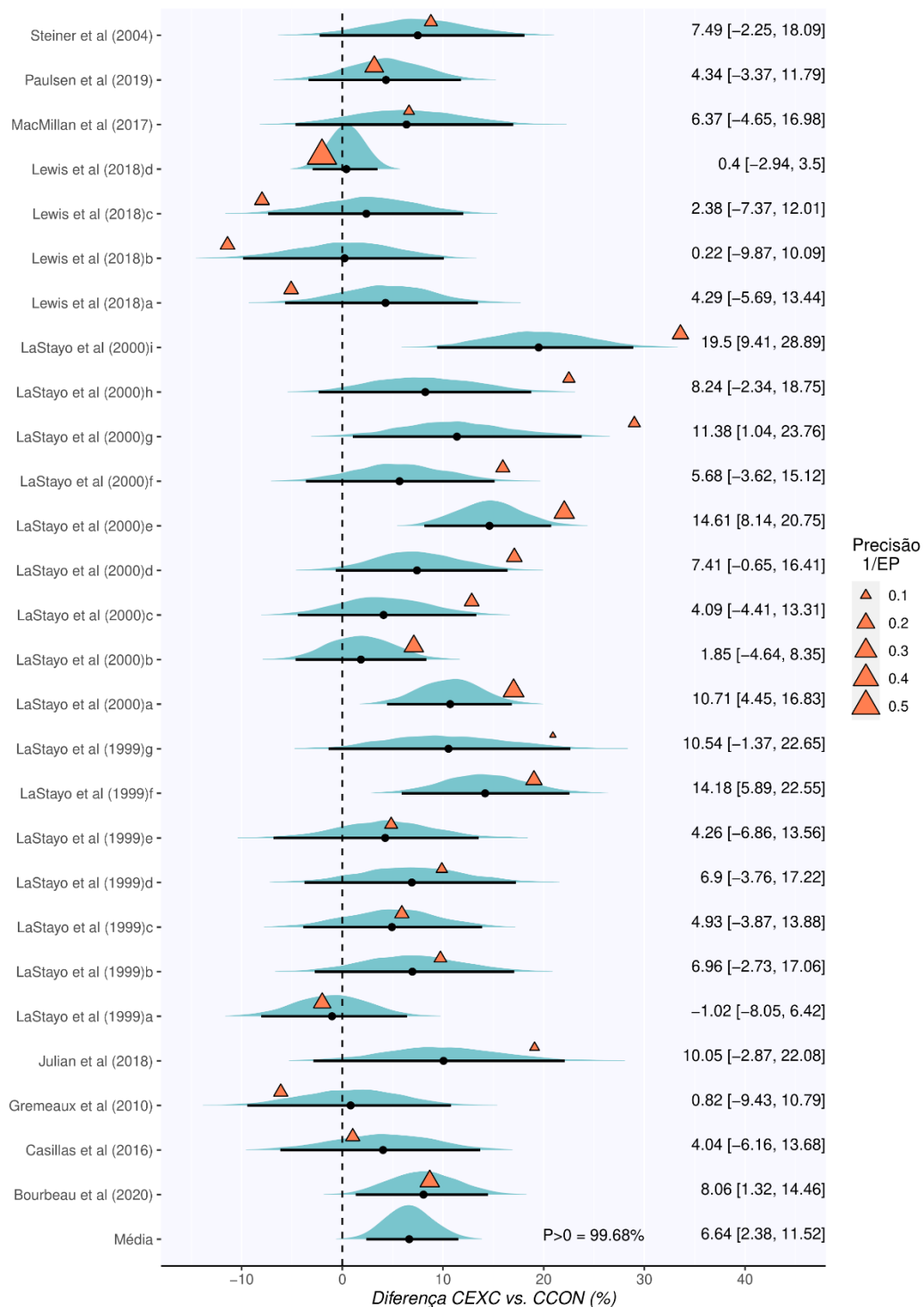
Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero; τ : tau.

5.6 Meta-análise das respostas crônicas ao treinamento de CEXC comparado ao CCON

5.6.1 Pico de torque isométrico

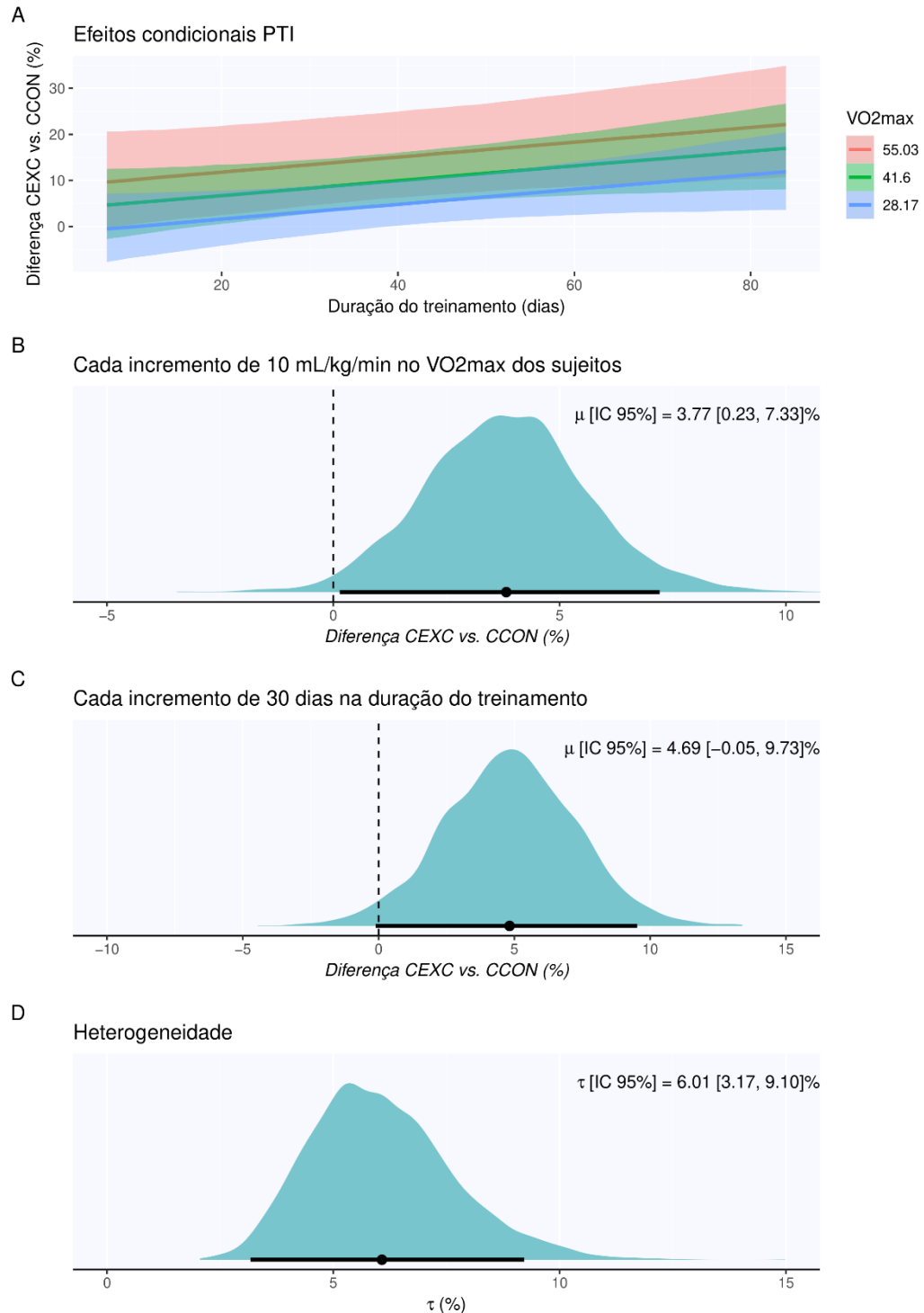
Dez dos 13 estudos selecionados para análise das respostas crônicas ao CEXC comparado com o CCON avaliaram o PTI (n participantes = 192). A distribuição posterior do efeito médio populacional meta-analisado revelou um efeito mais favorável ao treinamento de CEXC comparado ao CCON ($\mu = 6,64\%$ [IC 95%; 2,38%, 11,52%]; $\tau = 6,59\%$ [IC 95%; 3,94%, 10,50%]) no PTI (Figura 23). O efeito médio meta-analisado indica uma probabilidade posterior de 99,68% de o treinamento de CEXC induzir maior aumento no PTI comparado ao CCON (i.e., área da distribuição posterior localizada 99,68% acima de zero). Os efeitos posteriores condicionais derivados da meta-regressão, considerando o tempo de duração do treinamento e o VO_{2max} dos participantes como covariáveis no efeito do treinamento sobre o PTI, foram apresentados na Figura 24 A. Os efeitos modificadores derivados da meta-regressão foram apresentados na Figura 24 (painéis B e C). Os resultados da meta-regressão revelam que o treinamento de CEXC induz maior aumento no PTI comparado ao treinamento de CCON e esta diferença entre as modalidades se torna maior quando a duração do treinamento e o VO_{2max} dos participantes são maiores. A heterogeneidade entre os tamanhos de efeito foi de 6,01% [IC 95%; 3,17%, 9,10%] (Figura 24 D).

Figura 23 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) no pico de torque isométrico.
PTI



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / EP$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; PTI: pico de torque isométrico.

Figura 24 – Médias posteriores e intervalos de credibilidade dos efeitos condicionais ajustados pela duração do treinamento e pelo consumo máximo de oxigênio dos participantes (média $\pm$ 1 DP) (A), do efeito do consumo máximo de oxigênio dos participantes (B) e da duração do treinamento (C) no pico de torque isométrico e heterogeneidade entre os efeitos (D).

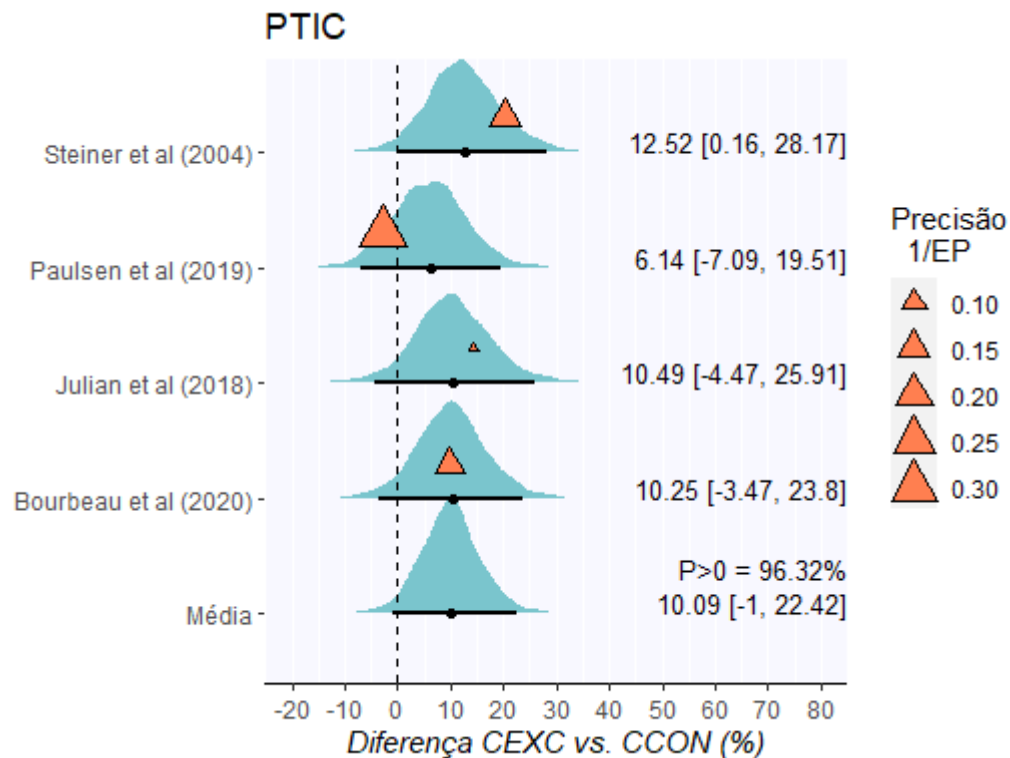


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; PTI: pico de torque isométrico; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio; μ : média; τ : tau.

5.6.2 Pico de torque isocinético concêntrico

Quatro estudos selecionados avaliaram as mudanças no PTIC induzidas pelo treinamento de CEXC comparado com o CCON (n participantes = 82). A distribuição posterior do efeito médio populacional meta-analisado mostra um efeito mais favorável para o treinamento de CEXC comparado ao CCON ($\mu = 10,09\%$ [IC 95%; -1,00 %, 22,42%]) no PTIC (Figura 25). O efeito médio estimado indica a probabilidade de 96,32% de o CEXC induzir maior aumento no PTIC.

Figura 25 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) no pico de torque isocinético concêntrico.

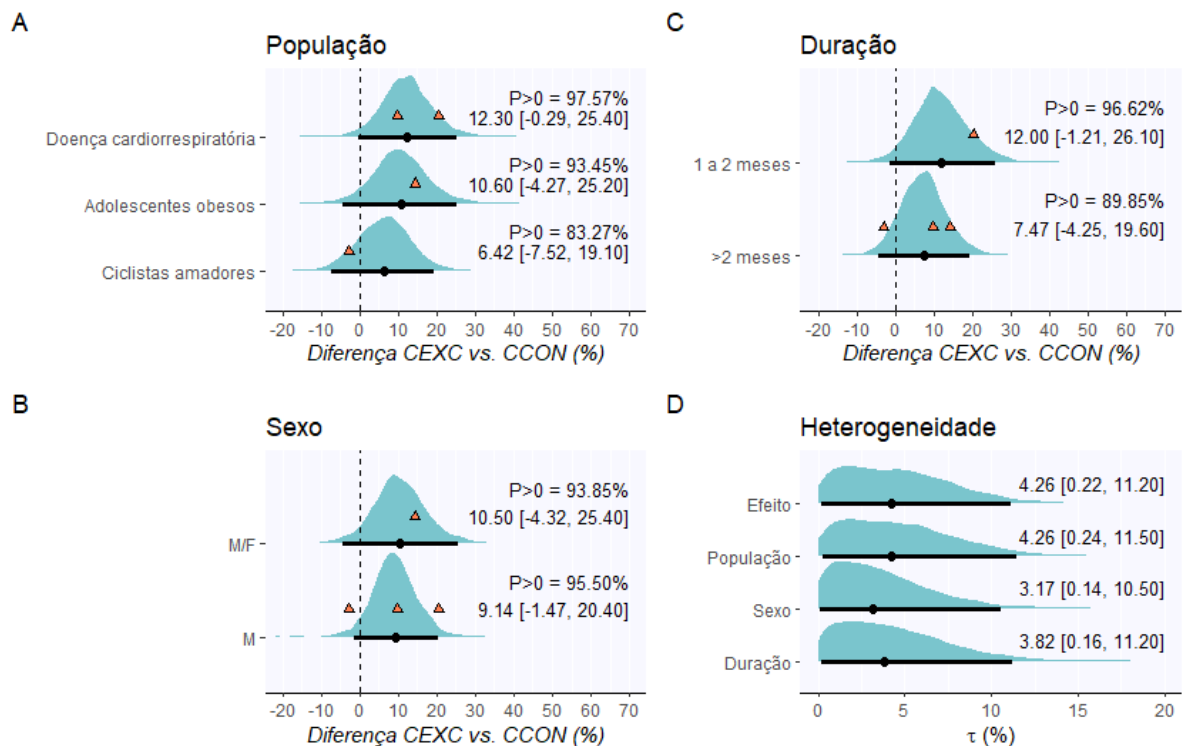


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; P > 0: área da distribuição posterior maior que zero; PTIC: pico de torque isocinético concêntrico.

As análises do nível população (Figura 26 A) mostram efeitos mais favoráveis para o CEXC em pacientes com doenças cardiorrespiratórias ($\mu = 12,30\%$ [-0,29%, 25,40%]; P > 0 = 97,57%) e adolescentes obesos ($\mu = 10,60\%$ [-4,27%, 25,20%]; P > 0 = 93,45%) comparado com ciclistas amadores ($\mu = 6,42\%$ [-7,52 %, 19,10%]; P > 0 = 83,27%). As análises do nível sexo (Figura 26 B), indicam efeitos mais favoráveis para CEXC comparado ao CCON tanto em

estudos contendo participantes do sexo masculino e feminino ($\mu = 10,50\%$ [-4,32%, 25,40%]; $P > 0 = 93,85\%$), quanto em estudos contendo somente participantes do sexo masculino ($\mu = 9,14\%$ [-1,47%, 20,40%]; $P > 0 = 95,50\%$). As análises do nível duração (Figura 26 C), também mostram efeitos mais favoráveis para CEXC comparado ao CCON em estudos que utilizaram intervenções com duração de 1 a 2 meses ($\mu = 10,50\%$ [-4,32%, 25,40%]; $P > 0 = 93,85\%$) e em estudos que utilizaram intervenções com duração maior que 2 meses ($\mu = 9,14\%$ [-1,47%, 20,40%]; $P > 0 = 95,50\%$). A heterogeneidade encontrada entre os efeitos individuais ($\tau_{\text{Efeito}} = 4,26\%$ [0,22%, 11,20%]) e nos grupos dentro dos níveis ($\tau_{\text{População}} = 4,26\%$ [0,24%, 11,50%]; $\tau_{\text{Sexo}} = 3,17\%$ [0,14%, 10,50%]; $\tau_{\text{Duração}} = 3,82\%$ [0,16%, 11,20%]) foi semelhante (Figura 26 D).

Figura 26 – Distribuição posterior dos efeitos nos grupos de nível população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) no pico de torque isocinético concêntrico e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (D).

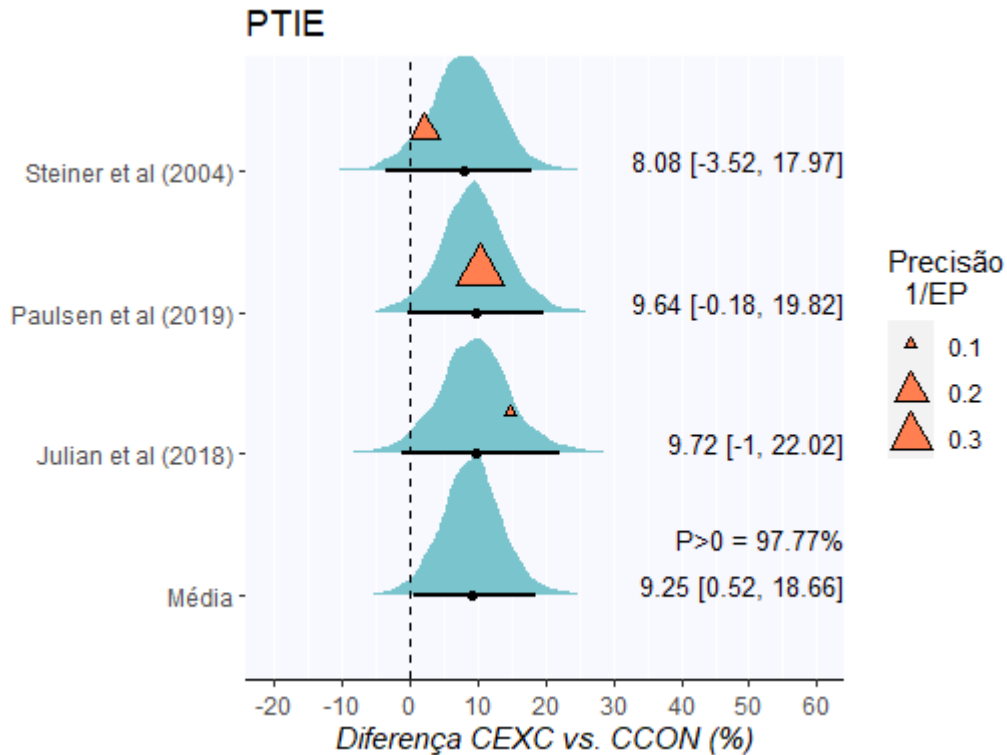


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; M: sexo masculino; M/F: sexo masculino e feminino; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; τ : tau.

5.6.3 Pico de torque isocinético excêntrico

Três estudos selecionados avaliaram as mudanças no PTIE induzidas pelo treinamento de CEXC comparado com o treinamento de CCON (n participantes = 58). A distribuição posterior do efeito médio populacional estimado indica um efeito mais favorável para o treinamento de CEXC comparado ao CCON ($\mu = 9,25\%$ [IC 95%; 0,52 %, 18,66%]) no PTIE (Figura 27). O efeito médio meta-analisado indica a probabilidade de 97,77% de o CEXC induzir maior aumento no PTIE.

Figura 27 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) no pico de torque isocinético excêntrico.

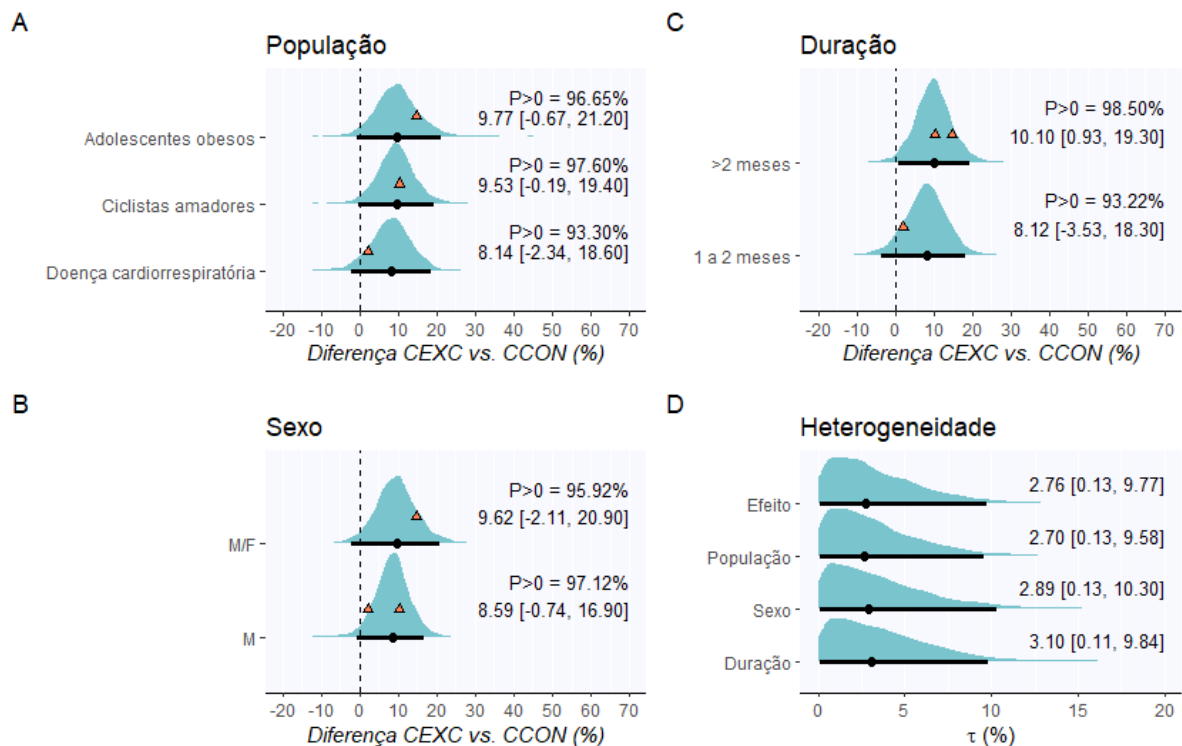


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; P > 0: área da distribuição posterior maior que zero; PTIE: pico de torque isocinético excêntrico.

Os resultados para os grupos dentro do nível população (Figura 28 A), revelam efeitos mais favoráveis para o treinamento de CEXC comparado ao CCON em adolescentes obesos ($\mu = 9,77\%$ [-0,69%, 21,20%]; P > 0 = 96,65%), ciclistas amadores ($\mu = 9,53\%$ [-0,19%, 19,40%]; P > 0 = 97,60%) e pacientes com doença cardiorrespiratória ($\mu = 8,14\%$ [-2,34%, 18,60%]; P

$> 0 = 93,30\%$). As análises no nível sexo (Figura 28 B), indicam efeitos semelhantes entre os estudos que recrutaram participantes de ambos os sexos ($\mu = 9,62\%$ $[-2,11\%, 20,90\%]$; $P > 0 = 95,92\%$) e aqueles que recrutaram apenas indivíduos do sexo masculino ($\mu = 8,59\%$ $[-0,74\%, 16,90\%]$; $P > 0 = 97,12\%$). As análises do nível duração dos protocolos de treinamento (Figura 28 C) revelaram efeitos semelhantes entre os estudos que utilizaram intervenções com duração de 1 a 2 meses ($\mu = 8,12\%$ $[-3,53\%, 18,30\%]$; $P > 0 = 93,22\%$) e aqueles que utilizaram intervenções com duração maior que 2 meses ($\mu = 10,10\%$ $[0,93\%, 19,30\%]$; $P > 0 = 98,50\%$). A heterogeneidade entre estudos foi moderada ($\tau_{\text{Efeito}} = 2,76\%$ $[0,13\%, 9,77\%]$), assim como a heterogeneidade observada entre os grupos dentro de cada nível analisado ($\tau_{\text{População}} = 2,70\%$ $[0,13\%, 9,58\%]$; $\tau_{\text{Sexo}} = 2,89\%$ $[0,13\%, 10,30\%]$; $\tau_{\text{Duração}} = 3,10\%$ $[0,11\%, 9,84\%]$) (Figura 28 D).

Figura 28 – Distribuições posteriores dos efeitos dos grupos dentro dos níveis população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) no pico de torque isocínético excêntrico e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (D).

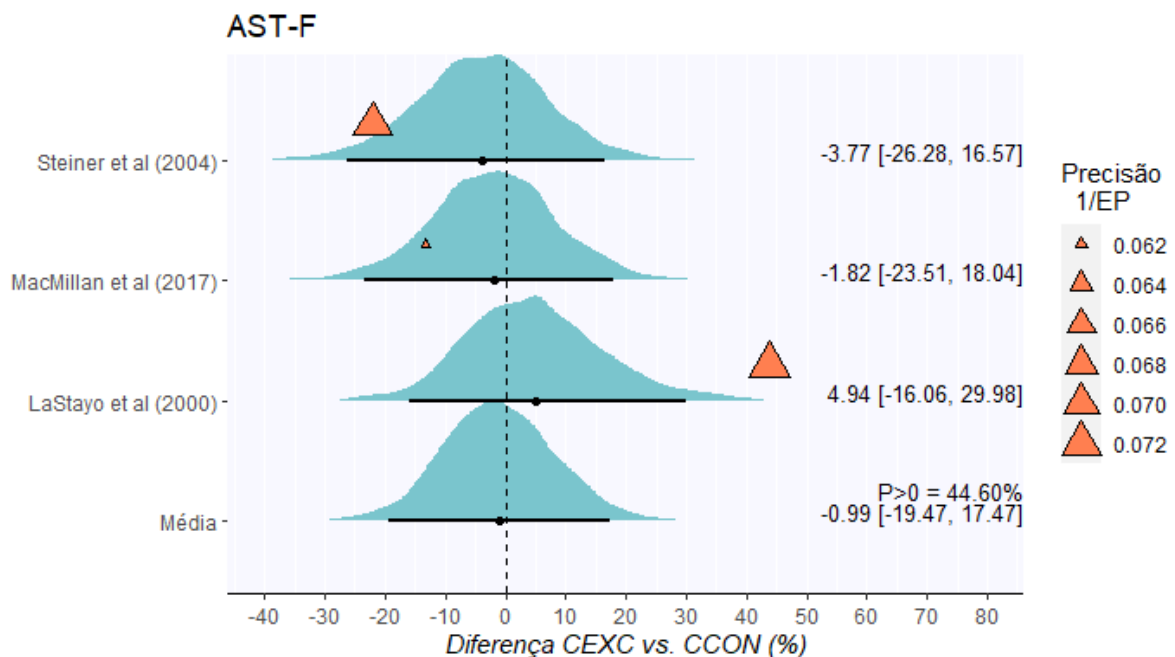


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; M: sexo masculino; M/F: sexo masculino e feminino; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; τ : tau.

5.6.4 Área de secção transversa da fibra muscular

Três estudos selecionados avaliaram as mudanças na AST-F induzidas pelo treinamento de CEXC comparado com o treinamento de CCON (n participantes = 40). A distribuição posterior estimada do efeito médio populacional indicou um efeito semelhante ($\mu = -0,99\%$ [-19,47%, 17,47%]; $P > 0 = 44,60\%$) do treinamento de CEXC e CCON na AST-F (Figura 29).

Figura 29 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na área de secção transversa de fibras musculares do vasto lateral.

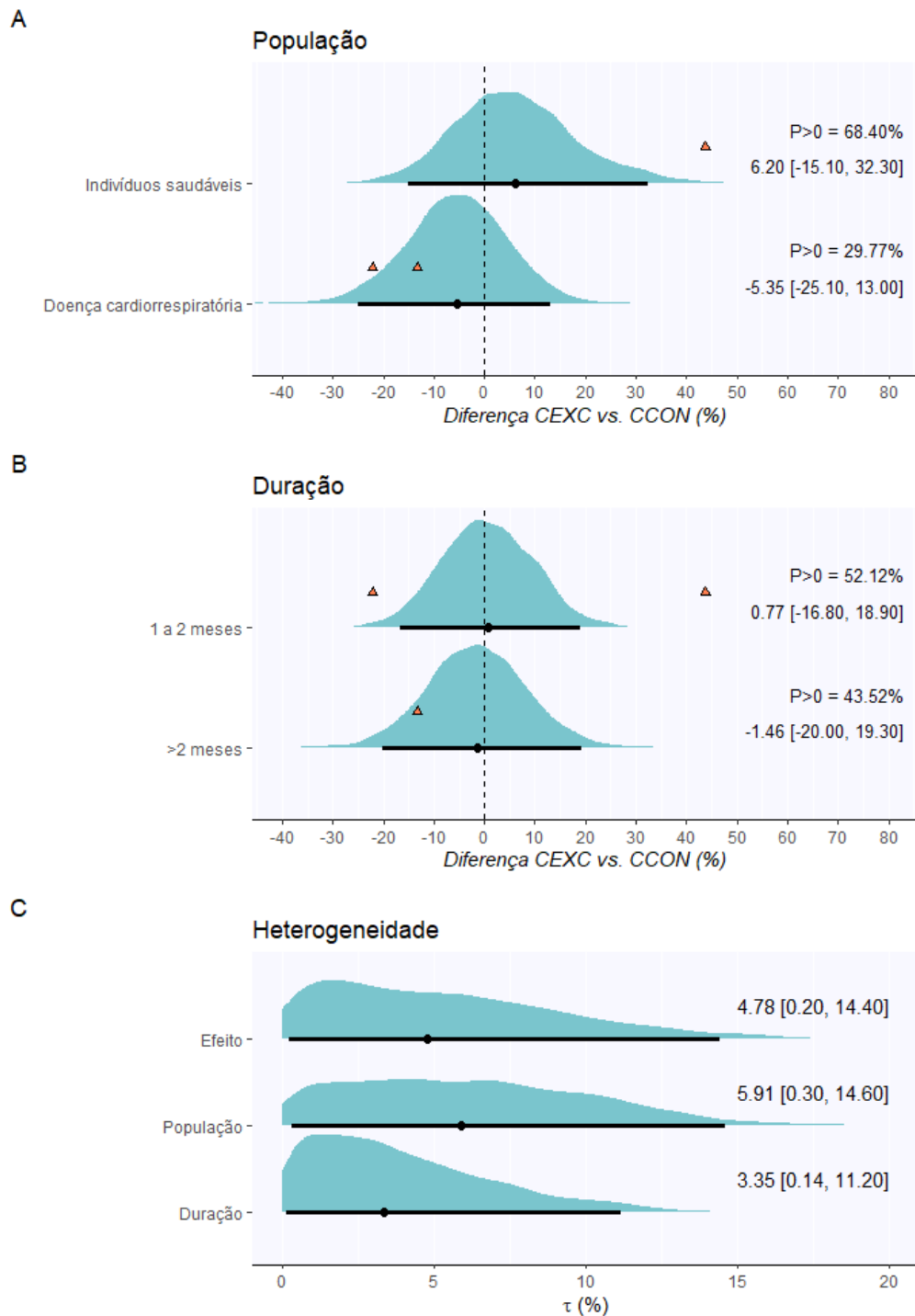


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). AST-F: área de secção transversa de fibras musculares; CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero.

As análises do nível população (Figura 30 A), mostram um efeito mais favorável para o CEXC comparado ao CCON em indivíduos saudáveis ($\mu = 6,20\%$ [-15,10%, 32,30%]) e mais favorável para CCON comparado ao CEXC em pacientes com doenças cardiorrespiratórias ($\mu = -5,35\%$ [-25,10%, 13,00%]). As distribuições posteriores estimadas indicam a probabilidade de 68,40% e 29,77% de indivíduos saudáveis e pacientes com doenças cardiorrespiratórias, respectivamente, apresentarem maiores aumentos na AST-F após o treinamento de CEXC comparado ao CCON (valores de $P > 0$; Figura 30 A). As análises do nível duração do

treinamento (Figura 30 B) indicam efeitos semelhantes entre os estudos que utilizaram intervenções com duração de 1 a 2 meses ($\mu = 0,77\%$ [-16,80%, 18,90%]; $P > 0 = 52,12\%$) e aqueles que utilizaram intervenções com duração maior que 2 meses ($\mu = -1,46\%$ [-20,00%, 19,30%]; $P > 0 = 43,52\%$). Foi possível identificar grande heterogeneidade entre estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 4,78\%$ [0,20%, 14,40%]) e entre os grupos do nível população ($\tau_{\text{População}} = 5,91\%$ [0,30%, 14,60%]) (Figura 30 C).

Figura 30 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro do nível população (A), nível duração do treinamento (B) na área de secção transversa de fibras musculares do vasto lateral e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).



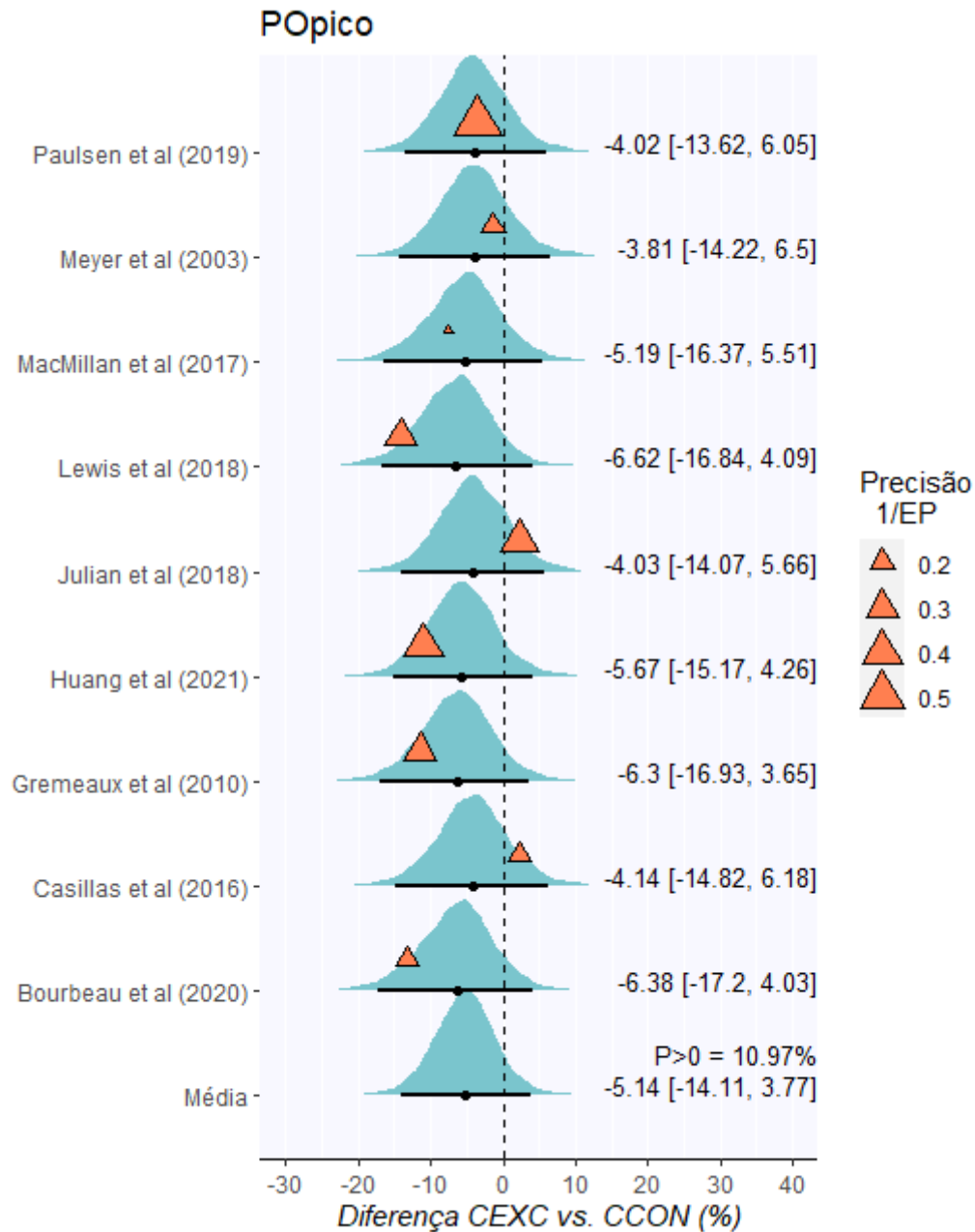
Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; τ : tau.

5.6.5 Potência pico

Nove dos 13 estudos selecionados para análise das respostas crônicas ao CEXC comparado com o CCON avaliaram a PO_{pico} (n participantes = 195). A distribuição posterior do efeito médio populacional meta-analisado mostra um efeito mais favorável para o treinamento de CCON comparado ao CEXC ($\mu = -5,14\%$ [-14,11%, 3,37%]) na PO_{pico} (Figura 31). O efeito médio meta-analisado indica uma probabilidade posterior mais favorável ao treinamento de CCON em induzir maior aumento na PO_{pico} ($P < 0 = 89,03\%$) (i.e., área da distribuição posterior localizada 89,03% abaixo de zero).

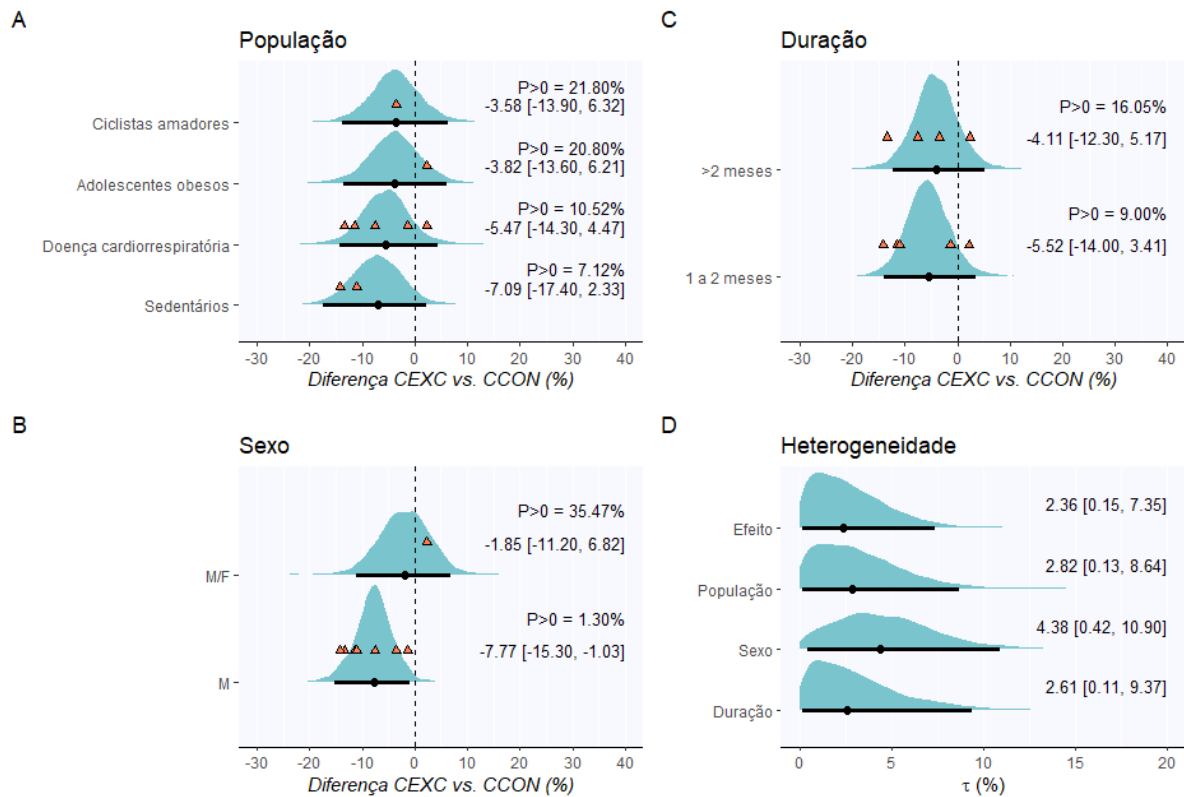
As análises do nível população (Figura 32 A), mostram efeitos mais favoráveis para o CCON em indivíduos sedentários ($\mu = -7,09\%$ [-17,40%, 2,33%]; $P > 0 = 7,12\%$) e pacientes com doenças cardiorrespiratórias ($\mu = -5,47\%$ [-14,30%, 4,47%]; $P > 0 = 10,52\%$) comparado com adolescentes obesos ($\mu = -3,82\%$ [-13,60%, 6,21%]; $P > 0 = 20,80\%$) e ciclistas amadores ($\mu = -3,58\%$ [-13,90%, 6,32%]; $P > 0 = 21,80\%$). As análises do nível sexo (Figura 32 B), revelam efeitos mais favoráveis para o treinamento de CCON em estudos com indivíduos do sexo masculino ($\mu = -7,77\%$ [-15,30%, -1,03%]; $P > 0 = 1,30\%$) comparado com estudos que recrutaram participantes de ambos os sexos ($\mu = -1,85\%$ [-11,20%, 6,82%]; $P > 0 = 35,47\%$). As análises do nível duração do treinamento (Figura 32 C) mostram efeitos mais favoráveis ao CCON comparado ao CEXC em estudos que utilizaram intervenções com duração maior que 2 meses ($\mu = -4,11\%$ [-12,13%, 5,17%]; $P > 0 = 16,05\%$) e estudos que utilizaram intervenções com duração entre 1 e 2 meses ($\mu = -5,52\%$ [-14,00%, 3,41%]; $P > 0 = 9,00\%$). Considerável heterogeneidade foi identificada entre os grupos no nível sexo ($\tau_{Sexo} = 4,38\%$ [0,42%, 10,90%]) (Figura 32 D).

Figura 31 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na potência pico.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / EP$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; PO_{pico} : potência pico.

Figura 32 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro do nível população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) na potência pico e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro de cada nível (D).



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; M: sexo masculino; M/F: sexo masculino e feminino; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; τ : tau.

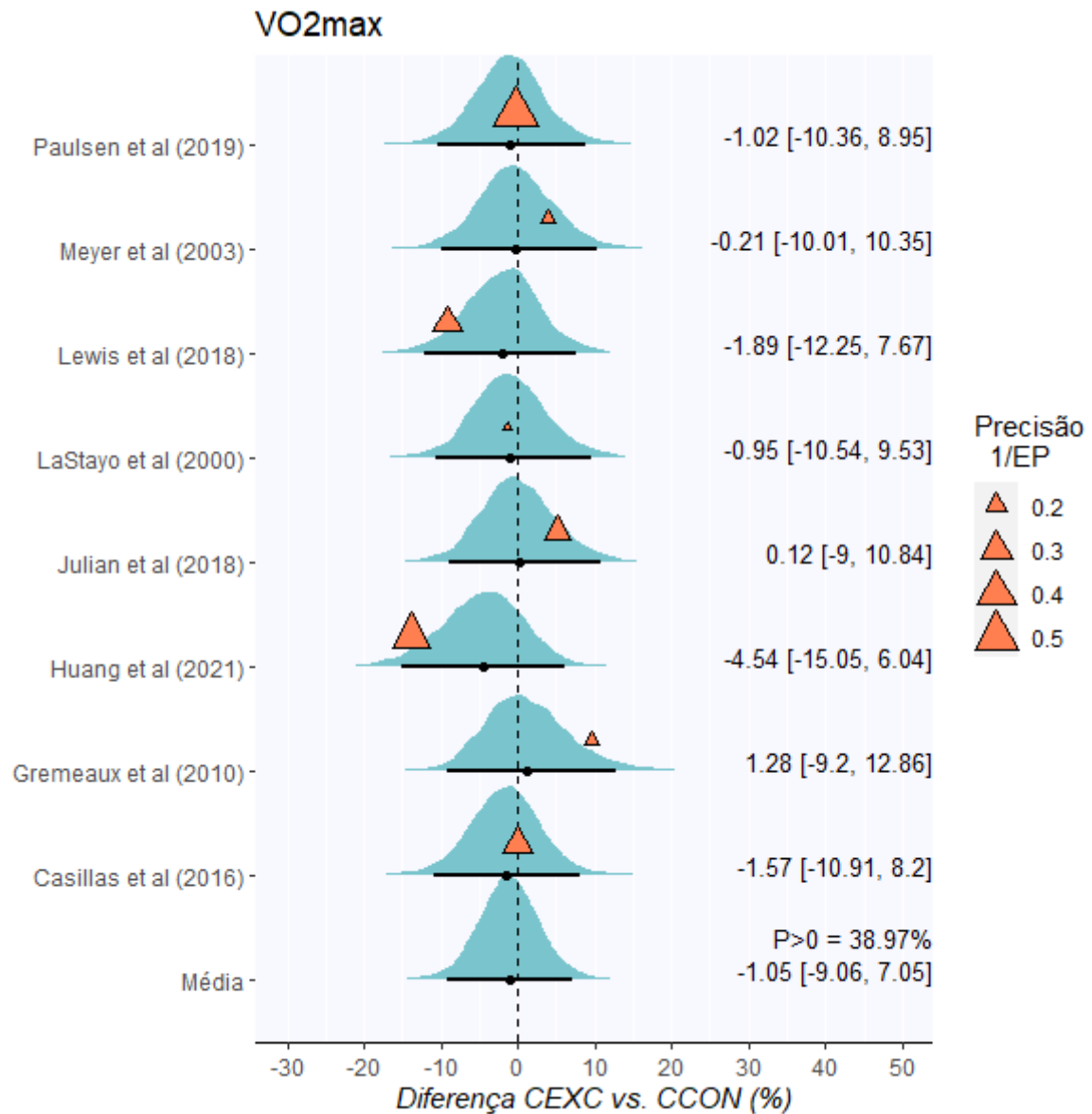
5.6.6 Consumo máximo de oxigênio

Oito estudos selecionados avaliaram as mudanças no VO_{2max} induzidas pelo treinamento de CEXC comparado com o treinamento de CCON (n participantes = 169). O efeito médio populacional meta-analisado indica um efeito semelhante ($\mu = -1,05\%$ [-9,06%, 7,05%]) do treinamento de CEXC e CCON no VO_{2max} (Figura 33). A distribuição do efeito médio meta-analisado indica menor probabilidade ($P > 0 = 38,97\%$) do treinamento de CEXC induzir maior aumento no VO_{2max} comparado ao CCON.

As análises do nível população (Figura 34 A), indicam que pacientes com doenças cardiorrespiratórias podem obter efeitos mais favoráveis com o treinamento de CEXC comparado ao CCON ($\mu = 2,26\%$ [-6,63%, 12,20%]; $P > 0 = 69,17\%$); adolescentes obesos ($\mu = 1,24\%$ [-8,61%, 11,30%]; $P > 0 = 58,87\%$), indivíduos saudáveis ($\mu = -0,66\%$ [-11,00%,

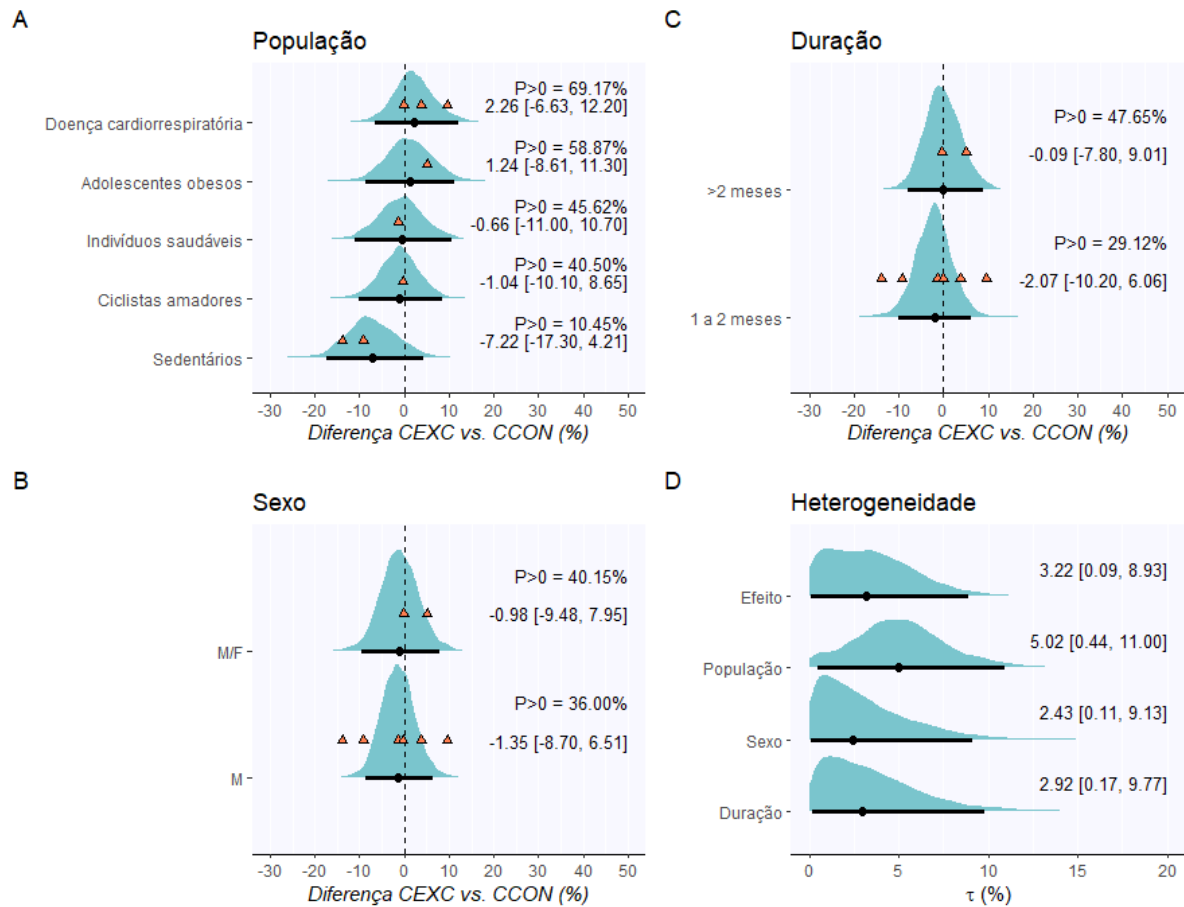
10,70%]; $P > 0 = 45,62\%$) e ciclistas amadores ($\mu = -1,04\%$ [-10,10%, 8,65%]; $P > 0 = 40,50\%$) apresentam efeitos semelhantes com o treinamento de CEXC comparado ao CCON e, indivíduos sedentários, mostram efeitos mais favoráveis ao treinamento CCON comparado ao CEXC ($\mu = -7,22\%$ [-17,30%, 4,21%]; $P > 0 = 10,45\%$). Para o nível sexo, o efeito meta-analisado foi semelhante entre os grupos (M/F: $\mu = -0,98\%$ [-9,48%, 7,95%], $P > 0 = 40,15\%$; M: $\mu = -1,35\%$ [-8,70%, 6,51%], $P > 0 = 36,00\%$) (Figura 34 B).

As análises do nível duração da intervenção (Figura 34 C) revelam um efeito semelhante entre o CEXC e CCON no VO_{2max} nos estudos que usaram protocolos de treinamento com duração maior que 2 meses ($\mu = -0,09\%$ [-7,80%, 9,01%]; $P > 0 = 47,65\%$), e um efeito mais favorável ao CCON comparado ao CEXC nos estudos com intervenções de duração entre 1 a 2 meses ($\mu = -2,07\%$ [-10,20%, 6,06%]; $P > 0 = 29,12\%$). Foi possível identificar grande heterogeneidade entre os grupos no nível população ($\tau_{População} = 5,02\%$ [0,44%, 11,00%]) (Figura 34 D).

Figura 33 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) no consumo máximo de oxigênio.

Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão (1 / EP). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; P > 0: área da distribuição posterior maior que zero; VO_{2max}: consumo máximo de oxigênio.

Figura 34 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro do nível população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) no consumo máximo de oxigênio e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro de cada nível (D).



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; M: sexo masculino; M/F: sexo masculino e feminino; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; τ : tau.

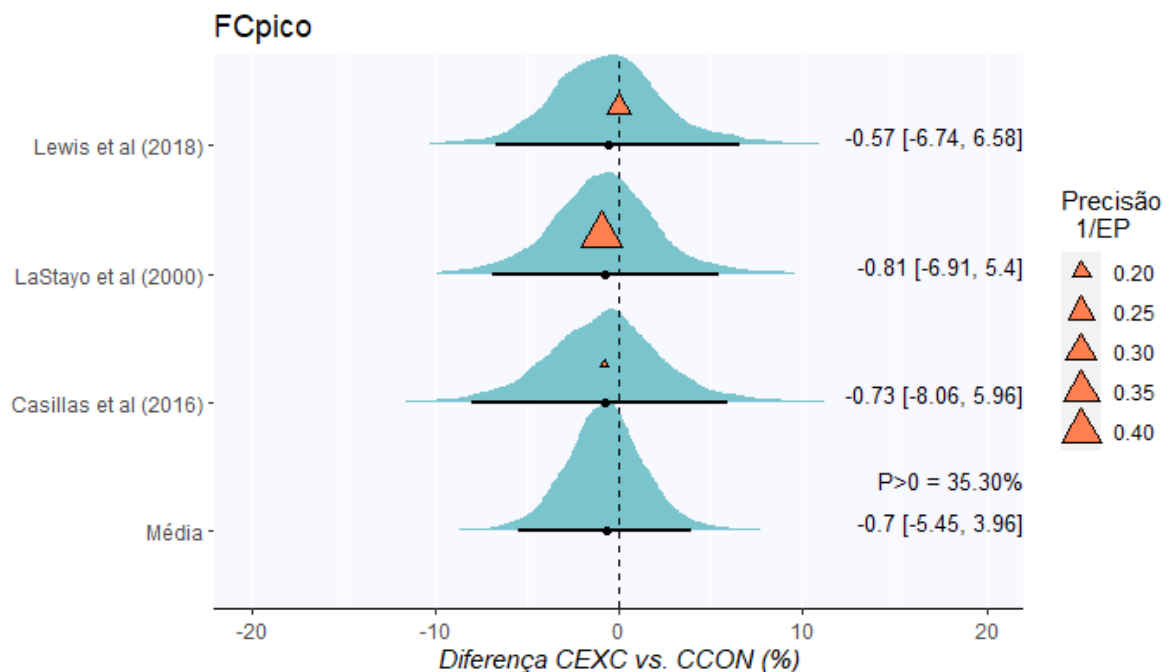
5.6.7 Frequência cardíaca pico

Três estudos selecionados avaliaram as mudanças na FC_{pico} induzidas pelo treinamento de CEXC comparado com o treinamento de CCON (n participantes = 72). A distribuição posterior do efeito médio populacional indica um efeito semelhante do treinamento de CEXC e CCON na FC_{pico} ($\mu = -0,70\%$ [-5,45%, 3,96%]) (Figura 35). O efeito médio populacional meta-analisado mostra uma probabilidade posterior de 35,30% do efeito ser mais favorável para o treinamento CEXC comparado ao CCON.

As análises do nível população (Figura 36 A) mostram efeitos semelhantes entre o treinamento de CEXC e CCON em participantes sedentários ($\mu = -0,55\%$ [-6,80%, 5,87%]; P

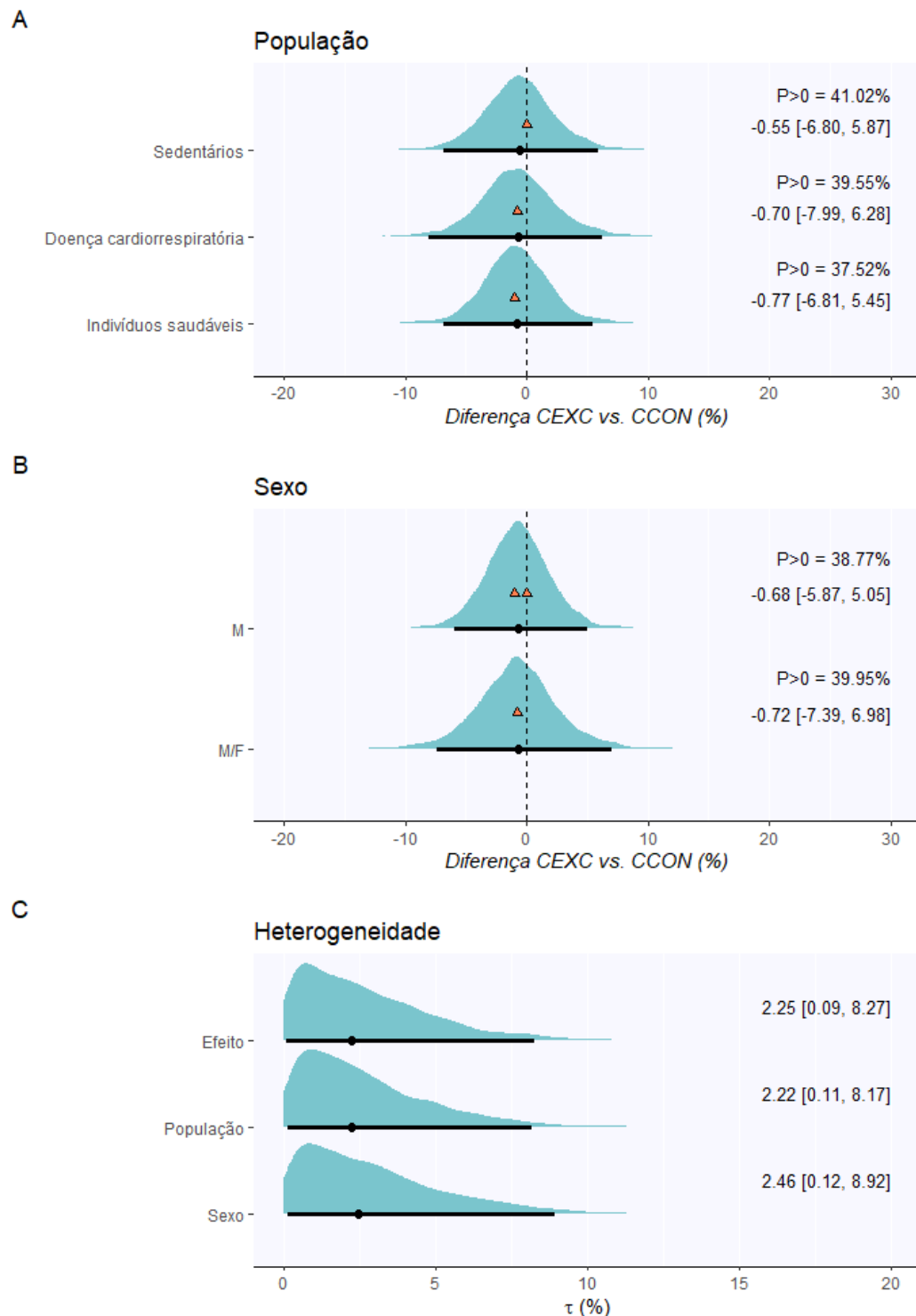
$> 0 = 41,02\%$), pacientes com doença cardiorrespiratória ($\mu = -0,70\%$ $[-7,99\%, 6,28\%]$; $P > 0 = 39,55\%$) e indivíduos saudáveis ($\mu = -0,77\%$ $[-6,81\%, 5,45\%]$; $P > 0 = 37,52\%$). As análises do nível sexo (Figura 36 B) indicam efeitos semelhantes entre os estudos que recrutaram apenas participantes do sexo masculino ($\mu = -0,68\%$ $[-5,87\%, 5,05\%]$; $P > 0 = 38,77\%$) e aqueles que recrutaram participantes do sexo masculino e feminino ($\mu = -0,72\%$ $[-7,39\%, 6,98\%]$; $P > 0 = 39,95\%$). A heterogeneidade foi similar entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis população e sexo (Figura 36C).

Figura 35 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na frequência cardíaca pico.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / EP$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; FC_{pico}: frequência cardíaca pico; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero.

Figura 36 – Distribuições posteriores dos efeitos em grupo dentro dos níveis população (A) e sexo (B) na frequência cardíaca pico e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; M: sexo masculino; M/F: sexo masculino e feminino; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; τ : tau.

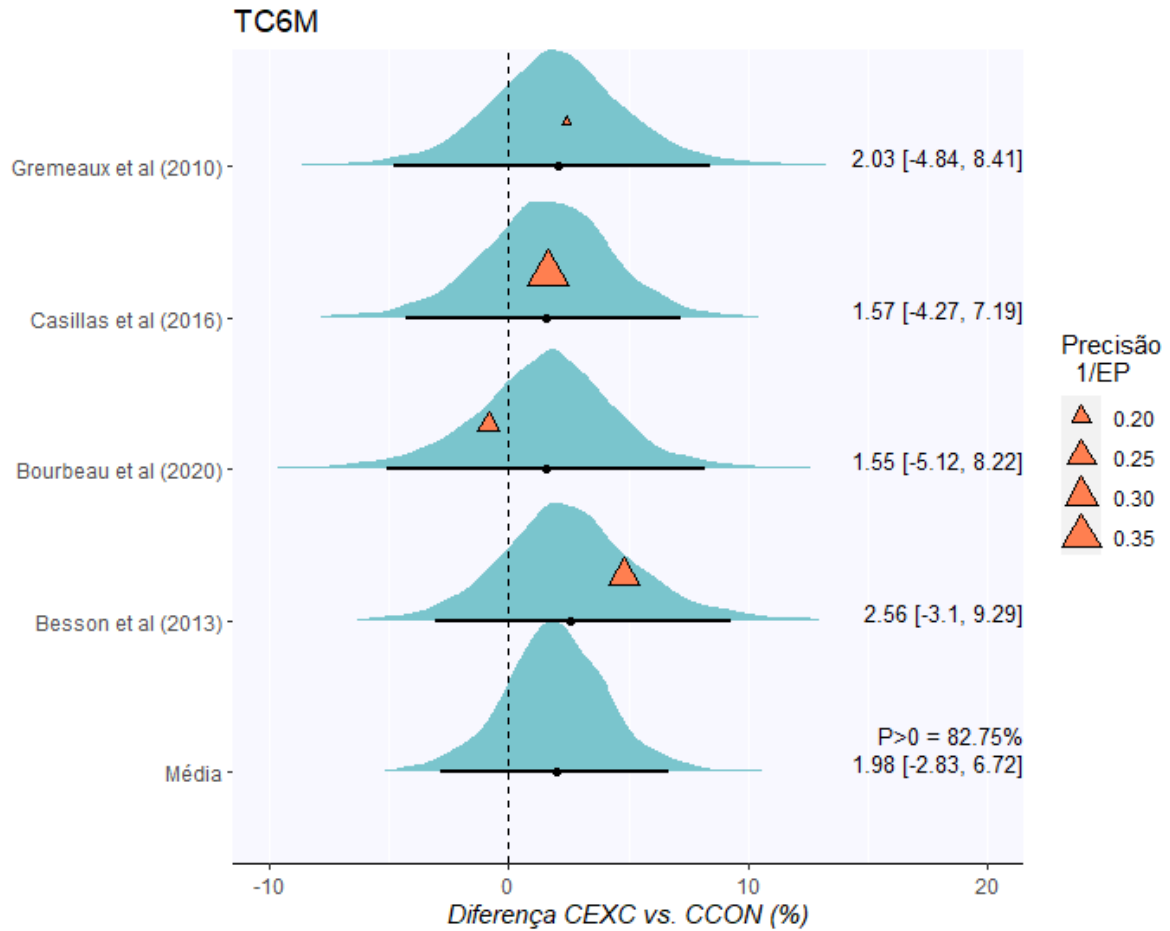
5.6.8 Distância percorrida em teste de caminhada de 6 minutos

Um total de 3 estudos selecionados avaliou as mudanças na distância percorrida em TC6M induzidas pelo treinamento de CEXC comparado com o treinamento de CCON (n participantes = 80). A distribuição posterior estimada do efeito médio populacional indica um efeito mais favorável para o treinamento de CEXC comparado ao CCON ($\mu = 1,98\%$ [-2,83%, 6,72%]) na distância percorrida em TC6M (Figura 37). A probabilidade de o efeito médio meta-analisado ser mais favorável para o treinamento de CEXC é de 82,75%.

As análises do nível duração (Figura 38 A), revelam efeitos mais favoráveis para o treinamento de CEXC comparado ao CCON tanto nos estudos com protocolos de treinamento com duração de 1 a 2 meses ($\mu = 2,32\%$ [-3,04%, 7,60%]; $P > 0 = 83,47\%$), quanto nos estudos com protocolos que duraram mais que 2 meses ($\mu = 1,39\%$ [-5,63%, 8,29%]; $P > 0 = 70,07\%$).

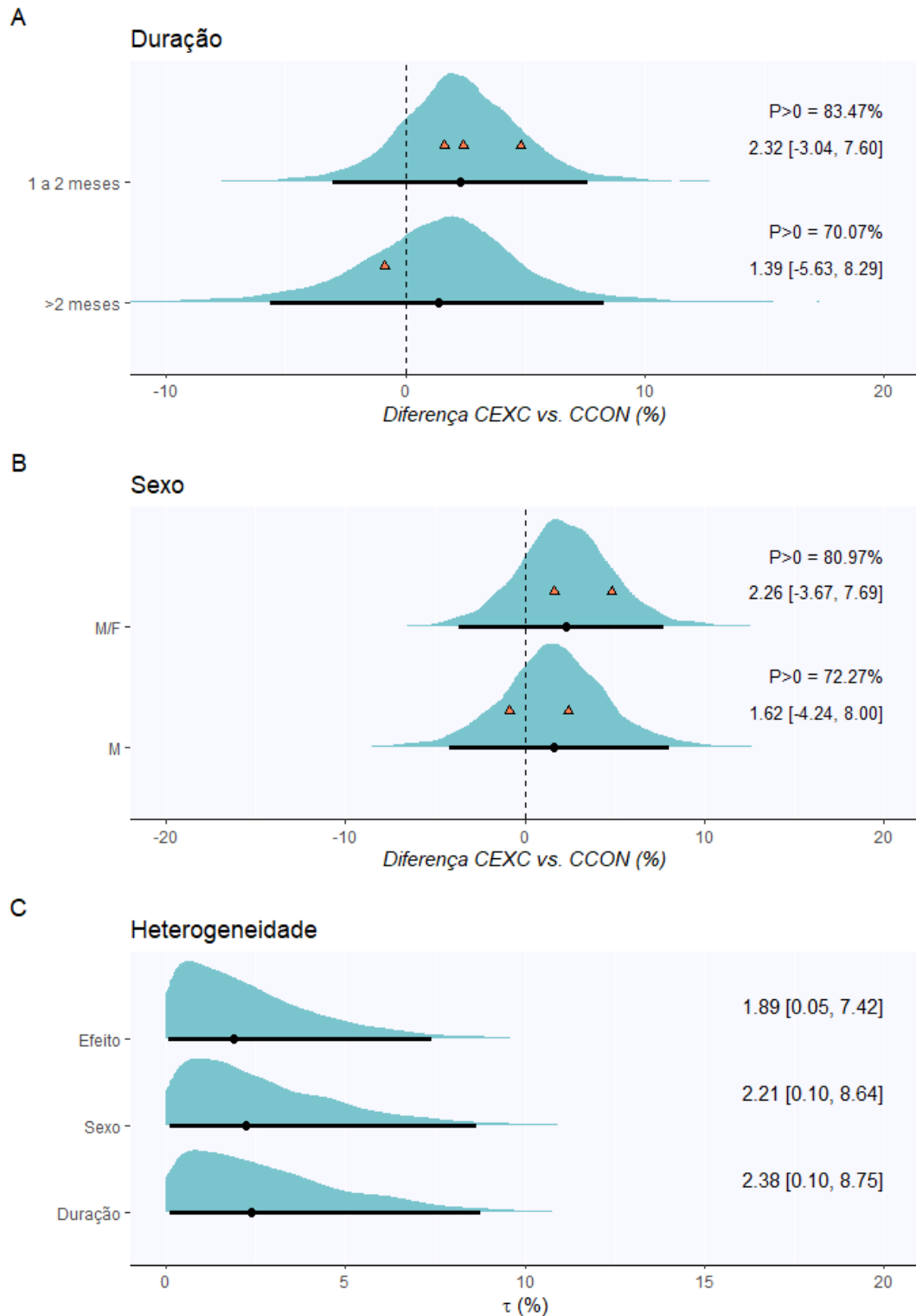
As análises do nível sexo (Figura 38 B), indicam efeitos semelhantes entre os estudos que recrutaram participantes de ambos os sexos ($\mu = 2,26\%$ [-3,67%, 7,69%]; $P > 0 = 80,97\%$) e aqueles que recrutaram apenas indivíduos do sexo masculino ($\mu = 1,62\%$ [-4,24%, 8,00%]; $P > 0 = 72,27\%$). A heterogeneidade entre estudos foi baixa ($\tau_{\text{Efeito}} = 1,89\%$ [0,05%, 7,42%]), assim como a heterogeneidade observada entre os grupos em cada nível analisado ($\tau_{\text{Sexo}} = 2,21\%$ [0,10%, 8,64%]; $\tau_{\text{Duração}} = 2,38\%$ [0,10%, 8,75%]) (Figura 38 C).

Figura 37 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos.



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / EP$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; TC6M: teste de caminhada de 6 minutos.

Figura 38 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro dos níveis duração do treinamento (A) e sexo (B) na distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (C).

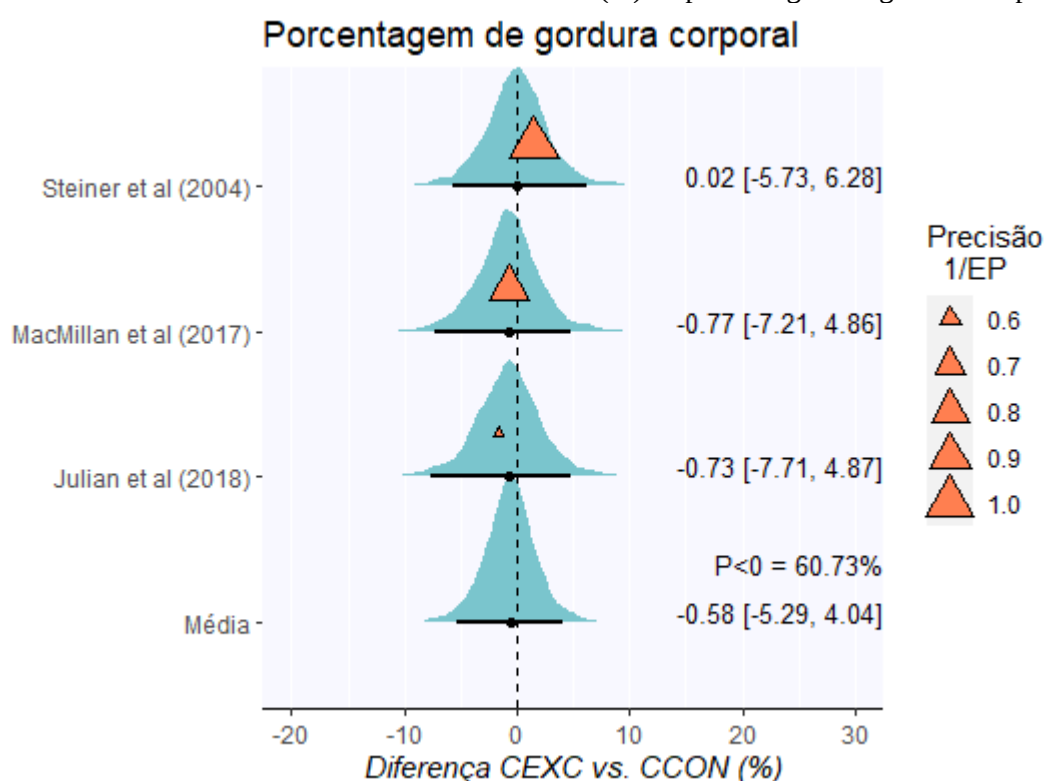


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; M: sexo masculino; M/F: sexo masculino e feminino; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; τ : tau.

5.6.9 Porcentagem de gordura corporal

Três estudos selecionados avaliaram as mudanças na porcentagem de gordura corporal induzidas pelo treinamento de CEXC comparado com o treinamento de CCON (n participantes = 50). A estimativa do efeito médio populacional mostrou um efeito semelhante entre o treinamento de CEXC e CCON ($\mu = -0,58\%$ [-5,29%, 4,04%]; $P < 0 = 60,73\%$) na porcentagem de gordura corporal (Figura 39).

Figura 39 – Gráfico de floresta dos tamanhos de efeito (%) na porcentagem de gordura corporal.

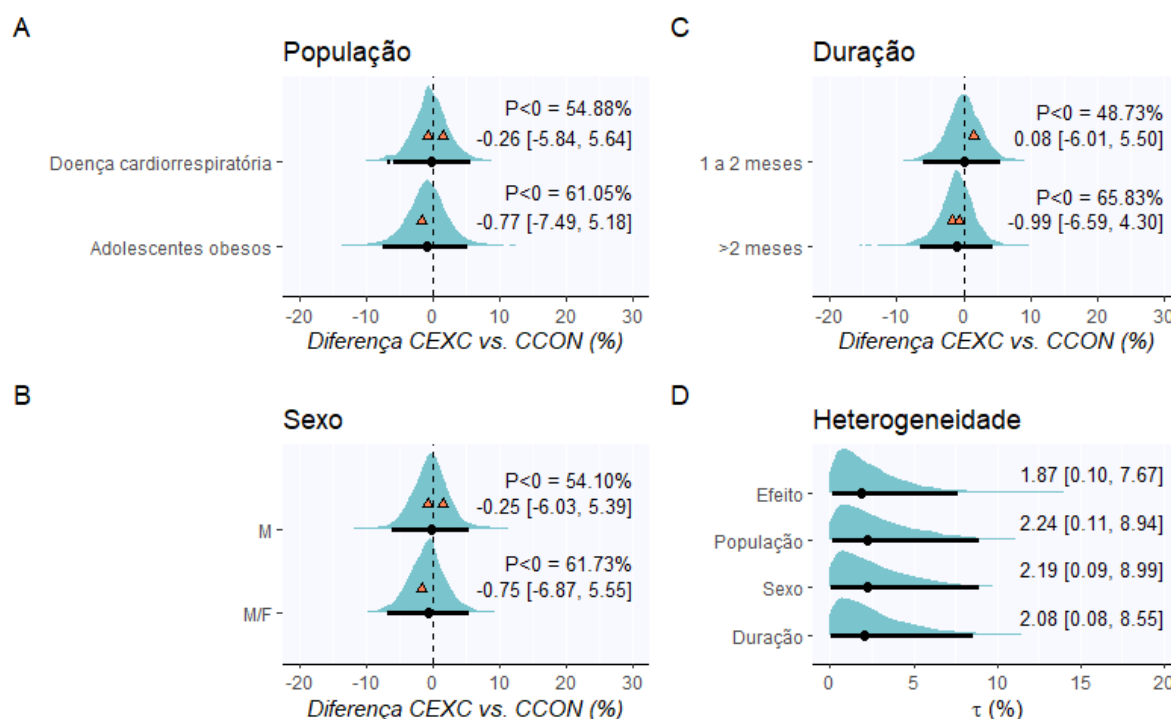


Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos, e seus tamanhos, representam a precisão do efeito, apresentada como o inverso do erro padrão ($1 / EP$). CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; EP: erro padrão; $P < 0$: área da distribuição posterior menor que zero.

As análises do nível população (Figura 40 A) mostram efeitos semelhantes em pacientes com doenças cardiorrespiratórias ($\mu = -0,26\%$ [-5,84%, 5,64%]; $P < 0 = 54,88\%$) e adolescentes obesos ($\mu = -0,77\%$ [-7,49%, 5,18%]; $P < 0 = 61,05\%$). As análises do nível sexo (Figura 40 B) revelam efeitos semelhantes entre o CCON e CEXC em estudos contendo somente participantes do sexo masculino ($\mu = -0,25\%$ [-6,03%, 5,39%]; $P < 0 = 54,10\%$) e estudos contendo participantes do sexo masculino e feminino ($\mu = -0,75\%$ [-6,87%, 5,55%]; $P < 0 = 61,73\%$).

As análises do nível duração (Figura 40 C) mostram efeitos semelhantes entre os estudos que utilizaram intervenções com duração de 1 a 2 meses ($\mu = 0,08\%$ [-6,01%, 5,50%]; $P < 0 = 48,73\%$) e aqueles que utilizaram intervenções com duração maior que 2 meses ($\mu = -0,99\%$ [-6,59%, 4,30%]; $P < 0 = 65,83\%$). A heterogeneidade foi baixa entre estudos ($\tau_{\text{Efeito}} = 1,87\%$ [0,10%, 7,67%]) e em entre todos os grupos dentro dos níveis ($\tau_{\text{População}} = 2,24\%$ [0,11%, 8,94%]; $\tau_{\text{Sexo}} = 2,19\%$ [0,09%, 8,99%]; $\tau_{\text{Duração}} = 2,08\%$ [0,08%, 8,55%]) (Figura 40 D).

Figura 40 – Distribuições posteriores dos efeitos em cada grupo dentro do nível população (A), sexo (B) e duração do treinamento (C) na porcentagem de gordura corporal e heterogeneidade entre os efeitos individuais e entre os grupos dentro dos níveis (D).



Fonte: elaborado pelo autor. Legenda: As densidades representam as estimativas do modelo (i.e., distribuição posterior). Os pontos e linhas pretas representam a média estimada do tamanho do efeito e o intervalo de credibilidade de 95%, respectivamente. Os triângulos representam os efeitos das médias observadas nos estudos. CCON: ciclismo concêntrico; CEXC: ciclismo excêntrico; M: sexo masculino; M/F: sexo masculino e feminino; $P > 0$: área da distribuição posterior maior que zero; τ : tau.

6 DISCUSSÃO

O principal objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática da literatura em busca de todos os estudos que investigaram respostas fisiológicas agudas e crônicas ao CEXC e CCON, para combinar seus resultados e fornecer estimativas precisas das diferenças entre as duas modalidades. Os resultados do presente estudo mostram que as respostas cardiorrespiratórias, metabólicas e psicofisiológicas foram menores durante sessões de CEXC comparado com sessões de CCON realizadas com a mesma PO. As meta-análises dos estudos que envolveram sessões de CEXC e CCON realizadas com o mesmo VO_2 , indicam que as sessões de CEXC precisaram ser realizadas em uma PO 179,67% maior que a utilizada nas sessões de CCON, para que as duas modalidades atingissem o mesmo VO_2 e, nessa condição, o CEXC induziu maior estresse cardiovascular que o CCON. Os resultados deste estudo também revelam que o treinamento de CEXC induziu aumentos de maior magnitude em variáveis de força muscular (i.e., PTI, PTIC e PTIE) e capacidade funcional (i.e., distância percorrida em TC6M) comparado ao treinamento de CCON, e promoveu melhorias semelhantes às do CCON no VO_{2max} , FC_{pico} , AST-F e percentagem de gordura corporal.

6.1 Respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com a mesma PO

Uma característica inerente aos exercícios compostos predominantemente por contrações excêntricas é o baixo custo metabólico da produção (ou “absorção”) de trabalho mecânico (ABBOTT et al., 1952; DOUGLAS et al., 2017). Os resultados do presente estudo suportam esta noção, indicando que os valores de VO_2 e [La] são, respectivamente, 50,78% e 76,71% maiores durante sessões de CCON comparados com os valores de VO_2 e [La] obtidos durante sessões de CEXC. Ademais, a distribuição do efeito médio populacional meta-analisado indicou 0% de probabilidade de os valores de VO_2 e [La] serem maiores durante o CEXC comparado ao CCON realizado com a mesma carga de trabalho mecânico. Portanto, é seguro afirmar que sessões de CEXC geram menor estresse metabólico do que sessões de CCON realizadas com a mesma PO.

Um argumento frequentemente utilizado para justificar a prescrição do CEXC para indivíduos frágeis e portadores de doenças crônicas é o menor estresse cardiorrespiratório imposto por sessões de CEXC comparado com sessões de CCON realizadas com a mesma carga de trabalho (LASTAYO et al., 2014; HOPPELER, 2016). A meta-análise dos estudos que

investigaram as respostas fisiológicas agudas às duas modalidades realizadas com a mesma PO, mostrou que existe 0,13% e 0% de probabilidade da VE e FC, respectivamente, serem maiores durante o CEXC comparado com o CCON. Assim, os resultados sugerem que é improvável que o CEXC induza maior estresse cardiorrespiratório que o CCON realizado com a mesma PO. O efeito médio populacional estimado mostrou que a VE durante o CCON foi 41,16% maior do que a VE durante o CEXC, e a FC foi 26,12% maior durante o CCON comparado ao CEXC. Estes resultados sustentam a ideia de que o menor custo metabólico da produção de trabalho excêntrico repercute em respostas cardiorrespiratórias atenuadas durante o CEXC comparado ao CCON realizado com a mesma PO.

A partir das meta-regressões e das análises nos grupos de nível, foi possível identificar as características dos participantes e da prescrição das sessões que influenciaram as diferenças entre as respostas agudas no CEXC e CCON realizados com a mesma carga de trabalho. Os resultados sugerem que a intensidade das sessões pode influenciar o tamanho da diferença no VO_2 e FC entre o CEXC e CCON. As meta-regressões mostram que a diferença de VO_2 entre sessões de CEXC e CCON foi maior quando as modalidades foram realizadas em intensidades (i.e., PO correspondente ao $\%VO_{2max}$) mais altas, enquanto a diferença na FC entre sessões de CEXC e CCON foi menor em intensidades mais altas. A participação de elementos estruturais não contráteis da fibra muscular na produção de força excêntrica pode explicar, em partes, a menor dependência de um aumento no aporte de oxigênio para aumentos na carga de trabalho muscular excêntrico (LINDSTEDT et al., 2001), uma vez que essas estruturas contribuem passivamente para a produção de potência, sem que seja necessária a hidrólise de ATP e, consequentemente, o aumento do VO_2 . Resultados de testes de carga incremental sustentam esta ideia, demonstrando menor proporção de aumento de VO_2 por incremento na carga de trabalho durante o CEXC comparado ao CCON (DUFOUR et al., 2004; LIPSKI et al., 2018a). Ainda, a menor diferença entre a FC no CEXC e CCON observada em sessões com maior intensidade, pode estar relacionada com a maior proporção de aumento na FC por incremento no VO_2 durante sessões incrementais de CEXC comparado ao CCON (LIPSKI et al., 2018a).

A duração das sessões também parece influenciar a diferença da FC entre o CEXC e CCON realizados com a mesma PO. A partir da meta-regressão dos efeitos, foi possível identificar que a diferença entre a FC durante o CEXC e CCON se torna maior à medida que a duração das sessões aumenta. Evidências recentes demonstram que durante sessões de CEXC e CCON de carga constante, a FC apresenta uma fase estável durante os 15 minutos iniciais de exercício excêntrico e, então, aumenta progressivamente até o término da sessão (duração total de 45 minutos), enquanto a FC durante o CCON se manteve estável após os 5 minutos iniciais

da sessão (RAKOBOWCHUK et al., 2018; RITTER et al., 2019). Dessa forma, é possível que os efeitos calculados a partir dos estudos que utilizaram sessões de curta duração tenham sido menores pelo fato da FC durante o CEXC não apresentar este *drift* nos minutos iniciais da sessão.

As meta-regressões mostraram que indivíduos com maior VO_{2max} exibiram diferenças maiores no VO_2 e FC entre o CEXC e CCON realizados com a mesma carga de trabalho. Ainda, as análises nos grupos de nível sexo indicaram que a diferença na VE entre o CEXC e CCON foi maior nos estudos que recrutaram apenas indivíduos do sexo masculino, comparado com os estudos que recrutaram participantes de ambos os sexos. Desta forma, estes resultados sugerem que o VO_{2max} e o sexo dos participantes podem influenciar a diferença nas respostas cardiorrespiratórias entre o CEXC e CCON realizados com a mesma PO. É possível que indivíduos com o VO_{2max} mais elevado, tenham também mais experiência com a prática de exercícios físicos e, conseqüentemente, estejam mais familiarizados ao trabalho muscular excêntrico. Estudos sugerem que a $[La]$ e a FC durante o CEXC se torna menor com o efeito de sessões repetidas (PEÑAILILLO et al., 2013). Contudo, ainda não foi investigado qual é o real impacto do nível de treinamento do indivíduo nas respostas agudas ao CEXC. Ainda, poucos estudos que investigaram as respostas agudas ao CEXC recrutaram participantes do sexo feminino e nenhum dos estudos selecionados incluiu um grupo composto somente por mulheres.

O esforço percebido durante o exercício físico está fortemente associado às perturbações metabólicas e cardiorrespiratórias geradas no organismo (BORG, 1982). Desta forma, o CEXC é sugerido como uma modalidade de exercício que induz pouco estresse psicofisiológico, uma vez que o acúmulo de subprodutos do metabolismo energético e as respostas cardiorrespiratórias são menores durante exercícios excêntricos. De fato, uma revisão de literatura recente indicou que a PSE durante o CCON seria em média 37% maior que a PSE durante o CEXC realizado com a mesma PO, e aproximadamente duas vezes maior no CCON comparado ao CEXC em pacientes com DPOC (CLOS et al., 2019). Os resultados do presente estudo mostram que os valores de PSE observados durante sessões de CEXC foram 14,96% menores do que os valores de PSE obtidos durante sessões de CCON realizadas com a mesma carga de trabalho. Ainda, foi encontrada uma probabilidade mínima (1,48%) da PSE ser maior durante o CEXC comparado ao CCON, e as distribuições posteriores nos grupos de nível população foram semelhantes, ou seja, não indicaram diferenças entre indivíduos saudáveis e portadores de doenças cardiorrespiratórias na PSE ao CEXC e CCON, como reportado previamente na literatura (CLOS et al., 2019). De qualquer forma, os resultados do presente

estudo demonstram que o CEXC induz menor estresse psicofisiológico que o CCON realizado com uma carga de trabalho semelhante e, portanto, consiste em uma modalidade viável para o tratamento de indivíduos com baixa aderência e tolerância ao esforço físico.

6.2 Respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com o mesmo VO₂

As meta-análises das diferenças entre as respostas fisiológicas agudas ao CEXC e CCON realizados com o mesmo VO₂ mostram que o estresse cardiovascular foi maior durante sessões de CEXC. Especificamente, o Q, FC e PAM foram maiores (4,10%, 9,33% e 11,95%, respectivamente) e o VS foi menor (6,11%) durante sessões de CEXC comparado com sessões de CCON. As distribuições posteriores mostram probabilidades de 83,23% a 100,00% de o CEXC induzir respostas maiores de Q, FC e PAM comparadas com as respostas ao CCON. Desta forma, o presente estudo fornece forte evidência de um maior estresse cardiovascular durante sessões de CEXC comparadas com sessões de CCON realizadas com o mesmo VO₂. Isso tem aplicações diretas na prática dos profissionais da saúde que procuram, através da utilização do CEXC, prescrever exercícios físicos de forma mais segura para indivíduos com limitações cardiovasculares. Neste caso, os resultados deste estudo sugerem que a prescrição do CEXC realizada com base no VO₂ de sessões CCON deve ser evitada, considerando a grande probabilidade de uma sobrecarga cardiovascular adicional nessa condição.

Os resultados do presente estudo mostram que, para as duas modalidades de ciclismo serem realizadas com o mesmo VO₂, o CEXC precisou ser realizado com uma PO 179,67% maior que a utilizada para o CCON. Desta forma, as diferenças nas respostas cardiovasculares agudas ao CEXC e CCON realizados com o mesmo VO₂ podem ser atribuídas às diferentes cargas de trabalho mecânico (i.e., tensão muscular) realizadas em cada modalidade (DUFOUR et al., 2006). Embora os principais mecanismos do controle cardiovascular durante o exercício estejam relacionados à demanda metabólica do organismo (ROWELL, 2004; SEALS et al., 1988), a maior tensão muscular gerada durante o CEXC pode ter resultado em uma maior ativação dos mecanorreceptores periféricos, aumentando a ativação simpática e, conseqüentemente, o Q e FC (DUFOUR et al., 2006; RITTER et al., 2019). Ainda, possivelmente, a maior tensão mecânica sobre o tecido muscular gerada durante sessões de CEXC, também prejudique parcialmente o fluxo sanguíneo nos músculos ativos (SADAMOTO et al., 1983), aumentando a resistência vascular periférica (pós-carga) e diminuindo o VS. Caso a resistência vascular periférica seja realmente maior durante sessões de CEXC, isso também

poderia explicar, pelo menos em partes, os valores maiores de PAM durante o CEXC comparado ao CCON realizado com o mesmo VO_2 . Adicionalmente, Eiken et al. (2020) demonstraram que a maior FC observada em sessões de CEXC comparado com o CCON realizado com a mesma carga metabólica, foi associada com um maior estresse térmico produzido pelo exercício excêntrico. Desta forma, é plausível assumir que o maior estresse cardiovascular produzido durante o CEXC comparado com CCON realizado com o mesmo VO_2 está relacionado à maior carga tensional mecânica sobre os músculos ativos e maior estresse térmico gerados pelo CEXC.

A duração das sessões de CEXC e CCON parecem influenciar a diferença de FC entre as duas modalidades realizadas com a mesma carga metabólica. Os resultados da meta-regressão mostram que a diferença de FC entre CEXC e CCON foi maior quando a duração das sessões foi mais longa. As análises dos efeitos de VS nos grupos do nível duração também sugerem que a diferença entre as modalidades é maior em sessões com duração maior. Assim, os resultados deste estudo indicam um importante efeito da duração da sessão sobre os ajustes cardiovasculares durante o CEXC, e sugerem que durações menores sejam utilizadas caso uma maior sobrecarga cardiovascular precise ser evitada.

6.3 Respostas fisiológicas crônicas ao CEXC e CCON

Os resultados da meta-análise dos efeitos crônicos ao treinamento de CEXC e CCON mostraram maior eficácia do CEXC em induzir aumentos na capacidade máxima de produção de força voluntária isométrica (6,64%), concêntrica (10,09%) e excêntrica (9,25%), em comparação ao CCON. As distribuições posteriores das meta-análises dos efeitos nas variáveis de força indicam probabilidades de 96,32% a 99,68% do CEXC induzir maior aumento no PTI, PTIC e PTIE comparado ao CCON. Portanto, a evidência existente indica que o treinamento de CEXC pode ser mais eficaz que o de CCON no desenvolvimento da capacidade máxima de produção de força isométrica, concêntrica e excêntrica de extensão de joelho. A meta-regressão dos efeitos sobre o PTI revelou que indivíduos com maior $\text{VO}_{2\text{max}}$ exibiram maior diferença entre o aumento do PTI após o treinamento de CEXC comparado com o CCON. As análises dos efeitos sobre o PTIC nos grupos do nível população mostraram que os estudos que recrutaram pacientes com doença cardiorrespiratória apresentaram diferenças maiores entre o aumento do PTIC nos grupos de CEXC e CCON, comparado com os estudos que recrutaram

adolescentes obesos e ciclistas amadores. Já a diferença entre o CEXC e CCON em promover aumentos no PTIE não foi diferente entre os grupos dentro do nível população.

Revisões prévias sugerem que exercícios excêntricos podem gerar maior hipertrofia muscular que exercícios concêntricos, devido à maior tensão mecânica imposta sobre as fibras musculares durante as contrações excêntricas (ISNER-HOROBETI et al., 2013; ROIG et al., 2009). A única medida de hipertrofia muscular que foi possível meta-analisar neste estudo foi a AST-F, devido ao pequeno número de estudos que avaliaram a hipertrofia muscular promovida pelo treinamento de CEXC e CCON por meio de métodos mais robustos de avaliação do tamanho muscular (i.e., imagem de ressonância magnética e ultrassom). Os resultados do presente estudo mostraram efeitos semelhantes do treinamento de CEXC e CCON na AST-F (diferença 0,99% a favor do CCON). A distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indicou a probabilidade de 44,60% do treinamento de CEXC induzir aumentos maiores na AST-F. Desta forma, a nível populacional, não houve diferenças significativas entre os efeitos do treinamento de CEXC e CCON na AST-F. No entanto, os efeitos nos grupos do nível população indicam que indivíduos saudáveis exibiram aumentos de maior magnitude na AST-F com o treinamento de CEXC e pacientes com doenças cardiorrespiratória apresentaram um efeito mais favorável com o CCON.

Diferentemente da maioria das modalidades de exercício excêntrico, o CEXC é realizado em intensidades submáximas, de forma cíclica e repetitiva e por longos períodos de tempo (10 a 30 minutos). Dessa forma, além do potente estímulo adaptativo que as contrações excêntricas proporcionam ao sistema neuromuscular (DOUGLAS et al., 2017), foi sugerido que o CEXC pode também induzir adaptações cardiorrespiratórias (BARRETO et al., 2020). Os resultados deste estudo indicam que a diferença entre o efeito do treinamento de CEXC e CCON no VO_{2max} foi pequena (1,05%), assim como a diferença entre o efeito do CEXC e CCON na FC_{pico} (0,70%). As distribuições posteriores dos efeitos médios meta-analisados indicaram probabilidades de 38,97% e 35,30% do CEXC induzir maiores aumentos no VO_{2max} e FC_{pico} , respectivamente, comparado ao CCON. As análises nos grupos de nível população indicaram maior probabilidade de pacientes com doença cardiorrespiratória (69,17%) e adolescentes obesos (58,87%) se beneficiarem com aumentos maiores no VO_{2max} após o treinamento de CEXC comparado com o CCON, enquanto as probabilidades de os grupos de indivíduos saudáveis, ciclistas amadores e participantes sedentários apresentarem maior aumento no VO_{2max} com o CEXC foram menores (45,62%, 40,50% e 10,45%, respectivamente). Contudo, é importante ressaltar que nos estudos incluídos no grupo de participantes sedentários, os protocolos de treinamento de CEXC e CCON foram realizados com a mesma PO (HUANG et

al., 2021; LEWIS et al., 2018), enquanto os estudos incluídos nos demais grupos do nível população utilizaram protocolos de treinamento de CEXC e CCON realizados com a mesma FC (GREMEAUX et al., 2010; LASTAYO et al., 2000), mesmo VO_2 (JULIAN et al., 2018; MEYER et al., 2003) ou PSE semelhantes (CASILLAS et al., 2016; PAULSEN et al., 2019). Desta forma, como discutido anteriormente na literatura (BARRETO et al., 2020) e apresentado neste estudo, o treinamento de CEXC realizado com a mesma PO que o treinamento de CCON pode gerar um estímulo insuficiente para produzir melhoras na capacidade aeróbia dos praticantes, uma vez que nessa condição, o treinamento de CEXC estaria sendo realizado em uma carga metabólica menor.

A única variável meta-analisada neste estudo, sobre a qual o treinamento de CCON induziu maior aumento comparado ao CEXC, foi a PO_{pico} . Os resultados do presente estudo indicam uma diferença de 5,14% entre os efeitos do treinamento de CEXC e CCON na PO_{pico} . A distribuição posterior do efeito médio estimado indicou apenas 10,97% de probabilidade de o efeito ser maior com o treinamento de CEXC. Assim, os resultados do presente estudo indicam que o CEXC é menos eficaz que o CCON para aumentar a PO_{pico} atingida em teste de carga incremental concêntrico.

Uma das aplicações mais discutidas do CEXC é sua implementação em programas de reabilitação de indivíduos frágeis e pacientes com doenças crônicas (LASTAYO et al., 2014; HOPPELER, 2016). Neste contexto, o aperfeiçoamento das capacidades funcionais dos indivíduos é um dos principais objetivos da intervenção. A distância percorrida no TC6M é uma medida importante de capacidade funcional e está associada com a qualidade de vida e longevidade de indivíduos com doenças crônicas e idosos (RASEKABA et al., 2009). Os resultados deste estudo demonstram que o treinamento de CEXC pode induzir maior aumento na distância percorrida no TC6M comparado ao treinamento de CCON. A diferença estimada entre os efeitos do CEXC e CCON na distância percorrida em TC6M foi de 1,98%. Embora a diferença entre os efeitos tenha sido pequena, a distribuição posterior do efeito médio populacional indicou que a probabilidade de o CEXC ter um efeito maior sobre a distância percorrida em TC6M é de 82,75%. Ainda, a meta-análise dos efeitos sobre o TC6M incluiu apenas estudos com pacientes de doenças cardiorrespiratórias. Portanto, é possível sugerir que o CEXC é uma alternativa viável para desenvolver a capacidade funcional de indivíduos com doenças cardiorrespiratórias.

A redução na porcentagem de gordura corporal é um desfecho importante no tratamento de doenças crônicas e obesidade (FERGUSON, 2014). Para este fim, exercícios aeróbios como a corrida e o CCON são amplamente utilizados (DONNELLY et al., 2009). Os resultados deste

estudo mostram que a diferença entre o efeito do treinamento de CEXC e CCON na porcentagem de gordura corporal foi 0,58% a favor do CEXC. Ainda, a distribuição posterior do efeito médio meta-analisado indicou a probabilidade de 60,73% de o CEXC induzir maior redução na porcentagem de gordura corporal. Deste modo, estes resultados indicam que o CEXC é uma modalidade de exercício eficaz para reduzir a porcentagem de gordura corporal, uma vez que apresentou efeitos semelhantes ao do treinamento de CCON, amplamente utilizado para este fim.

Desta forma, em termos gerais, os resultados deste estudo sugerem que o treinamento de CEXC oferece mais vantagens do que o treinamento de CCON, por ser mais eficaz em promover melhoras em variáveis de força muscular e capacidade funcional, e ao mesmo tempo, induzir mudanças em medidas de capacidade cardiorrespiratória, composição corporal e hipertrofia muscular semelhantes às induzidas pelo treinamento de CCON. Em contrapartida, o treinamento de CCON mostrou ser mais vantajoso apenas para o desenvolvimento da PO_{pico} atingida em teste de carga incremental concêntrico. Estes resultados sustentam a implementação do CEXC em programas de reabilitação e tratamento de indivíduos frágeis e portadores de doenças cardiorrespiratórias, uma vez que, neste contexto, melhorias na força muscular e na capacidade funcional dos indivíduos estão fortemente associadas com maior qualidade de vida e longevidade (RASEKABA et al., 2009; SINGH et al., 2014; TAYLOR et al., 2019).

6.4 Limitações

Existem algumas limitações que devem ser consideradas ao interpretar os resultados do presente estudo. O número de estudos que avaliaram a VE e a $[La]$ durante sessões de CEXC e CCON realizados com a mesma PO foi pequeno (4 e 3, respectivamente), assim como o número de estudos que avaliaram o Q, VS e PAM durante sessões de CEXC e CCON realizados com o mesmo VO_2 (3 estudos em cada variável). As meta-análises do efeito do treinamento sobre o PTIC, PTIE, AST-F, FC_{pico} , TC6M e porcentagem de gordura corporal também foram conduzidas com poucos estudos (3 a 4 estudos). Desta forma, a precisão das estimativas dos efeitos combinados (i.e., efeito médio populacional) pode ter sido afetada nestas variáveis (BORENSTEIN et al., 2009).

Os estudos incluídos na análise dos efeitos crônicos ao CEXC e CCON foram conduzidos em populações diferentes e com protocolos de treinamento distintos. Enquanto o

impacto das características da população nos tamanhos de efeito foi verificado por meio das meta-regressões e das análises de grupos no nível população e sexo, poucas características das intervenções puderam ser avaliadas quanto aos impactos causados nos efeitos meta-analisados. Os estudos envolvendo treinamento utilizaram parâmetros distintos para a prescrição da intensidade das intervenções e alguns estudos não igualaram a intensidade do treinamento entre os grupos de CEXC e CCON, inviabilizando a inclusão da intensidade do treinamento como um efeito aleatório nas análises de grupos de nível.

Adicionalmente, nenhum estudo investigou os efeitos agudos ou crônicos do CEXC exclusivamente em participantes do sexo feminino. Poucos estudos investigaram as respostas agudas ao CEXC comparado ao CCON em indivíduos frágeis e portadores de doenças cardiorrespiratórias e, em contrapartida, há uma carência de estudos investigando os efeitos crônicos do CEXC comparado ao CCON em indivíduos treinados e atletas.

Por fim, as principais fontes de viés do presente estudo estão relacionadas à falta de cegamento de participantes e avaliadores e ausência de alocação oculta nos estudos.

7 CONCLUSÃO

Em resumo, os resultados do presente estudo sugerem que sessões de CEXC podem induzir menor estresse cardiorrespiratório e psicofisiológico comparado com sessões de CCON realizadas com a mesma carga de trabalho, e maior estresse cardiovascular comparado com sessões de CCON realizadas com o mesmo VO_2 . Portanto, a prescrição de sessões de CEXC baseada em cargas de trabalho utilizadas em sessões de CCON pode ser considerada segura e viável em contextos de reabilitação e tratamento de indivíduos com intolerância ao esforço físico. Ademais, a prescrição do CEXC realizada com base no VO_2 de sessões CCON deve ser evitada, principalmente no meio clínico, uma vez que existe grande probabilidade de uma sobrecarga cardiovascular adicional nessa condição. O treinamento de CEXC mostrou ser mais efetivo que o treinamento de CCON em aprimorar a força muscular dos músculos extensores do joelho em diferentes populações e aumentar a distância percorrida em TC6M em pacientes com doenças cardiorrespiratórias. Ainda, o treinamento de CEXC parece ser tão eficaz quanto o treinamento de CCON em promover melhorias em medidas de capacidade cardiorrespiratória, composição corporal e hipertrofia muscular, e menos eficaz que o CCON em aumentar a PO_{pico} dos participantes nos estudos.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, P.; SIMONSEN, E. B.; ANDERSEN, J. L.; MAGNUSSON, S.P.; HALKJÆR KRISTENSEN, J.; DYHRE-POULSEN, P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol*, v. 89, p. 2249–2257, 2000.
- ABBISS, C. R.; PEIFFER, J. J.; MEEUSEN, R.; SKORSKI, S. Role of Ratings of Perceived Exertion during Self-Paced Exercise: What are We Actually Measuring? *Sports Med*, v. 45, p. 1235-1243, 2015.
- ABBOTT, B. C.; BIGLAND, B.; RITCHIE, J. M. The physiological cost of negative work. *J Physiol*, v. 117, p. 380-390, 1952.
- ASMUSSEN, E. Positive and negative muscular work. *Acta Physiol Scand*, v. 28, p. 364-82, 1953.
- BARRETO, R. V.; LIMA, L. C. R.; DENADAI, B. S. Moving forward with backward pedaling: a review on eccentric cycling. *Eur J Appl Physiol*, v. 121, p. 381-407, 2020.
- BASSETT, D. R. Jr.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, v. 32, p. 70-84, 2000.
- BENTLEY, D. J.; NEWELL, J.; BISHOP, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med*, v. 37, p. 575-586, 2007.
- BESSON, D.; JOUSSAIN, C.; GREMEAUX, V. et al. Eccentric training in chronic heart failure: feasibility and functional effects. Results of a comparative study. *Ann Phys Rehabil Med*, v. 56, p. 30-40, 2013.
- BIGLAND, B.; LIPPOLD, O. C. The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles. *J Physiol*, v. 123, p. 214-224, 1954.
- BIGLAND-RITCHIE, B.; WOODS, J. J. Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *J Physiol*, v. 260, p. 267-277, 1976.
- BORENSTEIN, M. et al. Introduction to Meta-Analysis. West Sussex: Wiley; 2009.
- BORG, G. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Human Kinetics, Champaign, 1998.
- BORG, G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, v. 14, p. 377-81, 1982.
- BOURBEAU, J.; DE SOUSA SENA, R.; TAIVASSALO, T. et al. Eccentric versus conventional cycle training to improve muscle strength in advanced COPD: A randomized clinical trial. *Respir Physiol Neurobiol*, v. 276, 103414, 2020.
- BRUUNSGAARD, H.; GALBO, H.; HALKJAER-KRISTENSEN, J.; JOHANSEN, T. L.; MACLEAN, D. A.; PEDERSEN, B. K. Exercise-induced increase in serum interleukin-6 in humans is related to muscle damage. *J Physiol*, v. 499, p. 833–841, 1997.

BÜRKNER, P. C. brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan. *J Stat Softw*, v. 80, p. 1-28, 2017.

CASILLAS, J. M.; BESSON, D.; HANNEQUIN, A.; GREMEAUX, V.; MORISSET, C.; TORDI, N.; LAURENT, Y.; LAROCHE, D. Effects of an eccentric training personalized by a low rate of perceived exertion on the maximal capacities in chronic heart failure: a randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*, v. 52, p. 159–168, 2016.

CHASLAND, L. C.; GREEN, D. J.; MAIORANA, A. J.; NOSAKA, K.; HAYNES, A.; DEMBO, L. G.; NAYLOR, L. H. Eccentric cycling: a promising modality for patients with chronic heart failure. *Med Sci Sports Exerc*, v. 49, p. 646–651, 2017.

CHEN, W.; RUELL, P. A.; GHODDUSI, M. et al. Ultrastructural changes and sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ regulation in red vastus muscle following eccentric exercise in the rat. *Exp Physiol*, v. 92, p. 437–447, 2007.

CHEUVRONT, S. N.; KENEFICK, R. W.; MONTAIN, S. J. et al. Mechanisms of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. *J Appl Physiol (1985)*, v. 109, p. 1989–1995, 2010.

CLOS, P.; LAROCHE, D.; STAPLEY, P. J.; LEPERS, R. Neuromuscular and Perceptual Responses to Sub-Maximal Eccentric Cycling. *Front Physiol*, v. 10, p. 354, 2019.

DIBBLE, L. E.; HALE, T. F.; MARCUS, R. L.; DROGE, J.; GERBER, J. P.; LASTAYO, P. C. High-intensity resistance training amplifies muscle hypertrophy and functional gains in persons with Parkinson's disease. *Mov Disord*, v. 21, p. 1444-1452, 2006.

DIBBLE, L. E.; HALE, T. F.; MARCUS, R. L.; GERBER, J. P.; LASTAYO, P. C. High intensity eccentric resistance training decreases bradykinesia and improves Quality Of Life in persons with Parkinson's disease: a preliminary study. *Parkinsonism Relat Disord*, v. 15, p. 752-757, 2009.

DONNELLY, J. E.; BLAIR, S. N.; JAKICIC, J. M.; MANORE, M. M.; RANKIN, J. W.; SMITH, B. K. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc*, v. 41, p. 459–471, 2009.

DOUGLAS, J.; PEARSON, S.; ROSS, A.; MCGUIGAN, M. Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Med*, v. 47, p. 663-675, 2017.

DUCHATEAU, J.; BAUDRY, S. Insights into the neural control of eccentric contractions. *J Appl Physiol*, v. 116, p. 1418–1425, 2014.

DUCHATEAU, J.; ENOKA, R. M. Neural control of lengthening contractions. *J Exp Biol*, v. 219, p. 197-204, 2016.

DUCLAY, J.; PASQUET, B.; MARTIN, A.; DUCHATEAU, J. Specific modulation of corticospinal and spinal excitabilities during maximal voluntary isometric, shortening and lengthening contractions in synergist muscles. *J Physiol*, v. 589, p. 2901–2916, 2011.

DUFOUR, S. P.; DOUTRELEAU, S.; LONSDORFER-WOLF, E. et al. Deciphering the metabolic and mechanical contributions to the exercise-induced circulatory response: Insights from eccentric cycling. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, v. 292, p. 1641–1648, 2006.

DUFOUR, S. P.; LAMPERT, E.; DOUTRELEAU, S. et al. Eccentric cycle exercise: training application of specific circulatory adjustments. *Med Sci Sport Exerc*, v. 36, p. 1900–1906, 2004.

EIKEN, T.; HARRISON, A. J.; BURDON, C. A.; GROELLER, H.; PEOPLES, G. E. Elevated body temperature contributes to the increased heart rate response during eccentric compared to concentric cycling when matched for oxygen consumption. *Temperature (Austin)*, v. 8, p. 30–38, 2020.

ELLIS, R.; SHIELDS, N.; LIM, K.; DODD, K. J. Eccentric exercise in adults with cardiorespiratory disease: a systematic review. *Clin Rehabil*, v. 29, p. 1178-97, 2015.

ELMER, S. J.; MADIGAN, M. L.; LASTAYO, P. C.; MARTIN, J. C. Joint-specific power absorption during eccentric cycling. *Clin Biomech*, v. 25, p. 154-158, 2010.

ELMER, S.; HAHN, S.; MCALLISTER, P. et al. Improvements in multi-joint leg function following chronic eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*, v. 22, p. 653-661, 2012.

FARIA, E. W.; PARKER, D. L.; FARIA, I. E. The science of cycling: physiology and training -part 1. *Sports Med*, v. 35, p. 285–312, 2005.

FENN, W. O. The relation between the work performed and the energy liberated in muscular contraction. *J Physiol*, v. 58, p. 373–395, 1924.

FERGUSON, B. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 9th Ed. 2014. *J Can Chiropr Assoc*, v. 58, 328, 2014.

FLETCHER, J. R.; MACINTOSH, B. R. Running economy from a muscle energetics perspective. *Front Physiol*, v. 8, p. 1-15, 2017.

FLÜCK, M.; BOSSHARD, R.; LUNGARELLA, M. Cardiovascular and muscular consequences of work-matched interval-type of concentric and eccentric pedaling exercise on a soft robot. *Front Physiol*, v. 8 640, 2017.

FRANCHI, M. V.; REEVES, N. D.; NARICI, M. V. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol*, v. 8, p. 447, 2017.

FRIDÉN, J.; SEGER, J.; SJÖSTRÖM, M.; EKBLOM, B. Adaptive response in human skeletal muscle subjected to prolonged eccentric training. *Int J Sports Med*, v. 4, p. 177-183, 1983.

FRIDÉN, J.; SFAKIANOS, P. N.; HARGENS, A. R. Muscle soreness and intramuscular fluid pressure: comparison between eccentric and concentric load. *J Appl Physiol (1985)*, v. 61, p. 2175-2179, 1986.

FRIDÉN, J.; SFAKIANOS, P. N.; HARGENS, A. R.; AKESON, W. H. Residual muscular swelling after repetitive eccentric contractions. *J Orthop Res*, v. 6, p. 493-498, 1988.

- GASSER, B.; FITZE, D.; FRANCHI, M.; FREI, A.; NIEDERSEER, D.; SCHMIED, C. M.; CATUOGNO, S.; FREY, W.; FLÜCK, M. The cardiovascular response to interval exercise is modified by the contraction type and training in proportion to metabolic stress of recruited muscle groups. *Sensors (Basel)*, v. 21, p. 173, 2020.
- GELMAN, A.; JAKULIN, A.; PITTAU, M. G.; SU, Y. S. A weakly informative default prior distribution for logistic and other regression models. *Ann Appl Stat*, v. 2, p. 1360-83, 2008.
- GELMAN, A.; LEE, D.; GUO, J. Stan. *J Educ Behav Stat*, v. 40, p. 530-43, 2015.
- GELMAN, A.; RUBIN, D. B. Inference from iterative simulation using multiple sequences. *Stat Sci*, v. 7, p. 457-72, 1992.
- GONZÁLEZ-BARTHOLIN, R.; MACKAY, K.; VALLADARES, D.; ZBINDEN-FONCEA, H.; NOSAKA, K.; PEÑAILILLO, L. Changes in oxidative stress, inflammation and muscle damage markers following eccentric versus concentric cycling in older adults. *Eur J Appl Physiol*, v. 119, p. 2301-2312, 2019.
- GREMEAUX, V.; DUCLAY, J.; DELEY, G. et al. Does eccentric endurance training improve walking capacity in patients with coronary artery disease? A randomized controlled pilot study. *Clin Rehabil*, v. 24, p. 590-599, 2010.
- GROSS, M.; LÜTHY, F.; KROELL, J.; MÜLLER, E.; HOPPELER, H.; VOGT, M. Effects of eccentric cycle ergometry in alpine skiers. *Int J Sports Med*, v. 31, p. 572-576, 2010.
- GUILHEM, G.; CORNU, C.; GUEVEL, A. Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Ann Phys Rehabil Med*, v. 53, p. 319-341, 2010.
- HERZOG, W. Mechanisms of enhanced force production in lengthening (eccentric) muscle contractions. *J Appl Physiol (1985)*, v. 116, p. 1407-1417, 2014.
- HESSEL, A. L.; LINDSTEDT, S. L.; NISHIKAWA, K. C. Physiological mechanisms of eccentric contraction and its applications: a role for the giant titin protein. *Front Physiol*, v. 8, p. 70, 2017.
- HESSER, C. M.; LINNARSSON, D.; BJURSTEDT, H. Cardiorespiratory and metabolic responses to positive, negative and minimum-load dynamic leg exercise. *Respir Physiol*, v. 30, p. 51-67, 1977.
- HIGGINS, J. P. T.; THOMAS, J.; CHANDLER, J.; CUMPSTON, M.; LI, T.; PAGE, M. J.; WELCH, V. A. (editors). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. 2nd Edition. Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2019.
- HIGGINS, J. P.; THOMPSON, S. G.; DEEKS, J. J.; ALTMAN, D. G. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*, v. 327, p. 557-60, 2003.
- HODY, S.; CROISIER, J. L.; BURY, T.; ROGISTER, B.; LEPRINCE, P. Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Front Physiol*, v. 10, p. 536, 2019.
- HOPKINS, W. G. et al. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, v. 41, p. 3-13, 2009.

HOPPELER, H. Moderate load eccentric exercise: a distinct novel training modality. *Front Physiol*, v. 7, p. 483, 2016.

HORTOBAGYI, T.; KATCH, F. I. Eccentric and concentric torque-velocity relationships during arm flexion and extension. Influence of strength level. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, v. 60, p. 395–401, 1990.

HUANG, Y. C.; CHENG, M. L.; TANG, H. Y.; HUANG, C. Y.; CHEN, K. M.; WANG, J. S. Eccentric cycling training improves erythrocyte antioxidant and oxygen releasing capacity associated with enhanced anaerobic glycolysis and intracellular acidosis. *Antioxidants (Basel)*, v. 10, 285, 2021.

HUXLEY, A. F. Muscle structure and theories of contraction. *Prog Biophys Biophys Chem*, v. 7, p. 255–318, 1957.

ISACCO, L.; RITTER, O.; TORDI, N. et al. Similar substrate oxidation rates in concentric and eccentric cycling matched for aerobic power output. *Appl Physiol Nutr Metab*, v. 41, p. 1204–1207, 2016.

ISNER-HOROBETI, M. E.; DUFOUR, S. P.; VAUTRAVERS, P.; GENY, B.; COUDEYRE, E.; RICHARD, R. Eccentric exercise training: modalities, applications and perspectives. *Sports Med*, v. 43, p. 483–512, 2013.

JULIAN, V.; THIVEL, D.; COSTES, F. et al. Eccentric training improves body composition by inducing mechanical and metabolic adaptations: a promising approach for overweight and obese individuals. *Front Physiol*, v. 9, p. 1013, 2019.

JULIAN, V.; THIVEL, D.; MIGUET, M. et al. Bone response to eccentric versus concentric cycling in adolescents with obesity. *Obes Res Clin Pract*, v. 14, p. 554–560, 2020b.

JULIAN, V.; THIVEL, D.; MIGUET, M. et al. Eccentric cycling is more efficient in reducing fat mass than concentric cycling in adolescents with obesity. *Scand J Med Sci Sports*, v. 29, p. 4–15, 2018.

JULIAN, V.; THIVEL, D.; MIGUET, M. et al. Eccentric cycling training improves health-related quality of life in adolescents with obesity. *Obes Facts*, p. 1–12, 2020a.

KAN, B.; SPEELMAN, C.; NOSAKA, K. Cognitive demand of eccentric versus concentric cycling and its effects on post-exercise attention and vigilance. *Eur J Appl Physiol*, v. 119, p. 1599–1610, 2019.

KNUTTGEN, H. G.; PATTON, J. F.; VOGEL, J. A. An ergometer for concentric and eccentric muscular exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, v. 53, p. 784–788, 1982.

KUIPERS, H.; KEIZER, H. A.; VERSTAPPEN, F. T.; COSTILL, D. L. Influence of a prostaglandin-inhibiting drug on muscle soreness after eccentric work. *Int J Sports Med*, v. 6, p. 336–339, 1985.

LAROCHE, D.; JOUSSAIN, C.; ESPAGNAC, C. et al. Is it possible to individualize intensity of eccentric cycling exercise from perceived exertion on concentric test? *Arch Phys Med Rehabil*, v. 94, p. 1621–1627, 2013.

LASTAYO, P. C.; EWY, G. A.; PIEROTTI, D. D.; JOHNS, R. K.; LINDSTEDT, S. The positive effects of negative work: increased muscle strength and decreased fall risk in a frail elderly population. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, v. 58, p. M419-M424, 2003.

LASTAYO, P. C.; MARCUS, R. L.; DIBBLE, L. E.; SMITH, S. B.; BECK, S. L. Eccentric exercise versus usual-care with older cancer survivors: the impact on muscle and mobility--an exploratory pilot study. *BMC Geriatr*, v. 11, p. 5, 2011.

LASTAYO, P. C.; PIEROTTI, D. J.; PIFER, J.; HOPPELER, H.; LINDSTEDT, S. L. Eccentric ergometry: increases in locomotor muscle size and strength at low training intensities. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, v. 278, p. R1282-R1288, 1999.

LASTAYO, P. C.; REICH, T. E.; URQUHART, M.; HOPPELER, H.; LINDSTEDT, S. L. Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strength can occur with little demand for oxygen. *Am J Physiol*, v. 276, p. R611-R615, 2000.

LASTAYO, P.; MARCUS, R.; DIBBLE, L.; FRAJACOMO, F.; LINDSTEDT, S. Eccentric exercise in rehabilitation: safety, feasibility, and application. *J Appl Physiol*, v. 116, p. 1426-1434, 2014.

LECHAUVE, J. B.; PERRAULT, H.; AGUILANIU, B. et al. Breathing patterns during eccentric exercise. *Respir Physiol Neurobiol*, v. 202, p. 53–58, 2014.

LEONG, C. H.; MCDERMOTT, W. J.; ELMER, S. J.; MARTIN, J. C. Chronic eccentric cycling improves quadriceps muscle structure and maximum cycling power. *Int J Sports Med*, v. 35, p. 559-565, 2014.

LEWIS, M. C.; PEOPLES, G. E.; GROELLER, H.; BROWN, M. A. Eccentric cycling emphasising a low cardiopulmonary demand increases leg strength equivalent to workload matched concentric cycling in middle age sedentary males. *J Sci Med Sport*, v. 21, p. 1238-1243, 2018.

LINARI, M.; WOLEDGE, R. C.; CURTIN, N. A. Energy storage during stretch of active single fibres from frog skeletal muscle. *J Physiol*, v. 548, p. 461–474, 2003.

LINDSTEDT, S. L.; LASTAYO, P. C.; REICH, T. E. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci*, v. 16, p. 256–261, 2001.

LIPSKI, M.; ABBISS, C. R.; NOSAKA, K. Cardio-pulmonary responses to incremental eccentric and concentric cycling tests to task failure. *Eur J Appl Physiol*, v. 118, p. 947–957, 2018a.

LIPSKI, M.; ABBISS, C. R.; NOSAKA, K. Oxygen consumption, rate of perceived exertion and enjoyment in high-intensity interval eccentric cycling. *Eur J Sport Sci*, v. 18, p. 1390-1397, 2018b.

LOMBARDI, V.; PIAZZESI, G. The contractile response during steady lengthening of stimulated frog muscle fibers. *J Physiol*, v. 431, p. 141-171, 1990.

- MACMILLAN, N. J.; KAPCHINSKY, S.; KONOKHOVA, Y. et al. Eccentric ergometer training promotes locomotor muscle strength but not mitochondrial adaptation in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Front Physiol*, v. 8, p. 114, 2017.
- MAGALHÃES, J.; FRAGA, M.; LUMINI-OLIVEIRA, J. et al. Eccentric exercise transiently affects mice skeletal muscle mitochondrial function. *Appl Physiol Nutr Metab*, v. 38, p. 401-409, 2013.
- MAHER, C. G.; SHERRINGTON, C.; HERBERT, R. D.; MOSELEY, A. M.; ELKINS, M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*, v. 83, p. 713-721, 2003.
- MCLAREN, S. J.; MACPHERSON, T. W.; COUTTS, A. J.; HURST, C.; SPEARS, I. R.; WESTON, M. The relationships between internal and external measures of training load and intensity in team sports: a meta-analysis. *Sports Med*, v. 48, p. 641-658, 2018.
- MEYER, K.; STEINER, R.; LASTAYO, P.; LIPPUNER, K.; ALLEMANN, Y.; EBERLI, F.; SCHMID, J.; SANER, H.; HOPPELER, H. Eccentric exercise in coronary patients: central hemodynamic and metabolic responses. *Med Sci Sports Exerc*, v. 35, p. 1076–1082, 2003.
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med*, v. 6, e1000097, 2009.
- MOLNAR, A. M.; SERVAIS, S.; GUICHARDANT, M. et al. Mitochondrial H₂O₂ production is reduced with acute and chronic eccentric exercise in rat skeletal muscle. *Antioxid Redox Signal*, v. 8, p.548–558, 2006.
- MUELLER, M.; BREIL, F. A.; LURMAN, G. et al. Different molecular and structural adaptations with eccentric and conventional strength training in elderly men and women. *Gerontology*, v. 57, p. 528-538, 2011.
- MUELLER, M.; BREIL, F. A.; VOGT, M. et al. Different response to eccentric and concentric training in older men and women. *Eur J Appl Physiol*, v. 107, p. 145-153, 2009.
- NICKEL, R.; TRONCOSO, F.; FLORES, O. et al. Physiological response to eccentric and concentric cycling in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Appl Physiol Nutr Metab* [published online ahead of print, 2020 May 15].
- OKAMOTO, T.; KOBAYASHI, R.; HASHIMOTO, Y.; NOSAKA, K. Changes in arterial stiffness after eccentric versus concentric cycling. *Appl Physiol Nutr Metab*, v. 44, p. 33–538, 2018.
- OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z. et al. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Syst Rev* 5, n. 210, 2016.
- PASCHALIS, V.; NIKOLAIDIS, M. G.; THEODOROU, A. A. et al. A weekly bout of eccentric exercise is sufficient to induce health-promoting effects. *Med Sci Sports Exerc*, v. 43, p. 64-73, 2011.
- PAULSEN, G.; EIDSHEIM, H. Ø.; HELLAND, C.; SEYNNES, O.; SOLBERG, P. A.; RØNNESTAD, B. R. Eccentric cycling does not improve cycling performance in amateur cyclists. *PLoS One*, v. 14, e0208452, 2019.

- PEGEAUX, B.; BESSON, D.; CASILLAS, J. M. et al. Progressively increasing the intensity of eccentric cycling over four training sessions: A feasibility study in coronary heart disease patients. *Ann Phys Rehabil Med*, v. 63, p. 241-244, 2020.
- PEÑAILILLO, L.; BLAZEVIK, A. J.; NOSAKA, K. Factors contributing to lower metabolic demand of eccentric compared with concentric cycling. *J Appl Physiol*, v. 123, p. 884–893, 2017.
- PEÑAILILLO, L.; BLAZEVIK, A.; NOSAKA, K. Energy expenditure and substrate oxidation during and after eccentric cycling. *Eur J Appl Physiol*, v. 114, p. 805–814, 2014.
- PEÑAILILLO, L.; BLAZEVIK, A.; NUMAZAWA, H.; NOSAKA, K. Metabolic and muscle damage profiles of concentric versus repeated eccentric cycling. *Med Sci Sports Exerc*, v. 45, p. 1773–1781, 2013.
- PEÑAILILLO, L.; MACKAY, K.; ABBISS, C. R. Rating of perceived exertion during concentric and eccentric cycling: are we measuring effort or exertion? *Int J Sports Physiol Perform*, v. 13, p. 517–523, 2017b.
- PERREY, S.; BETIK, A.; CANDAU, R.; ROUILLON, J. D.; HUGHSON, R. L. Comparison of oxygen uptake kinetics during concentric and eccentric cycle exercise. *J Appl Physiol* (1985), v. 91, p. 2135-2142, 2001.
- PIMENTAL, N. A.; SHAPIRO, Y.; PANDOLF, K. B. Comparison of uphill and downhill walking and concentric and eccentric cycling. *Ergonomics*, v. 25, p. 373–380, 1982.
- PLANTE, P. D.; HOUSTON, M. E. Effects of concentric and eccentric exercise on protein catabolism in man. *Int J Sports Med*, v. 5, p. 174–178, 1984.
- PURTSI, J.; VIHKO, V.; KANKAANPÄÄ, A.; HAVAS, E. The motor-learning process of older adults in eccentric bicycle ergometer training. *J Aging Phys Act*, v. 20, p. 345-362, 2012.
- RAKOBOWCHUK, M.; ISACCO, L.; RITTER, O. et al. Muscle oxygenation responses to low-intensity steady rate concentric and eccentric cycling. *Int J Sports Med*, v. 39, p. 173-180, 2018.
- RAKOBOWCHUK, M.; RITTER, O.; WILHELM, E. N. et al. Divergent endothelial function but similar platelet microvesicle responses following eccentric and concentric cycling at a similar aerobic power output. *J Appl Physiol* (1985), v. 122, p. 1031-1039, 2017.
- RASEKABA, T.; LEE, A. L.; NAUGHTON, M. T.; WILLIAMS, T. J.; HOLLAND, A. E. The six-minute walk test: a useful metric for the cardiopulmonary patient. *Intern Med J*, v. 39, p. 495–501, 2009.
- RITTER, O.; ISACCO, L.; RAKOBOWCHUK, M. et al. Cardiorespiratory and autonomic nervous system responses to prolonged eccentric cycling. *Int J Sports Med*, v. 40, p. 453-461, 2019.
- ROCHA VIEIRA, D. S.; BARIL, J.; RICHARD, R.; PERRAULT, H.; BOURBEAU, J.; TAIVASSALO, T. Eccentric cycle exercise in severe COPD: feasibility of application. *COPD*, v. 8, p. 270-274, 2011.

ROIG, M.; O'BRIEN, K.; KIRK, G.; MURRAY, R.; MCKINNON, P.; SHADGAN, B.; REID, W. D. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*, v. 43, p. 556–568, 2019.

ROOYACKERS, J. M.; DEKHUIJZEN, P. N.; VAN HERWAARDEN, C. L.; FOLGERING, H. T. Potassium and ventilation during positive and negative work in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Physiol*, v. 17, p. 475–485, 1997.

ROWELL, L. B. Ideas about control of skeletal and cardiac muscle blood flow (1876-2003): cycles of revision and new vision. *J Appl Physiol* (1985), v. 97, p. 384–392, 2004.

SADAMOTO, T.; BONDE-PETERSEN, F.; SUZUKI, Y. Skeletal muscle tension, flow, pressure, and EMG during sustained isometric contractions in humans. *Eur J Appl Physiol*, v. 51, p. 395–408, 1983.

SALTIN, B.; STRANGE, S. Maximal oxygen uptake: 'old' and 'new' arguments for a cardiovascular limitation. *Med Sci Sports Exercise*, v. 24, p. 30–37, 1992.

SEALS, D. R.; VICTOR, R. G.; MARK, A. L. Plasma norepinephrine and muscle sympathetic discharge during rhythmic exercise in humans. *J Appl Physiol* (1985), v. 65, p. 940–944, 1988.

SINGH, S. J.; PUHAN, M. A.; ANDRIANOPOULOS, V. et al. An official systematic review of the European Respiratory Society/American Thoracic Society: measurement properties of field walking tests in chronic respiratory disease. *Eur Respir J*, v. 44, p. 1447–1478, 2014.

STEINER, R.; MEYER, K.; LIPPUNER, K.; SCHMID, J. P.; SANER, H.; HOPPELER, H. Eccentric endurance training in subjects with coronary artery disease: a novel exercise paradigm in cardiac rehabilitation? *Eur J Appl Physiol*, v. 91, p. 572-578, 2004.

TAYLOR, R. S.; WALKER, S.; SMART, N. A. et al. Impact of exercise rehabilitation on exercise capacity and quality-of-life in heart failure: individual participant meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*, v. 73, p. 1430–1443, 2019.

THIVEL, D.; JULIAN, V.; MIGUET, M. et al. Introducing eccentric cycling during a multidisciplinary weight loss intervention might prevent adolescents with obesity from increasing their food intake: the TEXTOO study. *Physiol Behavior*, v. 214 112744, 2020.

TOURON, J.; COSTES, F.; COUDEYRE, E.; PERRAULT, H.; RICHARD, R. Aerobic metabolic adaptations in endurance eccentric exercise and training: from whole body to mitochondria. *Front Physiol*, v. 11 596351, 2021.

WALSH, B.; TONKONOGI, M.; MALM, C.; EKBLÖM, B.; SAHLIN, K. Effect of eccentric exercise on muscle oxidative metabolism in humans. *Med Sci Sports Exerc*, v. 33, p. 436-441, 2001.

WALSH, J. A.; STAPLEY, P. J.; SHEMMELL, J. B. H. et al. Global corticospinal excitability as assessed in a non-exercised upper limb muscle compared between concentric and eccentric modes of leg cycling. *Sci Rep*, v. 9, 19212, 2019.

WARD, T.; LINDLEY, M. R.; FERGUSON, R. A.; CONSTANTIN, D.; SINGH, S. J.; BOLTON, C. E.; EVANS, R. A.; GREENHAFF, P. L.; STEINER, M. C. Submaximal eccentric cycling in people with copd: acute whole-body cardiopulmonary and muscle metabolic responses. *Chest*, v. 159, p. 564–574, 2021.

WELLS, R.; MORRISSEY, M.; HUGHSON, R. Internal work and physiological responses during concentric and eccentric cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol*, v. 55, p. 295–301, 1986.

ZOLL, J.; STEINER, R.; MEYER, K.; VOGT, M.; HOPPELER, H.; FLÜCK, M. Gene expression in skeletal muscle of coronary artery disease patients after concentric and eccentric endurance training. *Eur J Appl Physiol*, v. 96, p. 413–422, 2006.

APÊNDICE A

Quadro S1. Itens do checklist a serem incluídos no relato de revisão sistemática ou meta-análise

Seção/tópico	N.	Item do <i>checklist</i>	Relatado na página n.
TÍTULO			
Título	1	Identifique o artigo como uma revisão sistemática, meta-análise, ou ambos.	1
ABSTRACT			
Resumo estruturado	2	Apresente um resumo estruturado incluindo, se aplicável: referencial teórico; objetivos; fonte de dados; critérios de elegibilidade; participantes e intervenções; avaliação do estudo e síntese dos métodos; resultados; limitações; conclusões e implicações dos achados principais; número de registro da revisão sistemática.	4
INTRODUÇÃO			
Racional	3	Descreva a justificativa da revisão no contexto do que já é conhecido.	14-16
Objetivos	4	Apresente uma afirmação explícita sobre as questões abordadas com referência a participantes, intervenções, comparações, resultados e desenho de estudo (PICOS).	17
MÉTODOS			
Protocolo e registro	5	Indique se existe um protocolo de revisão, se e onde pode ser acessado (ex. endereço eletrônico), e, se disponível, forneça informações sobre o registro da revisão, incluindo o número de registro.	28
Crítérios de elegibilidade	6	Especifique características do estudo (ex. PICOS, extensão do seguimento) e características dos relatos (ex. anos considerados, idioma, se é publicado) usadas como critérios de elegibilidade, apresentando justificativa.	28
Fontes de informação	7	Descreva todas as fontes de informação na busca (ex. base de dados com datas de cobertura, contato com autores para identificação de estudos adicionais) e data da última busca.	29
Busca	8	Apresente a estratégia completa de busca eletrônica para pelo menos uma base de dados, incluindo os limites utilizados, de forma que possa ser repetida.	29

Seção/tópico	N.	Item do checklist	Relatado na página n.
Seleção dos estudos	9	Apresente o processo de seleção dos estudos (isto é, busca, elegibilidade, os incluídos na revisão sistemática, e, se aplicável, os incluídos na meta-análise).	29-30
Processo de coleta de dados	10	Descreva o método de extração de dados dos artigos (ex. formas para piloto, independente, em duplicata) e todos os processos para obtenção e confirmação de dados dos pesquisadores.	30-31
Lista dos dados	11	Liste e defina todas as variáveis obtidas dos dados (ex. PICOS, fontes de financiamento) e quaisquer suposições ou simplificações realizadas.	31-32
Risco de viés em cada estudo	12	Descreva os métodos usados para avaliar o risco de viés em cada estudo (incluindo a especificação se foi feito durante o estudo ou no nível de resultados), e como esta informação foi usada na análise de dados.	30
Medidas de sumarização	13	Defina as principais medidas de sumarização dos resultados (ex. risco relativo, diferença média).	32-35
Síntese dos resultados	14	Descreva os métodos de análise dos dados e combinação de resultados dos estudos, se realizados, incluindo medidas de consistência (por exemplo, I ²) para cada meta-análise.	35-36
Risco de viés entre estudos	15	Especifique qualquer avaliação do risco de viés que possa influenciar a evidência cumulativa (ex. viés de publicação, relato seletivo nos estudos).	
Análises adicionais	16	Descreva métodos de análise adicional (ex. análise de sensibilidade ou análise de subgrupos, metarregressão), se realizados, indicando quais foram pré-especificados.	33-35
RESULTADOS			
Seleção de estudos	17	Apresente números dos estudos rastreados, avaliados para elegibilidade e incluídos na revisão, razões para exclusão em cada estágio, preferencialmente por meio de gráfico de fluxo.	37-38
Características dos estudos	18	Para cada estudo, apresente características para extração dos dados (ex. tamanho do estudo, PICOS, período de acompanhamento) e apresente as citações.	38-46
Risco de viés entre os estudos	19	Apresente dados sobre o risco de viés em cada estudo e, se disponível, alguma avaliação em resultados (ver item 12).	47-48

Seção/tópico	N.	Item do checklist	Relatado na página n.
Resultados de estudos individuais	20	Para todos os desfechos considerados (benefícios ou riscos), apresente para cada estudo: (a) sumário simples de dados para cada grupo de intervenção e (b) efeitos estimados e intervalos de confiança, preferencialmente por meio de gráficos de floresta.	49-100
Síntese dos resultados	21	Apresente resultados para cada meta-análise feita, incluindo intervalos de confiança e medidas de consistência.	49-100
Risco de viés entre estudos	22	Apresente resultados da avaliação de risco de viés entre os estudos (ver item 15).	
Análises adicionais	23	Apresente resultados de análises adicionais, se realizadas (ex. análise de sensibilidade ou subgrupos, metarregressão [ver item 16]).	49-100
DISCUSSÃO			
Sumário da evidência	24	Sumarize os resultados principais, incluindo a força de evidência para cada resultado; considere sua relevância para grupos-chave (ex. profissionais da saúde, usuários e formuladores de políticas).	101-108
Limitações	25	Discuta limitações no nível dos estudos e dos desfechos (ex. risco de viés) e no nível da revisão (ex. obtenção incompleta de pesquisas identificadas, relato de viés).	108
Conclusões	26	Apresente a interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências e implicações para futuras pesquisas.	110
FINANCIAMENTO			
Financiamento	27	Descreva fontes de financiamento para a revisão sistemática e outros suportes (ex. suprimento de dados), papel dos financiadores na revisão sistemática.	

ANEXO A

Escala de PEDro – Português (Brasil)

1. Os critérios de elegibilidade foram especificados	não ☐ sim ☐ onde:
2. Os sujeitos foram aleatoriamente distribuídos por grupos (num estudo cruzado, os sujeitos foram colocados em grupos de forma aleatória de acordo com o tratamento recebido)	não ☐ sim ☐ onde:
3. A alocação dos sujeitos foi secreta	não ☐ sim ☐ onde:
4. Inicialmente, os grupos eram semelhantes no que diz respeito aos indicadores de prognóstico mais importantes	não ☐ sim ☐ onde:
5. Todos os sujeitos participaram de forma cega no estudo	não ☐ sim ☐ onde:
6. Todos os terapeutas que administraram a terapia fizeram-no de forma cega	não ☐ sim ☐ onde:
7. Todos os avaliadores que mediram pelo menos um resultado-chave, fizeram-no de forma cega	não ☐ sim ☐ onde:
8. Mensurações de pelo menos um resultado-chave foram obtidas em mais de 85% dos sujeitos inicialmente distribuídos pelos grupos	não ☐ sim ☐ onde:
9. Todos os sujeitos a partir dos quais se apresentaram mensurações de resultados receberam o tratamento ou a condição de controle conforme a alocação ou, quando não foi esse o caso, fez-se a análise dos dados para pelo menos um dos resultados-chave por “intenção de tratamento”	não ☐ sim ☐ onde:
10. Os resultados das comparações estatísticas inter-grupos foram descritos para pelo menos um resultado-chave	não ☐ sim ☐ onde:
11. O estudo apresenta tanto medidas de precisão como medidas de variabilidade para pelo menos um resultado-chave	não ☐ sim ☐ onde:

A escala PEDro baseia-se na lista de Delphi, desenvolvida por Verhagen e colegas no Departamento de Epidemiologia, da Universidade de Maastricht (Verhagen AP et al (1988). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). A lista, na sua maior parte, baseia-se num “consenso de peritos” e não em dados empíricos. Incluíram-se na escala de PEDro dois itens adicionais, que não constavam da lista de Delphi (os itens 8 e 10 da escala de PEDro). À medida que forem disponibilizados mais dados empíricos, pode vir a ser possível ponderar os itens da escala de forma a que a pontuação obtida a partir da aplicação da escala PEDro reflita a importância de cada um dos itens da escala.

O objetivo da escala PEDro consiste em auxiliar os utilizadores da base de dados PEDro a identificar rapidamente quais dos estudos controlados aleatorizados, ou quase-aleatorizados, (ou seja, ECR ou ECC) arquivados na base de dados PEDro poderão ter validade interna (critérios 2-9), e poderão conter suficiente informação estatística para que os seus resultados possam ser interpretados (critérios 10-11). Um critério adicional (critério 1) que diz respeito à validade externa (ou “potencial de generalização” ou “aplicabilidade” do estudo clínico) foi mantido para que a *Delphi list* esteja completa, mas este critério não será usado para calcular a pontuação PEDro apresentada no endereço PEDro na internet.

A escala PEDro não deverá ser usada como uma medida da “validade” das conclusões de um estudo. Advertimos, muito especialmente, os utilizadores da escala PEDro de que estudos que revelem efeitos significativos do tratamento e que obtenham pontuação elevada na escala PEDro não fornecem, necessariamente, evidência de que o tratamento seja clinicamente útil. Adicionalmente, importa saber se o efeito do tratamento foi suficientemente expressivo para poder ser considerado clinicamente justificável, se os efeitos positivos superam os negativos, e aferir a relação de custo-benefício do tratamento. A escala não deve ser utilizada para comparar a “qualidade” de estudo clínicos realizados em diferentes áreas de terapia, principalmente porque algumas áreas da prática da fisioterapia não é possível satisfazer todos os itens da escala.

Modificada pela última vez em 21 de Junho de 1999

Tradução em Português vez em 13 de Maio de 2009

Ajustes ortográficos para a versão Português-Brasileiro em 12 de Agosto de 2010

Indicações para a administração da escala PEDro:

Todos os critérios	A pontuação só será atribuída quando um critério for claramente satisfeito. Se numa leitura literal do relatório do ensaio existir a possibilidade de um critério não ter sido satisfeito, esse critério não deve receber pontuação.
Critério 1	Este critério pode considerar-se satisfeito quando o relatório descreve a origem dos sujeitos e a lista de requisitos utilizados para determinar quais os sujeitos eram elegíveis para participar no estudo.
Critério 2	Considera-se que num determinado estudo houve alocação aleatória se o relatório referir que a alocação dos sujeitos foi aleatória. O método de aleatoriedade não precisa de ser explícito. Procedimentos tais como lançamento de dados ou moeda ao ar podem ser considerados como alocação aleatória. Procedimentos de alocação quase-aleatória tais como os que se efetuam a partir do número de registo hospitalar, da data de nascimento, ou de alternância, não satisfazem este critério.
Critério 3	<i>Alocação secreta</i> significa que a pessoa que determinou a elegibilidade do sujeito para participar no ensaio desconhecia, quando a decisão foi tomada, o grupo a que o sujeito iria pertencer. Deve atribuir-se um ponto a este critério, mesmo que não se diga que a alocação foi secreta, quando o relatório refere que a alocação foi feita a partir de envelopes opacos fechados ou que a alocação implicou o contato com o responsável pela alocação dos sujeitos por grupos, e este último não participou do ensaio.
Critério 4	No mínimo, nos estudos de intervenções terapêuticas, o relatório deve descrever pelo menos uma medida da gravidade da condição a ser tratada e pelo menos uma (diferente) medida de resultado-chave que caracterize a linha de base. O examinador deve assegurar-se de que, com base nas condições de prognóstico de início, não seja possível prever diferenças clinicamente significativas dos resultados, para os diversos grupos. Este critério é atingido mesmo que somente sejam apresentados os dados iniciais do estudo.
Critérios 4, 7-11	<i>Resultados-chave</i> são resultados que fornecem o indicador primário da eficácia (ou falta de eficácia) da terapia. Na maioria dos estudos, utilizam mais do que uma variável como medida de resultados.
Critérios 5-7	<i>Ser cego para o estudo</i> significa que a pessoa em questão (sujeito, terapeuta ou avaliador) não conhece qual o grupo em que o sujeito pertence. Mais ainda, sujeitos e terapeutas só são considerados “cegos” se for possível esperar-se que os mesmos sejam incapazes de distinguir entre os tratamentos aplicados aos diferentes grupos. Nos ensaios em que os resultados-chave são relatados pelo próprio (por exemplo, escala visual análoga, registo diário da dor), o avaliador é considerado “cego” se o sujeito foi “cego”.
Critério 8	Este critério só se considera satisfeito se o relatório referir explicitamente <i>tanto</i> o número de sujeitos inicialmente alocados nos grupos <i>como</i> o número de sujeitos a partir dos quais se obtiveram medidas de resultados-chave. Nos ensaios em que os resultados são medidos em diferentes momentos no tempo, um resultado-chave tem de ter sido medido em mais de 85% dos sujeitos em algum destes momentos.
Critério 9	Uma análise de <i>intenção de tratamento</i> significa que, quando os sujeitos não receberam tratamento (ou a condição de controle) conforme o grupo atribuído, e quando se encontram disponíveis medidas de resultados, a análise foi efetuada como se os sujeitos tivessem recebido o tratamento (ou a condição de controle) que lhes foi atribuído inicialmente. Este critério é satisfeito, mesmo que não seja referida a análise por intenção de tratamento, se o relatório referir explicitamente que todos os sujeitos receberam o tratamento ou condição de controle, conforme a alocação por grupos.
Critério 10	Uma <i>comparação estatística inter-grupos</i> implica uma comparação estatística de um grupo com outro. Conforme o desenho do estudo, isto pode implicar uma comparação de dois ou mais tratamentos, ou a comparação do tratamento com a condição de controle. A análise pode ser uma simples comparação dos resultados medidos após a administração do tratamento, ou a comparação das alterações num grupo em relação às alterações no outro (quando se usou uma análise de variância para analisar os dados, esta última é frequentemente descrita como interação grupo versus tempo). A comparação pode apresentar-se sob a forma de hipóteses (através de um valor de p, descrevendo a probabilidade dos grupos diferirem apenas por acaso) ou assumir a forma de uma estimativa (por exemplo, a diferença média ou a diferença mediana, ou uma diferença nas proporções, ou um número necessário para tratar, ou um risco relativo ou um razão de risco) e respectivo intervalo de confiança.
Critério 11	Uma <i>medida de precisão</i> é uma medida da dimensão do efeito do tratamento. O efeito do tratamento pode ser descrito como uma diferença nos resultados do grupo, ou como o resultado em todos os (ou em cada um dos) grupos. <i>Medidas de variabilidade</i> incluem desvios-padrão (DP's), erros-padrão (EP's), intervalos de confiança, amplitudes interquartis (ou outras amplitudes de quantis), e amplitudes de variação. As medidas de precisão e/ou as medidas de variabilidade podem ser apresentadas graficamente (por exemplo, os DP's podem ser apresentados como barras de erro numa figura) desde que aquilo que é representado seja inequivocamente identificável (por exemplo, desde que fique claro se as barras de erro representam DP's ou EP's). Quando os resultados são relativos a variáveis categóricas, considera-se que este critério foi cumprido se o número de sujeitos em cada categoria é apresentado para cada grupo.