



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E
TECNOLOGIAS**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E DE PERCEPÇÃO DE ESFORÇO NA CORRIDA
REALIZADA COM DIFERENTES INCLINAÇÕES EM HOMENS E MULHERES
TREINADOS**

LUCAS NOGUEIRA PEÑA DURÁN



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E
TECNOLOGIAS**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E DE PERCEPÇÃO DE ESFORÇO NA
CORRIDA REALIZADA COM DIFERENTES INCLINAÇÕES EM HOMENS E
MULHERES TREINADOS.**

LUCAS NOGUEIRA PEÑA DURÁN

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

Orientadora: Profa. Dra. Camila Coelho Greco

**Rio Claro – SP
2026**

D948r

Durán, Lucas Nogueira Peña

Respostas fisiológicas e de percepção de esforço na corrida realizada com diferentes inclinações em homens e mulheres treinados / Lucas Nogueira Peña Durán. -- Rio Claro, 2026

75 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientador: Camila Coelho Greco

1. Exercício físico. 2. Endurance. 3. Limiares ventilatórios. 4. Performance. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E DE PERCEPÇÃO DE ESFORÇO NA CORRIDA REALIZADA COM DIFERENTES INCLINAÇÕES EM HOMENS E MULHERES TREINADOS

AUTOR: LUCAS NOGUEIRA PEÑA DURÁN

ORIENTADORA: CAMILA COELHO GRECO

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.ª Dra. CAMILA COELHO GRECO (Participação Presencial)
Departamento de Educação Física / UNESP / Câmpus de Rio Claro - IB



Prof. Dr. RENATO APARECIDO CORRÊA CARITÁ (Participação Presencial)
FAM / Faculdade de Americana / SP

Prof. Dr. LEONARDO COELHO RABELLO DE LIMA (Participação Virtual)
USP - Escola de Educação Física e Esporte - Ribeirão Preto

Rio Claro, 26 de junho de 2026.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a JESUS CRISTO, meu DEUS, senhor e salvador, ELE me deu esta vida e garantiu a minha liberdade, sem ELE, nada seria possível.

Agradeço a minha professora de graduação e orientadora, a Dra. Camila Coelho Greco, durante suas aulas, presenciais e na pandemia, me interessei pelas disciplinas que ela ministrava e aumentei meu interesse pela fisiologia humana e os efeitos do treinamento no organismo. Ela me acolheu em seu laboratório e aceitou me orientar durante esse período, me ajudou a superar diversas dificuldades e me auxiliou em diversas ocasiões. Agradeço a todos os meus colegas do laboratório de avaliação de performance humana (LAPH) e veteranos do mesmo, que me auxiliaram nas coletas e principalmente na análise dos dados e recrutamento de voluntários, respectivamente. Agradeço também ao Dr. Benedito Sérgio Denadai, e a todos os professores que ministraram disciplinas da pós-graduação, especial menção ao Dr. Dalton, que me ensinou a trabalhar com o ergoespirômetro e me deu caronas solidárias para um congresso em Bauru-SP, agradeço também ao Dr. Danilo Massini pelas dúvidas sanadas durante as minhas coletas e estudos.

Agradeço a minha família que me apoiou emocionalmente, espiritualmente e de todas as maneiras possíveis nos meus momentos alegres, tranquilos, bem como os tristes, difíceis e de saudade também.

Agradeço aos funcionários e terceirizados da UNESP, que permitiram a normalidade da universidade em momentos cruciais da coleta. Gostaria de agradecer, em especial, a técnica do laboratório, a Dra. Renata, que me auxiliou a trabalhar com os equipamentos do laboratório.

Agradeço aos voluntários que decidiram participar do estudo, e acharam espaço em suas agendas para participarem do estudo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2024/08661-0. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade dos autores e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

RESUMO

As respostas fisiológicas ao exercício físico podem ser diferentes entre homens e mulheres. O objetivo principal deste estudo foi analisar e comparar respostas fisiológicas e da percepção subjetiva de esforço (PSE) em testes incrementais no alicive, plano e declive, em homens e mulheres treinados em corrida. Participaram do estudo 15 homens e 11 mulheres fisicamente ativos entre 20-45 anos, sendo 2 grupos. Ambos os grupos realizaram ao todo 4 sessões experimentais: 1) Familiarização aos procedimentos experimentais do estudo e antropometria; 2) Teste progressivo na esteira ergométrica para a determinação dos dois limiares ventilatórios (LTR e PCR), do consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2pico}$) e da intensidade correspondente ao $\dot{V}O_{2pico}$ ($v\dot{V}O_{2pico}$), bem como o tempo de exaustão ($tlim$), foram realizados também os testes de força isométrica dos extensores e flexores de joelho em um dinamômetro isocinético. 3) Teste incremental similar ao procedimento 2, porém com a esteira em alicive de 7,5%, e; 4) Teste incremental similar ao procedimento 2, porém com a esteira em declive de 7,5%. Os homens eram mais altos, mais pesados, e apresentaram um menor percentual de gordura e IMC que as mulheres, não houve diferença para idade entre os sexos. Os valores de pico de torque foram significativamente menores nas mulheres para extensão e flexão de joelho. A $v\dot{V}O_{2pico}$, $vLTR$ e a $vPCR$ foram superiores nos homens em todas as condições, $v\dot{V}O_{2pico}$: plano: $17,1 \pm 1,67$ vs. $14,8 \pm 1,63$, alicive: $12,7 \pm 1,38$ vs. $10,7 \pm 1,34$ e declive: $18,9 \pm 2,43$ vs. $16,2 \pm 3,29$ km/h, em homens e mulheres respectivamente), $vLTR$ (plano: $12,1 \pm 1,16$ vs. $10,0 \pm 0,91$, alicive: $8,30 \pm 1,16$ vs. $6,94 \pm 0,87$, declive: $13,8 \pm 1,20$ vs. $11,2 \pm 2,39$ km/h), $vPCR$ (plano: $14,5 \pm 1,30$ vs. $12,2 \pm 1,14$, alicive: $10,3 \pm 0,87$ vs. $8,64 \pm 1,10$, declive: $16,2 \pm 1,44$ vs. $13,5 \pm 2,85$ km/h), porém, com relação as variáveis relativas de $vLTR$, o $\%v\dot{V}O_{2pico}$, $\dot{V}O_2$, $\% \dot{V}O_{2pico}$, FC, $\%FC_{pico}$ e PSE, não houve interação entre os

fatores grupo e inclinação ($p > 0,05$), (plano: homens: $70,7 \pm 3,85\% \dot{V}O_{2pico}$, $70,5 \pm 5,58\% \dot{V}O_{2pico}$ vs. mulheres: $69,0 \pm 4,01 \dot{V}O_{2pico}$, $75,7 \pm 5,11\% \dot{V}O_{2pico}$), (ativo: homens: $65,4 \pm 6,87\% \dot{V}O_{2pico}$, $70,5 \pm 8,65\% \dot{V}O_{2pico}$ vs. mulheres: $66,1 \pm 6,27\% \dot{V}O_{2pico}$, $73,4 \pm 5,95\% \dot{V}O_{2pico}$), (declive: homens: $73,4 \pm 6,06 \dot{V}O_{2pico}$, $72,0 \pm 9,30\% \dot{V}O_{2pico}$ vs. mulheres: $70,5 \pm 4,91\% \dot{V}O_{2pico}$, $74,5 \pm 4,98\% \dot{V}O_{2pico}$) o mesmo ocorreu com as variáveis de vPCR relativas a intensidade máxima (nível: homens: $84,6 \pm 3,52\% \dot{V}O_{2pico}$, $83,8 \pm 6,39\% \dot{V}O_{2pico}$ vs. mulheres: $83,8 \pm 3,39\% \dot{V}O_{2pico}$, $86,8 \pm 3,99\% \dot{V}O_{2pico}$), (ativo: homens: $81,5 \pm 5,41\% \dot{V}O_{2pico}$, $84,1 \pm 7,37\% \dot{V}O_{2pico}$ vs. mulheres: $82,1 \pm 5,40\% \dot{V}O_{2pico}$, $89,5 \pm 3,56\% \dot{V}O_{2pico}$), (declive: homens: $85,9 \pm 5,26\% \dot{V}O_{2pico}$, $84,2 \pm 8,91\% \dot{V}O_{2pico}$ vs. mulheres: $84,7 \pm 4,67\% \dot{V}O_{2pico}$, $86,9 \pm 2,81\% \dot{V}O_{2pico}$). Ou seja, em termos absolutos, os homens apresentaram números superiores, e embora as mulheres tenham atingido o LTR em um $\dot{V}O_{2pico}$ numericamente superior nas três condições, (homens: $70,5 \pm 5,58\%$, $70,5 \pm 8,65\%$, $72,0 \pm 9,30\%$ vs. mulheres: $75,7 \pm 5,11\%$, $73,4 \pm 5,95\%$, $74,5 \pm 4,98\%$, em nível, ativo e declive, respectivamente), não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os sexos nas três condições em todos os valores das medidas relativas do LTR e PCR à intensidade máxima ($p > 0,05$). Portanto, é possível concluir que, os homens atingem velocidades associadas aos índices de aptidão aeróbia maiores do que as mulheres. No entanto, homens e mulheres tendem a apresentar respostas similares relacionadas aos percentuais nos quais os limiares ventilatórios são atingidos no plano, ativo e declive, da mesma forma que a PSE. As maiores velocidades referentes aos índices de aptidão aeróbia foram atingidas no declive, comparativamente ao plano e ao ativo. Nos homens a redução nos valores de $\dot{V}O_{2pico}$ e FC_{pico} no declive é ainda maior, sugerindo que os homens respondem de maneira diferente das mulheres nesta condição. Assim, a inclinação é um fator

fundamental a ser considerado na avaliação e prescrição do treinamento de corredores.

Palavras-chave: exercício físico, endurance, limiares ventilatórios e performance

ABSTRACT

Physiological responses to physical exercise can differ between men and women. The main objective of this study was to analyze and compare physiological responses and ratings of perceived exertion (RPE) in incremental uphill, flat, and downhill tests in trained men and women runners. 15 physically active men and 11 physically active women aged 20-45 years will participate in the study, divided into two groups. Both groups performed a total of four experimental sessions: 1) Familiarization with the study's experimental procedures and anthropometry; 2) Progressive test on a treadmill to determine the two ventilatory thresholds (GET and RCP), maximum oxygen consumption ($\dot{V}O_{2peak}$) and the intensity corresponding to $\dot{V}O_{2peak}$ ($v\dot{V}O_{2peak}$), as well as time to exhaustion (t_{lim}), the isometric strength tests on the knee extensors and flexors on a isokinetic dynamometer were also completed; 3) Incremental test similar to procedure 2, but with the treadmill at a 7.5% incline; and 4) Incremental test similar to procedure 2, but with the treadmill at a 7.5% decline. Men were taller, heavier, and had a lower body fat percentage and BMI than the women, there were no age difference between the sexes. The peak torque values were significantly lower in women for knee extension and flexion. The $v\dot{V}O_{2peak}$, $vGET$ and the $vRCP$ were higher in men under all conditions, $v\dot{V}O_{2peak}$: (level: 17.1 ± 1.67 vs. 14.8 ± 1.63 , uphill: 12.7 ± 1.38 vs. 10.7 ± 1.34 and downhill: 18.9 ± 2.43 vs. 16.2 ± 3.29 km/h, in men and women, respectively), $vGET$: (level: 12.1 ± 1.16 vs. 10.0 ± 0.91 , uphill: 8.30 ± 1.16 vs. 6.94 ± 0.87 , downhill: 13.8 ± 1.20 vs. 11.2 ± 2.39 km/h), $vRCP$: (level: 14.5 ± 1.30 vs. 12.2 ± 1.14 , uphill: 10.3 ± 0.87 vs. 8.64 ± 1.10 , downhill: 16.2 ± 1.44 vs. 13.5 ± 2.85 km/h), however, in regards to the variables of $vGET$ that are related to the maximum intensity, the $\%v\dot{V}O_{2peak}$, $\dot{V}O_2$, $\%\dot{V}O_{2peak}$, FC, $\%FC_{peak}$ and PSE, there was no interaction between group and slope factors ($p > 0.05$), (level: men: $70.7 \pm$

3.85% $\dot{V}O_{2peak}$, $70.5 \pm 5.58\%\dot{V}O_{2peak}$ vs. women: $69.0 \pm 4.01\%\dot{V}O_{2peak}$, $75.7 \pm 5.11\%\dot{V}O_{2peak}$), (uphill: men: $65.4 \pm 6.87\%\dot{V}O_{2peak}$, $70.5 \pm 8.65\%\dot{V}O_{2peak}$ vs. women: $66.1 \pm 6.27\%\dot{V}O_{2peak}$, $73.4 \pm 5.95\%\dot{V}O_{2peak}$), (downhill: men: $73.4 \pm 6.06\%\dot{V}O_{2peak}$, $72.0 \pm 9.30\%\dot{V}O_{2peak}$ vs. women: $70.5 \pm 4.91\%\dot{V}O_{2peak}$, $74.5 \pm 4.98\%\dot{V}O_{2peak}$) the same occurred with vRCP variables related to the maximal intensity (level: men: $84.6 \pm 3.52\%\dot{V}O_{2peak}$, $83.8 \pm 6.39\%\dot{V}O_{2peak}$ vs. women: $83.8 \pm 3.39\%\dot{V}O_{2peak}$, $86.8 \pm 3.99\%\dot{V}O_{2peak}$), (uphill: men: $81.5 \pm 5.41\%\dot{V}O_{2peak}$, $84.1 \pm 7.37\%\dot{V}O_{2peak}$ vs. women: $82.1 \pm 5.40\%\dot{V}O_{2peak}$, $89.5 \pm 3.56\%\dot{V}O_{2peak}$), (downhill: men: $85.9 \pm 5.26\%\dot{V}O_{2peak}$, $84.2 \pm 8.91\%\dot{V}O_{2peak}$ vs. women: $84.7 \pm 4.67\%\dot{V}O_{2peak}$, $86.9 \pm 2.81\%\dot{V}O_{2peak}$). That is, in absolute terms, the men showed higher values, and although the women reached the GET in a numerically superior % $\dot{V}O_{2peak}$ in the three conditions, (men: $70.5 \pm 5.58\%$, $70.5 \pm 8.65\%$, $72.0 \pm 9.30\%$ vs. women: $75.7 \pm 5.11\%$, $73.4 \pm 5.95\%$, $74.5 \pm 4.98\%$, in level, uphill and downhill, respectively), no statistically significant differences between the sexes in the three conditions were found for all values of the relative measurements of the GET and RCP at maximum intensity ($p > 0.05$). Therefore, it is possible to conclude that men achieve higher speeds associated with aerobic fitness indices than women. However, men and women tend to show similar responses related to the percentages at which ventilatory thresholds are reached on flat, uphill, and downhill terrain, as well as the RPE. The highest speeds associated with aerobic fitness indices were achieved downhill, compared to flat and uphill terrain. In men, the reduction in $\dot{V}O_{2peak}$ and HR_{peak} values downhill is even greater, suggesting that men respond differently from women in this condition. Thus, slope is a fundamental factor to be considered in the evaluation and prescription of training for runners.

Keywords: physical exercise, endurance, ventilatory thresholds and performance

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados antropométricos.....	40
Tabela 2. Valores médios $\pm$ DP do pico de torque isométrico (PTI), concêntrico (PTC) e excêntrico (PTE) dos músculos extensores do joelho e flexores do joelho, dos homens e das mulheres.....	41
Tabela 3. Variáveis máximas da corrida realizada no plano, aclone e declive.....	44
Tabela 4. Variáveis correspondentes ao limiar de trocas ventilatórias (LTR) no plano, aclone e declive.....	48
Tabela 5. Variáveis correspondentes ao ponto de compensação respiratória (PCR) no plano, aclone e declive.....	52
Tabela 6. Correlação (r) entre as variáveis obtidas no teste incremental, nos homens.....	53
Tabela 7. Correlação (r) entre as variáveis obtidas no teste incremental, nas mulheres.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS

CHO - carboidratos

CO₂ - gás carbônico

CVM - contração voluntária máxima

FC - frequência cardíaca

FCpico - frequência cardíaca pico

FFA - ácidos graxos livres

GH - hormônio do crescimento

H⁺ - íon hidrogênio

HCO₃ - bicarbonato

IMC - índice de massa corporal

LT - limiar de lactato

LTR - limiar de trocas respiratórias

mRNA - ribossomo

MYH - miosina de cadeia pesada

O₂ - oxigênio

PCR - ponto de compensação respiratória

PIT - pico de torque isométrico

PSE - percepção subjetiva de esforço

RER - razão de trocas respiratórias

TG - lipoproteína de densidade muito baixa

Tlim - tempo limite

v $\dot{V}$ O₂pico - velocidade associada ao consumo de oxigênio pico

$\dot{V}$ O₂pico - consumo de oxigênio pico

$\dot{V}O_{2\max}$ - consumo máximo de oxigênio

[La] - concentração de lactato sanguíneo

%FCpico - percentual da frequência cardíaca pico

% $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ - percentual do consumo de oxigênio pico

%v $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ - percentual da velocidade associada ao consumo de oxigênio pico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. Objetivos.....	19
2.1. Geral.....	19
2.2. Específicos.....	19
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1. Determinantes de performance e tolerância ao exercício em corridas de longa duração.....	20
3.2. Respostas cardiorrespiratórias e metabólicas ao exercício aeróbio em homens e mulheres.....	29
3.3. Respostas fisiológicas à corrida em diferentes inclinações.....	42
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	47
4.1. Participantes.....	47
4.2. Delineamento experimental.....	47
4.3. Avaliação antropométrica.....	48
4.4. Teste progressivo.....	48
4.5. Determinação dos limiares ventilatórios.....	49
4.6. Teste de força máxima.....	49
4.7. Análise estatística.....	50
5. RESULTADOS.....	52
6. DISCUSSÃO.....	67
6.1. Respostas fisiológicas máximas.....	67
6.2. Respostas fisiológicas submáximas.....	73
6.3. Limitações.....	78
7. CONCLUSÃO.....	79

8. REFERÊNCIAS.....	80
----------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

Um fator importante a ser considerado na área da performance humana, e que tem sido mais estudado recentemente, é o efeito do sexo nas respostas fisiológicas ao exercício físico, especialmente no contexto de corridas de longa duração, esporte que têm se popularizado pelo mundo, sendo praticado por homens e mulheres de todas as idades, e realizada em diversos ambientes e terrenos. É também uma atividade que traz benefícios à saúde, como prevenção de infarto, de doenças cardíacas, diabetes e osteoporose (NICHOLL et al., 1994). Dentre as modalidades de corrida, estão cada vez mais populares as de ultra resistência, ou *ultra endurance*, como ultramaratonas, ultra trilhas, ou *ultra trail*. Provas destas modalidades, normalmente tem como característica, a presença de trechos de seu percurso com diferentes inclinações, o que implica emprego de diferentes estratégias de ritmo.

Considerando-se os esportes de resistência, é conhecido que homens têm melhor performance esportiva que as mulheres devido a diversas características fisiológicas que lhes conferem melhor desempenho, como por exemplo, maior concentração de hemácias no sangue (BASSETT et al., 2020). Entretanto, na corrida de longa duração, desde o início oficial das mulheres em competições em 1970, a diferença de tempo entre homens e mulheres diminuiu gradualmente, sendo mais próxima de 11% a 12% mais recentemente (HUNTER, JOYNER e JONES, 2015), antes, os recordes das mulheres poderiam ser até mais que 20% inferiores aos dos homens.

Dentre os principais determinantes de performance utilizados por treinadores e estudiosos do esporte, especialmente de corrida, estão: o $\dot{V}O_2\text{max}$; a velocidade associada ao $\dot{V}O_2\text{max}$; a economia de corrida, ou seja, a eficiência energética, como também as intensidades nas quais os limiares ventilatórios são atingidos, sendo estes

os considerados mais relevantes para determinar a melhor performance dentre atletas de elite.

Ainda há muito debate sobre a classificação, nomenclatura e a determinação dos limiares, mas considera-se que há principalmente dois, e a intensidade de exercício ou atividade na qual eles são atingidos pode ser aumentada mediante treinamento, o que se traduz em melhora de performance em esportes de *endurance*. São eles: limiar de trocas respiratórias (LTR), e o segundo, o ponto de compensação respiratória (PCR), sendo o conceito destes mais aprofundados mais adiante, na revisão de literatura. Estes limiares podem servir como delimitadores de zonas de intensidade, em uma corrida de resistência de curta a média distância, (≤ 5 km), a intensidade da corrida permanece na mesma do PCR ou acima desta, o corredor estaria se exercitando em uma zona de intensidade conhecida como domínio severo. Em provas mais longas, (> 5 km e $\leq 42,195$ km) a intensidade é menor, para atletas de elite, ela está entre o LTR e o PCR, possivelmente mais próxima do PCR, o domínio pesado, sendo esta zona determinada por estar entre os dois limiares. Para provas de *ultraendurance* ($> 42,195$ km), a intensidade é igual ou menor que o LTR, sendo esta, o domínio moderado.

Uma das características das provas de corrida especialmente as de *ultraendurance* e as da modalidade de trilha ou de *ultratrail*, é o percurso ter trechos com diferentes inclinações, partes de subida e partes de descida, e diferentes opções de caminho em provas específicas. Isso leva os atletas e treinadores a adotarem diferentes estratégias de ritmo para provas diferentes. Isso porque, dentre outros motivos, a inclinação leva o corredor a alterar algumas variáveis cinemáticas da sua passada, na subida, o tempo de contato é maior do que no plano, e a frequência de passada, o comprimento de passada são menores, enquanto na descida, o tempo de

contato e a frequência de passada são semelhantes, e o comprimento da passada é maior (LEMIRE et al., 2020).

Não é apenas a cinemática que está sujeita a variações durante corridas em diferentes inclinações, a predominância do tipo de contração, o ciclo alongamento-encurtamento da passada e demanda energética também são alterados. Sendo que na descida a predominância é de contrações excêntricas e na subida de concêntricas, (LINDSTEDT et al., 2001; LEMIRE et al., 2021), no plano há presença balanceada dos dois tipos durante o movimento de corrida. Como já foi verificado em estudos, as contrações excêntricas apresentam menor demanda energética em relação as isométricas e concêntricas (HERZOG, 2018; PEÑAILILLO et al., 2017; TOURON et al., 2021), e, em concordância com tais estudos, ao se analisar corridas em mesma velocidade absoluta também foi constatado que o custo metabólico em descida é menor do que na subida (LEMIRE et al., 2018), há também um estudo em que o $\dot{V}O_2\text{max}$ atingido na descida (-3%), (58 ml/kg/min), é menor do que no plano, (68 ml/kg/min), mesmo com velocidade atingida sendo maior (24,6 km/h e 23 km/h, respectivamente) (LIEFELDT et al., 1992).

Entre os fatores que podem explicar o maior $\dot{V}O_2\text{max}$ nos homens do que nas mulheres, estão: a maior massa muscular dos homens, menor percentual de gordura e maior concentração de hemoglobina sanguínea. Há outros fatores menos importantes que contribuem com ou atenuam essa diferença de performance: utilização preferencial de um tipo de substrato energético frente aos outros, fadigabilidade muscular, ritmo e competitividade. (HUNTER et al., 2015). Vale citar o estudo de Mendonça et al. (2020), o qual afirma que as mulheres apresentam menor “custo de corrida” que os homens, no caso melhor economia de corrida quando testados em intensidades predeterminadas e relativas (8, 10, 12 km/h), tendo os

indivíduos participantes semelhantemente aptidão cardiorrespiratória, tomado por comparação o $\dot{V}O_2\text{max}$ real com o $\dot{V}O_2\text{max}$ predito deles (homens: 149,6 18,7%, mulheres: 150,8 16,4%).

No estudo feito por Speechly et al. (1996), foi reportado que em uma corrida de 90 km, as mulheres conseguiram manter uma fração mais alta do $\dot{V}O_2\text{max}$ do que os homens (59,8% e 50,2%, respectivamente) e superá-los em velocidade média na prova (10,2 km/h e 9,3 km/h, respectivamente), na comparação de indivíduos de tempo semelhante na corrida de 42,2 km. Neste estudo, a economia de corrida, o tempo de treinamento de resistência e a potência aeróbia foram semelhantes entre os grupos, portanto, o melhor desempenho das mulheres não pode ser atribuído a estes fatores. Da mesma forma, Bam et al. (1997) verificaram que as mulheres, quando pareadas por tempo de conclusão em uma corrida de 56 km com sujeitos masculinos com idade e nível de treinamento semelhante, apresentam menor tempo (maior velocidade média) em uma ultramaratona de 90 km, apresentando menor queda na velocidade ao decorrer da prova, apesar de terem em média tempos maiores (pior performance) em provas iguais ou menores que 42,2 km. Os autores concluem que as mulheres podem superar homens igualmente treinados em distâncias superiores a aproximadamente 70 km, e sugerem que essa vantagem em ultramaratonas é devido ao seu menor peso, e a maior resistência à fadiga neuromuscular.

Um fator que pode contribuir para o melhor desempenho das mulheres em provas de longa duração ou de *ultra endurance* é o fato do seu organismo dar preferência para oxidar mais gorduras (ácidos graxos) e menos carboidratos (CHO) e aminoácidos como substratos quando comparado com os homens em um exercício de intensidade moderada (CARTER, RENNIE e TARNOPOLSKY, 2001; TARNOPOLSKY et al., 1990). Esta preservação de CHO e por consequência, do

glicogênio nas mulheres, é uma importante vantagem para a performance em provas de longa duração permite que o desenvolvimento da fadiga central seja atenuado (NYBO, 2003), com a preservação de proteínas, consequência também do efeito do estrogênio, é possível ter uma menor degradação na estrutura muscular (TARNOPOLSKY, 2000; WAGENMAKERS et al., 1991), viabilizando manutenção da eficiência mecânica. A preservação do glicogênio intramiofibrilar possibilitaria uma melhor manutenção na capacidade contrátil do músculo, já que de acordo com Ørtenblad et al. (2013), sua presença é fundamental para a liberação de Ca^{2+} no músculo. Tudo isso auxilia atletas em contextos de *ultra endurance*, podendo ajudá-las a evitar a intercorrência de um fenômeno comum em corridas ou provas de longa duração.

É relevante ressaltar que diversos estudos foram feitos a fim de comparar a fatigabilidade de mulheres com homens após exercícios uni articulares e multiarticulares, como no estudo de Albert et al. (2006), no qual os homens e as mulheres realizaram 10 contrações submáximas de 30 segundos, a 50% do pico de torque de uma contração voluntária máxima dos extensores de joelho, e as mulheres apresentaram menor fadiga neuromuscular, tendo melhor manutenção da habilidade de controlar a contração. De acordo com Besson et al. (2021), as mulheres apresentam maior resistência a fadiga neuromuscular em relação aos homens quando submetidas a corridas de grande duração e provas de *ultra endurance*. Neste estudo elas apresentaram, após o término das corridas, menor perda de pico de torque dos extensores de joelho, -27% (mulheres) e (homens) -36%, e menor fadiga periférica dos flexores plantares, sendo a diferença do pico de torque evocado do pré e pós corrida: -10% (mulheres) e -24% (homens).

Portanto, considerando o fato de trajetos de corrida populares apresentarem diferentes graus de inclinação, e, tendo em vista os diferentes padrões de recrutamentos em diferentes planos de corrida, bem como as diferenças morfológicas musculares entre homens e mulheres, analisar a força muscular, a resposta respiratória, taxa de percepção subjetiva de esforço e a tolerância ao teste incremental em corridas em diferentes inclinações pode contribuir para ampliação do conhecimento sobre fatores determinantes da performance na corrida e fundamentar futuros estudos em corridas em diferentes tipos de terrenos, em homens e mulheres.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

O objetivo principal deste estudo foi analisar e comparar respostas fisiológicas e da percepção subjetiva de esforço (PSE) em testes incrementais no aclone, plano e declive, em homens e mulheres treinados em corrida.

2.2. Específicos

Investigar se houve diferença entre homens e mulheres na resposta dos seguintes parâmetros:

- % $\dot{V}O_2$ pico atingido no limiar de trocas respiratórias (LTR).
- % da velocidade aeróbia máxima atingida no LTR.
- % $\dot{V}O_2$ pico atingido no segundo limiar ou ponto de compensação respiratória (PCR).
- % da velocidade aeróbia máxima atingida no PCR.
- Percepção subjetiva de esforço (PSE) no GET, PCR e $\dot{V}O_2$ pico.
- Tempo limite (tlim).
- Força isométrica nos extensores e flexores de joelho.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Determinantes de performance e tolerância ao exercício em corridas de longa duração

Em um esporte de resistência, ou, de *endurance*, como a corrida de longa duração, há algumas medidas ou variáveis que podem ser utilizadas como parâmetros de performance, como o padrão ouro da avaliação da aptidão cardiorespiratória de um indivíduo, o $\dot{V}O_2\text{max}$ (BASSETT, HOWLEY, 2000). Também podem ser utilizados os limiares ventilatórios (LTR e PCR) na avaliação da aptidão aeróbia destes atletas.

De acordo com Bassett e Howley (2000), o $\dot{V}O_2\text{max}$ é a maior taxa na qual o oxigênio pode ser captado e utilizado pelo corpo durante um exercício de intensidade severa. Ele é limitado devido a características ou capacidades fisiológicas relacionadas ao caminho que o oxigênio percorre da atmosfera até a mitocôndria, sendo eles: capacidade de difusão do pulmão; débito cardíaco máximo (capacidade cardíaca); capacidade do sangue de transportar o oxigênio e características do músculo esquelético (o que inclui quantidade de enzimas, gradiente de perfusão periférico e capilarização do músculo, sendo este o único fator periférico e não central dos citados). O $\dot{V}O_2$ aumenta gradativamente até determinada intensidade ou taxa de trabalho, porém não aumenta mais em nível de exigência superior a tal taxa. No caso da corrida, a intensidade obtida quando o corredor atinge o seu $\dot{V}O_2\text{max}$ em um exercício incremental é chamada de velocidade aeróbia máxima ou velocidade associada ao consumo máximo de oxigênio, ($v\dot{V}O_2\text{max}$). Um procedimento tradicional para verificar esta medida, bem como o $\dot{V}O_2\text{max}$, é o teste incremental ou de rampa, no caso, na esteira ergométrica, combinado com medições de ventilação e troca

gasosa respiração a respiração, sendo este uma forma experimental e clínica robusta para se avaliar a capacidade cardiopulmonar (POOLE e JONES, 2017).

Durante uma atividade física, diferentes vias metabólicas atuam para suprir a necessidade energética no músculo ativado pela atividade ou exercício (GASTIN, 2001). As vias metabólicas são divididas em três: a anaeróbia, que é dividida em láctica e aláctica, responsáveis, respectivamente, pela quebra “não aeróbia” de carboidratos para lactato através da glicólise e pela divisão de fosfagênios armazenados e fosfocreatina (PCr) (sistema fosfagênio/ATP-CP), e a aeróbia, na qual há o metabolismo oxidativo, que consiste basicamente na combustão (com oxigênio) de carboidratos, gorduras e proteínas. As vias anaeróbias, dando destaque a ATP-CP, são capazes de gerar energia mais rapidamente, porém apenas liberam uma quantidade limitada de energia durante um curto exercício intenso. Já o metabolismo aeróbio, tem uma elevada capacidade, mas com uma velocidade de liberação de energia limitada (GASTIN, 2001).

Conforme há maior contribuição das vias energéticas anaeróbias, chega-se a um ponto em que há um acúmulo de lactato no sangue, já que a sua taxa de produção passa a superar a de desaparecimento natural, ou consumo. Com a literatura atual, sabe-se que o lactato pode ser utilizado como substrato energético pelas mitocôndrias dos músculos (especialmente fibras do tipo I) através de lançadeira de lactato de “célula para célula” que pode levá-lo de uma fibra branca (tipo II, glicolítica) para uma fibra vermelha (tipo I, oxidativa), por exemplo, como também para cérebro, e para o miocárdio, nos quais é consumido como substrato preferencial durante atividades físicas, e para o fígado e os rins, nos quais é transformado em glicose através da gliconeogênese (BROOKS, 2018). O lactato pode ser transportado também dentro da célula através de uma lançadeira intracelular, trocas citosol-mitocôndria e citosol-

peroxissomo (BROOKS, 2018). Até certa intensidade, a taxa de remoção se mantém semelhante à taxa de produção de ácido láctico, conforme a intensidade do exercício ou da atividade física aumenta, há um aumento da contribuição da energia anaeróbia láctica para o exercício, o que faz com que haja um acúmulo de lactato no sangue, para controlar a acidez sanguínea, nos músculos, os íons H^+ sofrem um tamponamento por bicarbonato (HCO_3^-), reação química que tem como produtos água e CO_2 , este é expirado na respiração e, por conseguinte, mudanças nas trocas respiratórias ocorrem. Quando esse fenômeno ocorre no organismo, ele pode ser verificado através de medidas não invasivas, no caso, de ventilação e trocas gasosas respiração por respiração, que revelam um aumento não linear do CO_2 expirado quando comparado ao aumento no consumo de O_2 ($\dot{V}O_2$) em relação a intensidade, ou seja, o coeficiente respiratório passa a aumentar conforme a intensidade ou taxa de trabalho passa a intensidade do chamado limiar de trocas respiratória (LTR) (BEAVER; WASSERMAN; WHIPP, 1986). A nomenclatura dele varia dependendo de como ele é verificado ou medido. No estudo de Herdy et al. (2016) os autores sugerem o nome limiar aeróbio, e o definem como o momento em que passa a haver um aumento não linear da ventilação pulmonar (VE) em relação ao $\dot{V}O_2$. Do ponto de vista fisiológico, o limiar aeróbio representa o limite superior de cargas de trabalho durante determinado exercício que podem ser sustentadas ao longo de um período prolongado, sem elevação progressiva do lactato sanguíneo e consequente hiperventilação pulmonar.

Outro fenômeno pode ser verificado através das respostas ventilatórias (na maioria dos indivíduos), em intensidades ou taxas de trabalho mais altas, sendo este chamado de ponto de compensação ventilatória (PCR), no qual, boa parte dos indivíduos, apresenta uma hiperventilação. O PCR equivale a maior taxa de trabalho na qual é possível obter um estado estável de $\dot{V}O_2$ (BEAVER et al., 1986; FERGUSON

et al., 2006), e, de acordo com Meyer et al. (2004), ele marca o início de uma hiperventilação (compensação respiratória), que é uma perda da linearidade entre VE e $\dot{V}CO_2$, ou seja, a ventilação aumenta de forma desproporcional a produção de gás carbônico. Conforme verificado por Meyer et al. (2004), essa hiperventilação ocorre principalmente devido a acidose metabólica (aumento da concentração de $[H^+]$), que surge quando há falha parcial no mecanismo de tamponamento com bicarbonato em neutralizar a acidose. O acúmulo de CO_2 não metabólico (gerado pelo tamponamento $H^+ + HCO_3^- \rightarrow CO_2 + H_2O$) contribui para o aumento da ventilação já a partir do primeiro limiar, mas não é o gatilho principal para o PCR, este seria a queda do pH sanguíneo, que estimula os quimiorreceptores periféricos, principalmente os chamados corpos carotídeos. O excesso de CO_2 não metabólico, (produzido no tamponamento de bicarbonato), pode elevar temporariamente a $PaCO_2$, estimulando os quimiorreceptores centrais, mas na PCR a hiperventilação resultante geralmente causa uma queda na $PaCO_2$, o que reduz o estímulo aos quimiorreceptores centrais. O estímulo da acidose aos quimiorreceptores periféricos é o principal fator para a hiperventilação respiratória no PCR.

Em um grupo heterogêneo de corredores, a performance em corridas de longa duração pode ser predita por diversos fatores: $\dot{V}O_{2max}$, $v\dot{V}O_{2max}$, economia de corrida, limiares ventilatórios e metabólicos, resposta de consumo de oxigênio e velocidade crítica. Porém, em um grupo com nível de treinamento alto e homogêneo, o principal preditor de performance para corridas com distância de 5000 m até ultramaratonas (acima de 42,195 km), é a resposta de lactato sanguíneo, enquanto para provas curtas, 1500 a 3000 m, o $\dot{V}O_{2max}$ é o principal determinante (DENADAI e GRECO, 2022).

Em corredores altamente treinados a porcentagem do $\dot{V}O_2\text{max}$ atingida no primeiro limiar é de aproximadamente 65-85% e no PCR está entre aproximadamente 80-90% do $\dot{V}O_2\text{max}$. Em um estudo realizado por Hetlelid et al. (2015), os autores constataram que enquanto corredores moderadamente treinados atingiram o primeiro limiar ventilatório, em um teste incremental na esteira ergométrica, a 69% $\dot{V}O_2\text{max}$ em uma velocidade de 7,8 km/h e o segundo limiar a 83% a uma velocidade de 10,5 km/h, com um $\dot{V}O_2\text{max}$ de 55 ml/kg/min. Já os indivíduos altamente treinados apresentaram, no primeiro limiar 75% $\dot{V}O_2\text{max}$ e uma velocidade de 12,6 km/h e o segundo limiar a 90% $\dot{V}O_2\text{max}$ com uma velocidade de 15,0 km/h, e um $\dot{V}O_2\text{max}$ de 70 ml/kg/min. Este estudo também verificou que em exercícios intermitentes de alta intensidade, HIIT (6 x 4 minutos de exercício e 2 minutos de descanso), 33% do gasto energético total em altamente treinados era proveniente de oxidação de gorduras e nos moderadamente treinados, um valor menor, 16%. Ou seja, frações maiores do $\dot{V}O_2\text{max}$ são obtidas nos limiares e há maior preferência por oxidação de gordura no organismo quanto maior é o nível de treinamento do indivíduo. No estudo de Lourenço (2009), foram realizados 4 testes incrementais de rampa em uma esteira ergométrica a 1% de inclinação (4 testes iguais) com 11 corredores amadores homens (3-5 sessões por semana, 40-100 km de volume semanal). Foi demonstrado que o LTR e o PCR foram atingidos em aproximadamente 66,3% $\dot{V}O_2\text{max}$ e 80,3% $\dot{V}O_2\text{max}$, as velocidades foram de aproximadamente 11,8 km/h (63,7% $v\dot{V}O_2\text{max}$) e 14,8 km/h (78,7% $v\dot{V}O_2\text{max}$), respectivamente. O $\dot{V}O_2\text{max}$ foi de 48 ml/kg/min, atingido a uma velocidade de 18,7 km/h. Ainda neste estudo, foi realizado o mesmo teste (porém apenas uma vez) com 19 corredores, divididos em grupos: corredores rápidos (150 km de volume semanal) e lentos (30 km de volume semanal), que foram divididos baseando-se em uma prova simulada de 10 km (lentos >40 min, rápidos <36 min).

Nos corredores lentos, a velocidade no LTR foi de 11,5 km/h ($68,9\%v\dot{V}O_{2max}$), no PCR 13,2 km/h ($79,0\%v\dot{V}O_{2max}$) e a $v\dot{V}O_{2max}$ foi de 16,7 km/h, e a velocidade nos 10 km foi de 12,9 km/h. No grupo dos corredores rápidos, a velocidade no LTR foi 15,9 km/h ($75,7\% v\dot{V}O_{2max}$), no PCR 17,9 km/h ($85,2\%v\dot{V}O_{2max}$), a $v\dot{V}O_{2max}$ foi de 21,0 km/h, e a v10 km foi de 18,0 km/h. Portanto, a intensidade relativa ao $\dot{V}O_{2max}$, em que ocorrem os limiares aumenta conforme aumenta o nível de aptidão aeróbia, de forma que os valores variam de 75-90% $\dot{V}O_{2max}$ nos indivíduos treinados e ~ 60% $\dot{V}O_{2max}$ nos indivíduos não treinados (JOYNER e COYLE, 2008).

Os limiares são considerados como limites dos chamados domínios de intensidade de exercício, que são faixas de intensidade nas quais um exercício pode ser executado e nos quais as respostas fisiológicas, incluindo respostas de fadiga, características a cada um deles, tendem a ser similares. Os domínios são denominados de moderado, pesado, severo e extremo. O domínio moderado tem como limite superior o limiar de lactato, tendo como característica, o atingimento de um estado estável no $\dot{V}O_2$ em menos de 3 minutos. Neste domínio, a ventilação, $\dot{V}O_2$ e produção de CO_2 aumentam linearmente em relação à intensidade. O domínio pesado corresponde às intensidades entre o limiar de lactato e a potência crítica ou velocidade crítica, e tem como característica principal o desenvolvimento componente lento do $\dot{V}O_2$, que é basicamente um componente da resposta ventilatória que atrasa o estado estável do consumo de $\dot{V}O_2$ (o estado estável é atingido em apenas 10 a 20 minutos) (BURNLEY e JONES, 2007), e faz com que ele seja maior do que o esperado pela relação $\dot{V}O_2$ e carga. A potência crítica ou velocidade crítica corresponde ao limite inferior do domínio severo, e o limite superior a maior taxa de trabalho em que o $\dot{V}O_{2max}$ é atingido antes da exaustão (BURNLEY e JONES, 2007). O quarto domínio, o extremo, pode ser considerado qualquer potência em que a exaustão ocorra antes

do $\dot{V}O_2\text{max}$ ser atingido (BURNLEY e JONES, 2007; HILL et al., 2002). No domínio severo o consumo do O_2 , não se mantêm estável e, devido ao aumento do $\dot{V}O_2$, o $\dot{V}O_2\text{max}$ é atingido, mesmo quando o indivíduo está submetido a um exercício em uma intensidade abaixo da qual o $\dot{V}O_2\text{max}$ é alcançado em um teste incremental. Isso ocorre em razão de que, exercícios em intensidades neste domínio tem como característica inexorável a quebra contínua da homeostase metabólica no músculo (BURNLEY e JONES, 2016).

O domínio de intensidade em que um indivíduo se exercita, impacta diretamente o tempo de exaustão, ou tempo limite, daquela tarefa. Nestas condições, um aspecto relevante também é a fadiga neuromuscular, que é definida como a perda, reversível pelo descanso, da capacidade do músculo de gerar força ou de velocidade, induzida pelo esforço (GANDEVIA, 2001).

De acordo com Burnley e Jones (2007), a atividade pode ser sustentada por diferentes durações, dependendo do domínio em que ela está sendo executada: no domínio moderado a tarefa pode ser sustentada por mais de 4 horas, a fadiga pode ocorrer por hipertermia (quando a atividade é executada em temperaturas superiores), redução do drive neural/motivação, a fadiga neuromuscular resultante de exercício neste domínio pode ser quase exclusivamente de natureza central (associada ao sistema nervoso) (BURNLEY e JONES, 2016), como verificado no estudo de Davies e Thompson (1986), nos quais 10 ultramaratonistas, após 4 horas de corrida a 65-70% $\dot{V}O_2\text{max}$, apresentaram em média perda de 25% na força do quadríceps femoral, sem apresentar perda de força tetânica (não foi verificada fadiga de natureza periférica, já que com estímulo externo o músculo apresentou o mesmo nível de força que anteriormente a corrida).

Ainda segundo Burnley e Jones (2007), no domínio pesado, a tarefa pode perdurar por aproximadamente 3 a 4 horas, ou de aproximadamente 40 minutos a 3 h de acordo com (BURNLEY e JONES, 2016), 3 horas sem suplementação de carboidratos (placebo) até 4 horas com suplementação de carboidratos (solução de polímero de glicose) (COYLE et al., 1986). Ele é caracterizado pela presença e desenvolvimento evidente do componente lento, da depleção de substratos (reservas de energia) do corpo, principalmente glicogênio, sendo que a depleção deste tem um papel central na fadiga neuromuscular resultante de um exercício pesado, por conseguinte, também é uma das causas da exaustão neste domínio. A hipertermia pode contribuir para a exaustão neste domínio, em adição a isto a fadiga periférica passar a ocorrer progressivamente, porém mais lentamente do que no domínio severo. A falta de glicogênio, somente ou combinada com a produção de oxigênio reativo, acúmulo K^+ , também pode acarretar a falha do acoplamento excitação–contração em uma fibra, causando progressivamente mais fadiga periférica (ALLEN et al., 2008; BURNLEY e JONES, 2016). Ambos os tipos de fibras são recrutados durante o exercício, desde fases iniciais, entretanto um grupo de fibras pode sofrer mais estresse metabólico enquanto a atividade continua, por depleção de glicogênio ou de fosfocreatina, o decaimento de sua força gera necessidade de recrutamento de fibras adicionais, preferencialmente fibras do tipo II, para manter o exercício (BURNLEY; JONES, 2016; KRUSTUP et al., 2004).

No domínio severo, não é possível atingir um estado fisiológico estável do $\dot{V}O_2$ (consumo de oxigênio), de metabólitos musculares e de respostas ácido-base no sangue, a falha na tarefa ocorre, normalmente quando o indivíduo atinge o $\dot{V}O_{2max}$. A exaustão pode ocorrer por: déficit de oxigênio, e acúmulo de metabólitos de fadiga como o H^+ e o $H_2PO_4^-$ e depleção das reservas energéticas finitas, ou seja, o W' , que

corresponde à quantidade de trabalho que pode ser realizada acima da potência crítica (BURNLEY e JONES, 2007), ou a quantidade finita de trabalho que pode ser realizada quando o exercício é feito até a falha da tarefa dentro do domínio severo. Portanto “o tempo de exaustão” pode ser predito utilizando equações que levam em conta a extensão e a taxa de utilização de W' durante períodos gastos acima ou abaixo da potência crítica (BURNLEY e JONES, 2016), ou seja, a falha na tarefa em um exercício severo de carga constante ocorre quando o W' é esgotado. De maneira geral, a duração do exercício neste domínio fica entre ~ 2 min e 30 min.

Já no domínio extremo, o exercício dura menos do que 120 segundos, sendo as causas da falha na tarefa, semelhantes às do severo, também ocorrendo pela falha no sistema de acoplamento excitação–contração nos músculos utilizados, em outros termos, falha mecânica. Ou seja, tanto nos domínios a fadiga neuromuscular predominante é a de natureza periférica, porém o componente lento não é evidente no extremo (BURNLEY e JONES, 2007).

Em suma, a importância dos limiares, do $\dot{V}O_2\text{max}$ e de treinamentos para melhorá-los consiste em elevar a intensidade em que essas transições metabólicas são atingidas. Este deslocamento do limite superior dos domínios de intensidade, pode permitir que um indivíduo, como um atleta, se exercite ou realize uma prova de *endurance* sustentando cargas superiores. Por exemplo, o treinamento de corrida para atingir o limiar de lactato (o primeiro limiar) em uma velocidade maior, faz com que o desenvolvimento do componente lento somente ocorra em velocidades superiores, permitindo que o corredor percorra distâncias consideravelmente maiores em ritmos que antes seriam metabolicamente insustentáveis. De maneira semelhante, o aumento da sua velocidade crítica, amplia o domínio pesado, aumentando a zona em que é possível a manutenção da homeostase em cargas de trabalho superiores,

viabilizando a conclusão de uma mesma distância um tempo menor, o que evidencia uma melhora de performance.

3.2. Respostas cardiorrespiratórias e metabólicas ao exercício aeróbio em homens e mulheres

Homens e mulheres oxidam ou consomem proteínas, carboidratos (glicose sanguínea e glicogênio) e lipídeos (ácidos graxos livres e triacilglicerol) como substratos para serem convertidos em energia, sendo que o percentual de uso do carboidrato aumenta com a intensidade do exercício, sendo a maior parte da fonte de energia na maioria das intensidades no caso de indivíduos sedentários.

Como adaptações resultantes do treinamento, a taxa máxima de oxidação de carboidratos (CHO) como de ácidos graxos aumenta, os músculos esqueléticos também conseguem extrair mais ácidos graxos livres (FFA) e triacilglicerol, o corpo passa a utilizar mais ácidos graxos e acaba poupando um pouco mais de carboidrato para uma mesma velocidade absoluta máxima (SPRIET, 2007). Ou seja, um maior consumo relativo de gorduras pode ser útil na performance de uma corrida de longa duração, tendo em vista a pequena reserva de CHO disponível no corpo, e que uma velocidade superior pode ser atingida e mantida mantendo a taxa de oxidação de CHO que ele atingia antes do treinamento (SPRIET, 2007).

De acordo com uma revisão feita por Besson et al. (2022), levando em conta apenas os estudos que realizaram um controle em certos fatores (dieta; nível de treinamento; idade; fase do ciclo menstrual; uso de contraceptivos), é verificado que o organismo da mulher oxida mais lipídeos, e menos carboidratos e proteínas que os homens. Elas também apresentam uma menor taxa de trocas gasosas (RER), razão do CO_2 produzido pelo O_2 inspirado, durante exercícios prolongados e de baixa

intensidade. O que vai de acordo com o que é afirmado por Carter, Rennie e Tarnopolsky (2001), as mulheres apresentam menor RER em exercícios submáximos (FRIEDLANDER et al., 1998; HORTON et al., 1998), e têm menor depleção de glicogênio (ESBJÖRNSSON-LILJEDAHL et al., 1999; TARNOPOLSKY et al., 1990), o que pode ser benéfico para a performance em provas de *ultraendurance*.

Considerando que as mulheres possivelmente conseguem manter uma intensidade relativa maior (ao $\dot{V}O_2\text{max}$) em relação aos homens em exercícios de longa duração, vale pontuar os resultados encontrados em um estudo realizado por Venables, Achten e Jeukendrup (2005), no qual um número grande de participantes (157 homens e 143 mulheres) realizaram testes incrementais até a exaustão. Foi verificado que as mulheres apresentaram maior taxa de oxidação de gorduras que os homens, exercitando-se em uma porcentagem maior do $\dot{V}O_2\text{max}$ (ponto da máxima oxidação de gordura ocorreu em 45 vs. 52% $\dot{V}O_2\text{max}$ em homens e mulheres, respectivamente).

Um possível fator que contribui para o desempenho das mulheres em provas de longa duração ou de *ultra endurance* é essa tendência para oxidar mais gorduras (ácidos graxos) e não somente menos carboidratos (CHO) como também menos aminoácidos como substratos quando comparadas com os homens em um exercício de intensidade moderada, conforme verificado em dois testes de corrida (CARTER et al., 2001; TARNOPOLSKY et al., 1990) a 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ (90 minutos) e 65% $\dot{V}O_2\text{max}$ (15,5 km), respectivamente. Essa característica do organismo do sexo feminino pode proporcionar vários benefícios fisiológicos para exercícios de longa duração e pode gerar vantagens para provas prolongadas, pois permite a preservação de substratos endógenos importantes, especialmente o glicogênio, considerando que fadiga central

pode ser associada à sua depleção, que causa hipoglicemia e por consequência afeta o sistema nervoso (NYBO, 2003).

A preservação de proteínas, consequente da preservação de glicogênio e da ação do estrogênio na mulher (TARNOPOLSKY, 2000), é verificada na menor oxidação da leucina (TARNOPOLSKY et al., 1990, 2000), e na menor quebra de cadeias de aminoácidos, evidenciado pela ausência de um aumento nos níveis de “nitrogênio uréia” na excreção urinária durante o dia (aumento que seria decorrente da produção de amônia, agente de fadiga) e a menor ativação da desidrogenase de cetoácidos de cadeia ramificada (BCOAD) em mulheres durante exercícios moderados e pesados. Esta menor ativação inviabiliza que o organismo continue utilizando proteínas (leucina) resultantes da desaminação dos aminoácidos de cadeia ramificada (BCCA) para o ciclo de Krebs, sinalizando negativamente para o catabolismo muscular, ou seja, evitando degradação ou dano muscular (TARNOPOLSKY, 2000).

Em outro estudo, foi demonstrado que o salto da BCOAD durante o exercício é consequência da redução da disponibilidade de glicogênio e CHO para auxiliar no metabolismo de ácidos graxos e de CHO no ciclo de Krebs, sendo que com suplementação de carboidratos essa ativação da BCOAD quase não existiu (WAGENMAKERS et al., 1991). O glicogênio intramuscular (intramiofibrilar) é fundamental para a liberação de Ca^{2+} , no músculo (ØRTENBLAD et al., 2013), mesmo que haja gordura, se houver depleção de glicogênio a capacidade contrátil da fibra e a força é prejudicada. Como consequência da depleção de CHO e especialmente de glicogênio, pode ocorrer hipoglicemia, redução da eficiência mecânica e queda na produção de ATP, o que possivelmente influencia em estratégias de ritmo ou pode contribuir para uma redução no ritmo.

Também vale destacar que foi verificado que as mulheres apresentam maiores reservas intramusculares de gordura (IMTG) do que homens (ROEPSTORFF et al., 2006). Uma das razões das mulheres apresentarem maior taxa de lipólise que os homens, considerando o efeito lipolítico do hormônio do crescimento seria que as mulheres têm, em repouso, uma concentração sanguínea de hormônio do crescimento (GH) maior do que a dos homens, e uma resposta maior ao exercício com relação ao homem (FRANTZ e RABKIN, 1965; TARNOPOLSKY et al., 1990). Entretanto, no estudo de Tarnopolsky et al. (1990), as mulheres apresentaram maior hormônio de crescimento em repouso, mas o aumento da concentração do hormônio durante o exercício de corrida constante de 90 min foi maior nos homens. Então, não se pode atribuir a maior lipólise (uso de lipídios como substrato energético) nas mulheres à ação do hormônio de crescimento como um mediador primário dos ácidos graxos livres durante uma atividade física, porém sua interação com outros hormônios como influenciadora desta resposta característica não podem ser descartada (TARNOPOLSKY et al., 1990).

Uma das razões que possivelmente explica a maior dependência dos lipídeos como fonte de energia para as mulheres é a maior área relativa de fibras musculares do tipo I, característica do seu tecido muscular. Observando o mRNA dos membros inferiores de homens e mulheres, foi verificado que, das quatro cadeias de miosina pesada (MYH) que dominam a expressão genética nos músculos esqueléticos, elas apresentam 35% mais mRNA MYH do tipo I do que os homens (TILLER et al., 2021).

As fibras do tipo I são mais oxidativas, mais resistentes a fadiga, mais vascularizadas (maior densidade de capilares), tendo maior conteúdo mitocondrial/de mioglobina e sendo mais sensíveis à insulina quando comparadas com as fibras do tipo II (FISHER et al., 2017). Considerando a maior área relativa de fibras de tipo I nas

mulheres, é possível hipotetizar que elas possuem maior resistência a fadiga neuromuscular. Em adição a isto, estudos sugerem que as mulheres apresentam maior capilarização (BESSON et al., 2022; ROEPSTORFF et al., 2006) e menor atividade das enzimas glicolíticas (BESSON et al., 2022; KOMI e BOSCO, 1978). Relacionado a estas importantes características, foi reportado também que as mulheres apresentaram melhor resposta vasodilatadora ao exercício (BESSON et al., 2022), o que permite a manutenção da perfusão sanguínea, contribuindo para uma maior tolerância ao exercício (HUNTER e ENOKA, 2001).

A fase do ciclo menstrual pode ter impactos na utilização de substratos pelo organismo. Na fase folicular, há aumento na concentração de 17β -estradiol, e aumento do estrogênio e ausência de progesterona, o que favorece o aumento da absorção de glicose pelo músculo e a sua oxidação, bem como afeta negativamente a oxidação de lipídeos e de proteínas (APARECIDO et al., 2022; FRIENTES et al., 2023). Enquanto na fase lútea, há aumento de estrogênio e progesterona, o que afeta negativamente a oxidação de CHO, pode induzir o organismo a realizar maior oxidação de lipídeos e proteínas musculares (APARECIDO et al., 2022; FRIENTES et al., 2023). Ainda de acordo com Frientes et al. (2023) nesta fase há uma preferência de oxidação de alguns aminoácidos como lisina, alanina e glutamina. Na fase folicular, o quociente respiratório (RER) durante um exercício, pode ser maior quando comparado a fase lútea (DEVRIES et al., 2006). Ainda de acordo com o estudo de Devries et al. (2006) homens têm um RER maior que mulheres (tanto em fase folicular como lútea, porém com menos diferença na fase folicular) quando se exercitam em intensidade moderada, no caso do estudo, os participantes foram analisados em um exercício em um cicloergômetro em uma intensidade pré-determinada de $65\%\dot{V}O_{2max}$.

Em estudo realizado por Roepstorff et al. (2002), foi verificado que, em um experimento em que os homens e as mulheres foram submetidos à mesma dieta por 8 dias e elas estavam em fase folicular média do ciclo menstrual durante exercícios aeróbios de intensidade moderada, 58% $\dot{V}O_2$ max (intensidade que é próxima a de eventos de *ultraendurance*), as mulheres apresentaram maior oxidação de triglicerídeos (12,4 mmol/kg), enquanto nos homens a degradação deste foi desprezível. Já que os autores conseguiram medir uma oxidação de substrato equivalente a 99% do consumo de oxigênio da perna, enquanto nos homens, 28% da captação de oxigênio nas pernas deles não foi contabilizada em termos de substratos lipídicos oxidados medidos, ou seja, este 28% faltante seria, segundo os autores, provenientes de fontes lipídicas adicionais, presumivelmente lipoproteína de densidade muito baixa (TG) ou TG localizados entre as fibras musculares. Ou seja, com estes resultados, baseando-se no RER e no coeficiente respiratório da perna, o efeito do sexo no consumo de lipídios e de carboidratos como substrato energético se limita (de acordo com este estudo) a utilização de diferentes fontes de lipídeos, não tendo nenhuma diferença entre os sexos na contribuição dentre lipídeos e carboidratos no metabolismo oxidativo pela perna em um exercício aeróbio de mesma intensidade relativa.

Já em outro estudo de Carter et al. (2001), foi investigado o efeito do treinamento de resistência de 7 semanas no metabolismo energético de todo o corpo, verificando possíveis mudanças na ressíntese de glicose e glicerol em homens e mulheres, assim como o estudo abordado acima, durante um exercício aeróbio de intensidade moderada (60% $\dot{V}O_2$ max), de 90 minutos. Neste estudo, as mulheres também estavam na fase folicular média do ciclo menstrual durante os experimentos. O estudo verificou que mulheres oxidaram, proporcionalmente, mais gordura do que

os homens durante todos os testes de exercício, antes e depois do treinamento. A taxa de aparecimento e desaparecimento da glicose nas mulheres foi semelhante à dos homens, porém estas mesmas taxas, para o glicerol foram significativamente maiores nas mulheres, antes e depois do treinamento. Já a taxa de depuração metabólica de glicose foi significativamente inferior nas mulheres nos minutos 75 e 90 do exercício.

Em suma, pode-se dizer que, levando em consideração os diferentes níveis hormonais, o organismo da mulher normalmente tem preferência a oxidar mais gordura e menos CHO e aminoácidos como substrato energético quando comparadas aos homens, o que garante benefícios ao organismo para exercícios de resistência, conforme tratado acima, principalmente por possibilitar a maior preservação de glicogênio e CHO, que permite o funcionamento eficiente do metabolismo energético por mais tempo, e isso protege a musculatura de degeneração muscular e fadiga neuromuscular. O organismo feminino também possivelmente tem melhor preservação com relação a fadiga neuromuscular pela morfologia muscular diferente, a maior área relativa de fibras do tipo I, que também é, em conjunto com as propriedades angiogênicas do estrogênio (WIIK et al., 2005), responsável pela maior capilarização do músculo da mulher (HUNTER, 2014).

Como já mencionado anteriormente, os principais determinantes da performance de longa duração na corrida são o $\dot{V}O_2\text{max}$, a fração utilizada do $VO_2\text{max}$ ou o limiar de lactato (LL) e o custo de corrida (CONLEY e KRAHENBUHL, 1980; PATE e KRISKA, 1984; RABADÁN et al., 2011). Alguns estudos na literatura analisaram e compararam as respostas destes índices de aptidão aeróbia em homens e mulheres na corrida, e demonstraram valores de $\dot{V}O_2\text{max}$ e velocidade correspondente ao LL maiores nos homens (HELGERUD, 1994; MCLAUGHLIN et al.,

2010; STOA et al., 2020), como também um custo de corrida 10% melhor nas mulheres (HELGERUD et al., 2010; STOA et al., 2020). Da mesma forma, Maldonado-Martin et al. (2004) verificaram que o LL e o início do acúmulo de lactato no sangue (OBLA) correspondeu a um $\% \dot{V}O_2\text{max}$ maior nas mulheres do que nos homens, no LL ($86,3\% \dot{V}O_2\text{max}$ nas mulheres, e $81,7\% \dot{V}O_2\text{max}$ nos homens) e no OBLA ($91,1\% \dot{V}O_2\text{max}$ nas mulheres, e $86,4\% \dot{V}O_2\text{max}$ nos homens). No estudo de Rodríguez-Barbero et al. (2025), o “primeiro limiar ventilatório” foi atingido em aproximadamente em $\sim 72\%$ da velocidade aeróbica máxima (MAS) em ambos, (homens = $72,0\%$; mulheres = $71,4\%$). Já o segundo limiar ventilatório foi atingido em maior % da MAS nas mulheres do que nos homens ($93,9\% \text{MAS}$ e $91,4\% \text{MAS}$, respectivamente). Outros estudos demonstraram que a máxima fase estável de lactato sanguíneo é atingida em $\% \dot{V}O_2\text{max}$ semelhante entre homens e mulheres (ALMARWAEY et al., 2004, $85\% \dot{V}O_2\text{max}$; HAFEN e VEHRs, 2018, $83\% \dot{V}O_2\text{max}$). No de estudo de Hafen e Vehrs (2018), a concentração de lactato sanguíneo no limiar anaeróbio é menor nas mulheres (homens = $2,59 \text{ mM}$; mulheres = $1,79 \text{ mM}$), e elas apresentaram um RER menor ($0,84$ vs. $0,88$) nesta intensidade.

No estudo de Mendonca, Matos e Correia (2020), realizando testes incrementais, e testes de carga constante para comparar a economia de corrida entre os sexos, trabalhando com indivíduos com semelhante aptidão cardiorespiratória, os autores verificaram que as mulheres apresentaram uma melhor economia de corrida em intensidades predeterminadas e relativas ($8, 10, 12 \text{ km/h}$). De forma semelhante aos estudos citados anteriormente, apesar dos homens terem atingido um $\dot{V}O_2\text{max}$ maior, nos homens o LTR ($73,7\% \dot{V}O_2\text{max}$, $14,0 \text{ km/h}$) e o PCR ($87,5\% \dot{V}O_2\text{max}$, $16,2 \text{ km/h}$) foram atingidos em percentuais menores do que nas mulheres (LTR = $81,4\% \dot{V}O_2\text{max}$, $12,6 \text{ km/h}$; PCR = $90,8\% \dot{V}O_2\text{max}$, $13,3 \text{ km/h}$).

Com exceção do custo de corrida (ao menos em parte considerável da literatura), estes índices (limiares, $\dot{V}O_{2\max}$, $\dot{V}O_{2\max}$) são obtidos por meio de um teste progressivo realizado até a exaustão. Além do LT e do $\dot{V}O_{2\max}$, vários estudos analisaram a resposta de variáveis cardiorrespiratórias e encontraram respostas específicas em homens e mulheres.

Durante realização de exercício incremental, uma característica que possivelmente confere uma vantagem para as mulheres é a sua maior saturação de oxigênio em comparação com os homens. Alguns estudos demonstraram que as mulheres têm melhor saturação (ou menor desoxigenação) em todos os músculos durante um teste incremental no cicloergômetro, particularmente nas intensidades acima do segundo limiar de lactato, sugerindo que os homens dependem mais de extração de oxigênio durante atividades de alta intensidade (SENDRA-PÉREZ et al., 2023). Em outro estudo também realizado no cicloergômetro, esta diferença foi encontrada apenas nos músculos diretamente responsáveis pela ação de movimento (vasto lateral), porém não dos músculos intercostais, sendo a saturação nos homens superior nestes músculos (ESPINOSA et al., 2021). Ambos os estudos demonstram que homens têm maior trabalho periférico e por isso apresentam maior desoxigenação, o que pode ser uma vantagem para as mulheres durante exercícios de longa duração, embora a literatura seja inconclusiva com relação a este aspecto, já que há estudos que têm resultados semelhantes, com a maior manutenção da oxigenação nas mulheres, como o de Ramos-López et al. (2025) e de Lebron et al. (2025). No estudo de Lebron et al. (2025) foi realizado um teste de 60 contrações voluntárias máximas isométricas de preensão manual, e as mulheres apresentaram maior saturação de oxigênio durante a atividade (72,1 vs. 67,0%). No estudo de Ramos-López et al. (2025), também realizado no cicloergômetro, resultados notáveis foram encontrados. Tendo

sido medida a extração de oxigênio nos músculos respiratórios, no córtex pré-frontal (CPF) e vasto lateral em indivíduos treinados em *endurance*, foram observados padrões sexo-específicos claros durante o exercício incremental até a exaustão. Nos testes incrementais os homens apresentaram maior oferta de O_2 para o CPF do que as mulheres e maior desoxigenação periférica (nos músculos locomotores, ou seja, no vasto lateral), evidenciado pelo maior aumento de $\Delta[HHb]$, (desoxiemoglobina) e maior queda no índice de saturação do tecido ou TSI (*tissue saturation index*). Enquanto as mulheres apresentaram maior extração de oxigênio e menor oferta de oxigênio nos músculos respiratórios (intercostais) (mas não maior desoxigenação, ou seja, a queda do índice de saturação do tecido não foi maior do que a dos homens), com maior $\Delta[HHb]$ nesta região, mesmo tendo menor área de superfície corporal. Também foi verificado na literatura que o sistema respiratório das mulheres tem maior consumo de O_2 (devido a menor pulmões e menor complacência da parede respiratória), resultando em maior proporção do débito cardíaco sendo direcionada à respiração - ponto também citado por Espinosa et al. (2021) que é referenciado mais de uma vez no estudo de Ramos-López et al. (2025).

Entretanto, um outro estudo que, avaliando diferenças sexuais nas respostas fisiológicas em testes incrementais, obteve resultados divergentes com relação aos estudos anteriormente citados, mas chega a conclusões semelhantes e relevantes. Realizado com jovens não tão treinados em um cicloergômetro, o estudo de Murias et al. (2013) verificou que no cicloergômetro as mulheres apresentaram uma maior desoxigenação no vasto lateral durante a maior parte do teste incremental, contrastando com os estudos citados anteriormente, o que foi interpretado pelo autor como uma compensação pela menor capacidade sistêmica de oferta de O_2 das mulheres, evidenciando a menor capacidade hemodinâmica (menor débito cardíaco e

concentração de hemoglobina no sangue), porém mais próximo ao final do exercício, próxima a PCR, a diferença entre os sexos foi menor. Estes resultados contrastam com estudos citados nos quais foi verificado que as mulheres apresentaram melhor resposta vasodilatadora em exercício de extensão de perna (PARKER et al., 2007) e ciclismo de perna (KOCH et al., 2005). Apesar desses estudos, o autor afirma que o ciclismo, por envolver maior grupo muscular, impõe um desafio maior ao sistema cardiovascular, exigindo maior capacidade de redistribuição de fluxo sanguíneo sistêmico. Murias et al. (2013) concluem, portanto, que a resposta hemodinâmica das mulheres é menos eficiente do que dos homens durante exercícios incrementais com grandes grupos musculares.

Uma das explicações para a maior desoxigenação muscular nos homens é a morfologia muscular, pois os homens têm maior massa muscular e apresentam maior proporção de fibras do tipo II comparados as mulheres, e estas são mais glicolíticas e são recrutadas em intensidade maior, e promovem dependência da glicólise anaeróbia. Estas características fazem com que subprodutos como H^+ se acumulem, o que reduz a afinidade da hemoglobina pelo oxigênio, o que pode explicar a maior dessaturação nos homens, bem como o platô da desoxigenação após certa intensidade acima do PCR ou segundo limiar que ocorreu no estudo de Murias et al. (2013). Este e outros fatores citados por Ramos-Lopez, levam a conclusão de que a mulher possivelmente tem a oxigenação central como um limitador de performance mais predominante, enquanto no organismo masculino, o que leva a falha na tarefa ou a exaustão pode estar mais associado aos fatores periféricos citados (desoxigenação), associado aos músculos exercitados. O que possivelmente explica, em parte, os resultados do estudo de Besson et al. (2021), no qual, após uma prova

de ultramaratona, as mulheres apresentaram menor fadiga neuromuscular nos extensores de joelho, e menor fadiga periférica nos flexores plantares.

Considerando que os limiares são utilizados na prescrição de treinamento, normalmente como divisor de zonas de intensidade para o atleta se exercitar ou competir, isso se torna um ponto interessante que pode ajudar treinadores da área a manipular variáveis de intensidade em exercícios submáximos de corrida. É importante ressaltar que em alguns estudos as mulheres apresentaram maior frequência cardíaca que os homens para uma mesma intensidade relativa (RASCON et al., 2020; WHEATLEY et al., 2014), isso sendo uma forma de compensar algumas desvantagens fisiológicas, como o menor tamanho do coração e volume de sangue no corpo (RASCON et al., 2020), como também o menor débito cardíaco (WHEATLEY et al., 2014).

Em testes realizados por Rascon et al. (2020), os autores dividiram os testes em três intensidades relativas para cada voluntário, determinadas anteriormente através de um teste incremental em cicloergômetro, sendo tais intensidades as que provocaram as seguintes concentrações de lactato sanguíneo [La]: baixa (0-2 mM), moderada (2-4 mM) e alta (> 4 mM). Neste estudo, apenas na intensidade moderada não houve diferença estatisticamente significativa na FC absoluta entre os homens e as mulheres, porém considerando a %FCmax em cada intensidade, em todas as condições as mulheres apresentaram um percentual maior do que o dos homens. Elas também apresentaram uma maior fração do $\dot{V}O_2\text{max}$ na intensidade baixa (54,0% vs 45,6%), o que está de acordo com os resultados de Speechly et al. (1996) citado anteriormente, no qual foi feita uma ultramaratona, em que os atletas geralmente correm na intensidade baixa, próxima da descrita por Rascon et al. (2020), enquanto na moderada (mulheres = 71,9% $\dot{V}O_2\text{max}$, homens = 71,3% $\dot{V}O_2\text{max}$) e na alta

(mulheres = 93,3% $\dot{V}O_2$ max, homens = 89,6% $\dot{V}O_2$ max), o % do $\dot{V}O_2$ max foi semelhante entre os homens e as mulheres. Porém vale destacar que este estudo foi realizado em um cicloergômetro e os indivíduos neste estudo eram corredores recreativos e tinham um $\dot{V}O_2$ max de 35,2 e 28,3 ml/kg/min, em homens e mulheres respectivamente, ou seja, diferentes dos observados no estudo de Speechly et al. (1996), que eram de 48,3 ml/kg/min nas mulheres e 51,3 ml/kg/min nos homens.

Em contraste com estes resultados, um estudo realizado por Nuuttila et al. (2024), mostrou que a intensidade relativa da corrida (ao $\dot{V}O_2$ max) não foi diferente entre os sexos como também a frequência cardíaca não foi sendo a intensidade desta corrida pré-determinada, também pela [La] (sendo 90% da velocidade alcançada no primeiro limiar de lactato). Os autores sugeriram que esta ausência de diferença pode ter sido provavelmente em função da pequena amostra (16 homens e 15 mulheres) e da heterogeneidade dos participantes. Um ponto interessante deste estudo é que ele calcula as variáveis fisiológicas dos participantes exercitando-se no primeiro limiar de lactato nas condições pré e pós da corrida. A FC e a PSE são parâmetros alterados (a PSE apenas nos homens) mediante a fadiga induzida pelos 90 minutos de corrida, mas os parâmetros ventilatórios não foram alterados.

Assim, os efeitos das diferenças sexuais nos domínios de intensidade ainda não foram completamente esclarecidos, existindo controvérsias e limitações na literatura como as citadas acima, investigações em diferentes modos de exercício poderiam auxiliar a treinadores a melhorarem as suas prescrições de treinamento, tendo em vista a saúde e a performance do seu atleta.

3.3. Respostas fisiológicas na corrida em diferentes inclinações

Na corrida realizada em diferentes condições do trajeto (aclive, declive e plano), a predominância do tipo de contração realizada pode ser diferente, pois corridas realizadas em diferentes inclinações apresentam uma maior predominância de um dos tipos de contração nos músculos dos membros inferiores. *Downhill*, declive ou inclinação negativa (predominância de contração excêntrica), e *uphill*, aclive ou inclinação positiva (predominância de contração concêntrica) (LEMIRE et al., 2021; LINDSTEDT et al., 2001). Este fator pode ser relevante para a avaliação e o aprimoramento do treinamento de corrida, considerando que, particularmente as competições realizadas em trilhas, em especial, as realizadas em regiões montanhosas, apresentam uma inclinação que varia ao longo do percurso, podendo esta ser positiva, ou negativa, em diferentes trechos do trajeto.

Um importante aspecto do movimento de corrida que é muito influenciado pela mudança na predominância de um tipo de contração, é o ciclo alongamento-encurtamento, que ocorre nos membros inferiores: durante a fase de apoio da passada (*stance*), mais especificamente nos músculos do tríceps sural (sóleo e gêmeos) e no tendão de Aquiles, nesta fase eles sofrem um alongamento rápido (fase excêntrica), esse alongamento armazena energia elástica nas estruturas tendinosas e no componente elástico dos músculos, depois desta fase, ocorre o encurtamento (fase concêntrica), e parte energia elástica armazenada é transformada em energia cinética. Quanto maior o armazenamento e liberação da energia elástica, maior será a economia de corrida, ou seja, menor será o custo metabólico dela. O ciclo encurtamento-alongamento é exacerbado no declive devido a maior predominância de contração excêntrica enquanto sua contribuição para a corrida na subida é quase

inexistente ou muito baixa, sendo isto uma das razões para a melhor economia de corrida na descida, porém até certa inclinação (MINETTI et al., 2002). Diferenças na economia de corrida para uma mesma velocidade absoluta em diferentes inclinações (MINETTI et al., 2002), fazem com que os limiares sejam atingidos em velocidades diferentes dependendo da inclinação (porque a mesma intensidade é atingida em diferentes velocidades, mas são necessários estudos para verificar se as intensidades dos limiares continuam a mesma dependendo da inclinação e da predominância de contração).

O que se soma ao fato de que as contrações excêntricas podem apresentar uma menor demanda energética do que as concêntricas e isométricas (HERZOG, 2018; PEÑAILILLO et al., 2017; TOURON et al., 2021). De fato, ao se analisar a corrida em uma mesma velocidade absoluta, o custo metabólico da descida é menor do que na subida (LEMIRE et al., 2018). Ao se analisar parâmetros máximos de intensidade, observou-se que o $\dot{V}O_2\text{max}$ é menor na descida (-3°), (58 ml/kg/min), do que no plano (0°), (68 ml/kg/min), apesar de atingir uma velocidade maior no declive (24,6 km/h e 23 km/h, respectivamente) (LIEFELDT et al., 1992).

Em um recente estudo, Lemire et al. (2020) compararam as respostas de variáveis fisiológicas e cinemáticas em atletas treinados em corrida, utilizando 15% de auge ou declive, e a corrida no plano. Considerando a velocidade máxima, na descida (22,7 km/h), os atletas atingiram uma velocidade significativamente maior do que no plano (18,7 km/h), com valores de $\dot{V}O_2\text{max}$ (56,6 e 68 ml/kg/min, respectivamente), lactato 1 min após o teste (4,3 e 10,7 mmol), taxa respiratória (RER), (0,98 e 1,07) e ventilação pulmonar (113,6 e 135,7 L/min), respectivamente, menores do que a corrida no plano. Já na corrida na subida, a velocidade (9,3 km/h) foi menor do que no plano, enquanto o $\dot{V}O_2\text{max}$ (69,6 ml/kg/min), o lactato 1 min após o teste (9,4 mmol),

o RER (1,05) e a ventilação pulmonar (138,2 l/min) foram similares ao plano. Somente a FCmax foi similar entre as três condições.

Já com relação às variáveis cinemáticas, na descida o comprimento da passada foi maior do que no plano, com frequência de passada e tempo de contato similares. Porém, na corrida na subida o comprimento e a frequência de passada foram menores, e o tempo de contato foi maior quando comparados com o plano (LEMIRE et al., 2020).

Em outro estudo conduzido por Lemire et al. (2024), foram realizadas comparações entre as diversas medidas (PSE global, PSE respiratório, PSE muscular, tempo de tolerância, FC, $\dot{V}O_2\text{max}$, dor muscular tardia, fadiga neuromuscular, oxigenação muscular do vasto lateral durante o exercício, dentre outras) obtidas em testes incrementais em diferentes inclinações (15%, 7,5%, 0%, -7,5%, -15%) realizados com homens corredores, foram realizadas antes e depois deste teste, avaliações de força isométrica dos extensores de joelho em um dinamômetro, de modo a verificar fadiga neuromuscular decorrente do teste. Neste estudo, foi analisado se o $\dot{V}O_2\text{max}$ era atingido nas diferentes condições de inclinações e se as respostas eram dependentes da saturação de oxigênio do corpo e/ou em parâmetros biomecânicos. A duração dos testes foi de: 19 min (-15%), 19 min e 36 s (-7,5%), 18 min e 42 s (0%), 18 min e 42 s (7,5%) e 19 min e 6 s (+15%), sendo os testes projetados para o corredor ter tempos de exaustão semelhantes dentre as condições, tendo características específicas em cada protocolo (velocidade inicial e incremento de velocidade a cada 2 minutos), embora as velocidades atingidas na exaustão terem sido diferentes, o $\dot{V}O_2\text{max}$ atingido em 0% de inclinação foi atingido nas demais inclinações, porém houve limitação no $\dot{V}O_2\text{max}$ atingido em -15%, que apresentou um valor menor, bem como menor desoxigenação do vasto lateral. A FCmax foi atingida

em todas as condições de corrida. A percepção subjetiva de esforço (PSE) global foi semelhante na exaustão entre as condições; porém a PSE muscular foi maior e a PSE respiratória menor apenas na condição de -15%. Não houve perda de torque dos extensores de joelho na avaliação após a corrida no plano e a inclinação, porém houve nos declives de -7,5% e -15%. A dor muscular tardia ocorreu 24 horas após o exercício apenas após os testes em declive, para os músculos extensores do quadril, extensores do joelho.

Alguns estudos que analisaram a corrida na descida verificaram que os corredores ajustam os parâmetros espaço-temporais de forma a reduzir o custo de oxigênio, em inclinações maiores do que 10% (SNYDER e FARLEY, 2011; VINCENT et al., 2019). Segundo Lemire et al. (2024), as ações musculares excêntricas podem induzir a forças de frenagem que podem induzir a menores valores de $\dot{V}O_2$ nesta condição. Um parâmetro que foi analisado no estudo de Lemire et al. (2024) foi a restrição na desoxigenação muscular, que pode também explicar o menor valor de $\dot{V}O_{2max}$ na descida. Neste estudo, os autores analisaram as respostas de parâmetros cardiorrespiratórios e desoxigenação muscular nas condições de plano, subida (7,5% e 15%) e descida (-7,5% e -15%). A FC_{max} foi atingida em todas as condições experimentais. De maneira geral as velocidades foram maiores na descida e menores na subida, quando comparadas ao plano. No entanto, o consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) e a concentração de lactato 1 min após o teste na descida a -15% foram menores do que nas demais condições. Portanto, de acordo com o estudo é possível atingir o $\dot{V}O_{2max}$ na descida em uma inclinação moderada. Com relação às variáveis cinemáticas, houve um menor tempo de contato com o solo na descida e maior amplitude de passada na descida, comparado com o plano e a subida. Com relação à oxigenação muscular, os autores verificaram que na intensidade máxima do teste

na descida a -15%, o valor foi maior do que nas demais condições. Os autores observaram também que o trabalho mecânico negativo aumenta com o aumento da inclinação na descida, e sugeriram que este fator pode auxiliar a explicar o menor $\dot{V}O_2\text{max}$ atingido na descida a -15%. Ou seja, em exercícios de corpo todo com diferentes predominâncias de contração (concêntrica e excêntrica), geram nível semelhante de esforço global, e de carga metabólica, porém o trabalho mecânico negativo é maior em movimentos com grande predominância de contrações excêntricas (-15%), e a PSE de respiração e a desoxigenação dos músculos mais utilizados são menores, o $\dot{V}O_2\text{max}$ não é atingido neste exercício e o início tardio de dor muscular nos músculos utilizados persiste até três dias após o exercício, em exercícios com predominância de contrações excêntricas (-7,5% e -15%) a fadiga neuromuscular já ocorre mesmo após uma curta duração de exercício, o que enfatiza que a carga é mais mecânica do que metabólica em exercícios com predominância de contrações excêntricas. Embora tenha que ser considerado que no caso da corrida em declive acentuado (-15%) as velocidades atingidas foram maiores.

Desta forma, as hipóteses deste estudo são: 1) As mulheres apresentarão os dois limiares ventilatórios, LTR e PCR em intensidades relativas maiores no teste incremental do que os homens, nas condições de aclone, declive e nível, e; 2) As mulheres apresentarão uma taxa de percepção de esforço semelhante à dos homens durante os testes em nível, aclone e declive.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Participantes

Participaram do estudo 25 voluntários, 14 homens e 10 mulheres, com idades entre 20 e 45 anos, ativos com prática regular de corrida há ao menos um ano, e que participavam de competições de corrida, nas distâncias de 5 km, 10 km ou 21 km. Foram selecionados indivíduos considerados saudáveis, não fumantes e que não faziam uso regular de qualquer tipo de medicamento. As principais características do treinamento de corrida dos participantes eram: de 3 a 5 sessões e com um volume de treino totalizando de 30 a 60 km por semana. Os participantes foram orientados a não realizarem exercício extenuante no dia anterior aos testes. Todos os participantes foram informados sobre os procedimentos do experimento e suas implicações, e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido para participar do estudo. O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição.

4.2. Delineamento experimental

Durante a primeira visita ao laboratório foram realizados os procedimentos de avaliação antropométrica e a adaptação aos equipamentos a serem utilizados no estudo. A primeira visita ao local de coleta foi para a realização de um teste para a determinação da força máxima dos músculos flexores e extensores do joelho, e a familiarização com a esteira ergométrica, sendo realizada a corrida em diferentes velocidades e inclinações. Os participantes também receberam instruções sobre o uso da escala de Borg, utilizada para a determinação da PSE durante a corrida (BORG, 1982). Na segunda visita, foi realizado um teste progressivo na esteira ergométrica no plano, para a determinação do LTR e PCR, do $\dot{V}O_{2pico}$ e da intensidade correspondente ao $\dot{V}O_{2pico}$ ($v\dot{V}O_{2pico}$), bem como o tlim. Na terceira e na quarta

visitas, foi realizado o mesmo teste incremental, porém a esteira estava em uma inclinação de 7,5% e -7,5%, respectivamente, para determinação do LTR e PCR, do $\dot{V}O_{2pico}$ e da $v\dot{V}O_{2pico}$, e do tlim.

4.3. Avaliação antropométrica

A estatura (cm) e a massa corporal (kg) foram mensuradas em uma balança, em seguida foram realizadas a avaliação da espessura das dobras cutâneas (peito, axila, tríceps, subescapular, abdominal, suprailíaca e coxa) e do percentual de gordura corporal para homens e mulheres (JACKSON e POLLOCK, 1978).

4.4. Teste progressivo

Para determinar o LTR, o PCR e o $\dot{V}O_{2pico}$, foi realizado um teste progressivo em uma esteira ergométrica (Pulsar, HP Cosmos, Nussdorf Traunstein, Alemanha) com inclinação de 0% na condição em nível, 7,5% em alicive, -7,5% em declive. A velocidade inicial dos testes foi de 6,5 km/h para as mulheres e 7,5 km/h para os homens no nível, 3,5 km/h e 4,5 km/h no alicive, e 6,5 km/h e 7,5 km/h no declive, respectivamente. Os valores de velocidade inicial nos testes nos homens foram baseados nos protocolos de Lemire et al. (2024). Na primeira etapa do teste a velocidade foi mantida constante por 5 minutos, e finalizada esta etapa, iniciou-se imediatamente a segunda etapa. Na segunda etapa os estágios tiveram duração de 1 min, com incremento de 1 km/h, progressivamente, ao longo de um minuto, na forma de rampa. Ao final de cada estágio os voluntários indicaram a PSE, de acordo com a escala de Borg. A frequência cardíaca (FC) foi registrada com um frequencímetro (Pacer, Polar Electro, Kempele, Finlândia). Os dados para a determinação dos índices fisiológicos foram obtidos respiração a respiração, por um ergoespirômetro (Quark

CPET da Cosmed, Roma, Itália). Antes do primeiro teste de um dia, o ergoespirômetro foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante. Foi verificado que o participante atingiu a exaustão quando ele atingiu pelo menos um dos três critérios: frequência cardíaca máxima prevista para a idade; escala de PSE igual ou maior que 19, e; RER com valor de 1,1.

4.5. Determinação dos limiares ventilatórios

O LTR e o PCR foram determinados de acordo com BEAVER, WASSERMAN e WHIPP (1986). O $\dot{V}O_{2\max}$ foi considerado como o maior valor observado em um intervalo de 15 s (ROSSITER et al., 2006) nos valores de $\dot{V}O_2$, e a velocidade associada a ele foi considerada a $v\dot{V}O_{2\text{pico}}$. Utilizando os dados extraídos do *software* da Cosmed (Omnia), em tempo médio de 10 segundos, o LTR foi identificado utilizando: o método *V slope* (plot VCO_2 no eixo y e o VO_2 no eixo x); plotando o RER e o tempo, bem como o $PetO_2$ e principalmente o VE/VO_2 , verificando a perda de linearidade de Ve/VO_2 e também de $PetO_2$ como método secundário. De maneira semelhante, o PCR foi identificado plotando a VE (eixo y) e o VCO_2 (eixo x), o VE/VCO_2 contra o tempo, bem como o $PetCO_2$, verificando a perda de linearidade de VE/VCO_2 e de $PetCO_2$ como método secundário. O gráfico de VE (eixo y) e tempo (eixo x) também foi utilizado, para verificar uma segunda inflexão na curva, bem como o gráfico RER x tempo para verificar uma segunda inflexão na curva. Foram registradas as seguintes variáveis referentes aos limiares: velocidade, VO_2 , $VO_2(\text{ml/kg/min})$, % $VO_{2\max}$, FC, % $FC_{\max}$, RER e PSE.

4.6. Teste de força máxima

O pico de torque isométrico (PTI) dos músculos extensores do joelho foi determinado por meio de um teste de contrações isométricas máximas (CVM) do membro dominante. Os participantes foram posicionados sentados em um dinamômetro (Biodex System 3, Biodex Medical Systems, Shirley, NY, EUA) e devidamente estabilizados com dois cintos cruzados a 30°, colocados a partir dos ombros e fixados na cintura do lado oposto da cadeira, para que não houvesse nenhum movimento de tronco durante o experimento. A perna foi posicionada em um ângulo de 75° no equipamento. Os participantes realizaram três contrações isométricas máximas de 5 s cada, com 2 minutos de descanso entre elas. A instrução para os voluntários foi para iniciar a contração o mais rápido possível, mantendo o esforço máximo durante todo o tempo de contração. Os participantes também foram verbalmente estimulados pelos investigadores durante as contrações, para fazerem o seu máximo esforço. O PTI foi considerado o maior valor obtido nas contrações. Os dados foram coletados através de um eletromiógrafo (Miotool, Miotec, Porto Alegre, Brasil), utilizando o programa Miotecsuite 1.0, todos da Miotec.

4.7. Análise estatística

O tamanho amostral foi calculado utilizando o software Gpower 3.1, com a diferença na média de 5% (tamanho do efeito) e desvio-padrão igual a 5% da variável de desfecho ($VO_{2máx}$), ajustando-se o poder do teste estatístico para 0,8 e o erro alfa para 0,05. Os dados obtidos foram expressos em média $\pm$ DP. A existência de normalidade dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk. A esfericidade dos dados foi verificada com o teste de Mauchly e uma correção de Greenhouse-Geisser aos graus de liberdade foi aplicada quando a esfericidade fosse violada. A comparação das variáveis do estudo foi realizada por meio do teste Anova Two-way,

com post-hoc de Bonferroni. A comparação das variáveis antropométricas e do PTI entre os homens e as mulheres foi realizada por meio do teste *t* Student para dados não pareados. A correlação entre as variáveis do estudo foi realizada por meio do teste de correlação de Pearson. A correlação foi classificada com base no valor de *r*, como moderada - $r = 0,30-0,49$, alta - $r = 0,50-0,69$, muito alta - $r = 0,70-0,89$, quase perfeita - $r = 0,90-0,99$, e perfeita - $r = 1,00$, de acordo com Hopkins et al. (2009). Foi adotado o nível de significância de $p \leq 0,05$.

5. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os valores médios $\pm$ DP da idade, massa corporal, estatura, índice de massa corporal (IMC) e percentual de gordura das mulheres e dos homens. As mulheres apresentaram valores significativamente menores de massa corporal, estatura e IMC, e maior percentual de gordura do que os homens ($p < 0,05$).

Tabela 1. Dados antropométricos.

	Homens (N = 14)	Mulheres (N = 10)
Idade (anos)	34 ± 8	34 ± 8
Massa corporal (kg)	$80,4 \pm 9,89$	$58,7 \pm 5,78^*$
Estatura (cm)	$177,4 \pm 6,59$	$163,0 \pm 6,24^*$
IMC	$25,5 \pm 2,03$	$22,1 \pm 2,12^*$
Percentual de gordura (%)	$17,3 \pm 5,22$	$22,5 \pm 5,32^*$

IMC - índice de massa corporal. * $p < 0,05$ em relação aos homens.

A Tabela 2 apresenta os valores médios $\pm$ DP do pico de torque isométrico (PTI), concêntrico (PTC) e excêntrico (PTE) dos músculos extensores do joelho e flexores do joelho, dos homens e das mulheres. Os homens apresentaram valores significativamente maiores do que os homens de todas as variáveis analisadas ($p < 0,05$).

Tabela 2. Valores médios $\pm$ DP do pico de torque isométrico (PTI), concêntrico (PTC) e excêntrico (PTE) dos músculos extensores do joelho e flexores do joelho, dos homens e das mulheres.

	Homens (N = 9)	Mulheres (N = 9)
Extensores do joelho		
PTI (N·m)	313,5 $\pm$ 47,2	180,6 $\pm$ 60,9*
PTC (N·m)	258,9 $\pm$ 46,0	138,1 $\pm$ 49,3*
PTE (N·m)	301,0 $\pm$ 42,5	185,1 $\pm$ 77,5*
Flexores do joelho		
PTI (N·m)	125,8 $\pm$ 22,7	73,3 $\pm$ 19,3*
PTC (N·m)	149,1 $\pm$ 26,2	77,0 $\pm$ 24,1*
PTE (N·m)	172,5 $\pm$ 29,4	102,8 $\pm$ 33,5*

PTI - pico de torque isométrico; PTC - pico de torque concêntrico; PTE - pico de torque excêntrico. * $p < 0,05$ em relação aos homens.

A Tabela 3 apresenta os valores médios $\pm$ DP das variáveis máximas obtidas durante os testes no plano, alicive e declive. Houve interação significativa entre os fatores grupo e inclinação para o $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ ($F = 3,401$, $p = 0,042$), o que significa que o comportamento do $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ foi diferente entre os homens e as mulheres frente às mudanças de inclinação, com os homens apresentando maior redução na descida do que as mulheres. O $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ foi maior nos homens do que nas mulheres no plano ($p = 0,042$) e no alicive ($p = 0,026$), sem diferença no declive ($p = 0,142$), o que sugere que o declive reduziu parcialmente as diferenças fisiológicas relativas entre homens e mulheres. Nas mulheres, o $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ apresentou valores significativamente menores no declive do que no plano ($p < 0,001$) e no alicive ($p = 0,001$), sem diferença entre o plano e o alicive ($p = 1,000$). Da mesma forma, nos homens, o $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ apresentou

valores significativamente menores no declive do que no plano ($p < 0,001$) e no aclave ($p < 0,001$), sem diferença entre o plano e o aclave ($p = 0,656$).

Da mesma forma, houve interação significativa entre os fatores grupo e inclinação para a FC_{pico} ($F = 3,329$, $p = 0,045$), o que significa que o comportamento destas variáveis foi diferente entre os homens e as mulheres frente às mudanças de inclinação, com os homens apresentando maior redução na descida do que as mulheres. A análise da FC_{pico} demonstrou efeito significativo da inclinação, enquanto não foram observados efeitos significantes do sexo. Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 12,617$, $p < 0,001$), indicando que a FC absoluta variou entre plano, subida e descida. As comparações post hoc mostraram que a FC absoluta foi significativamente maior no plano em comparação ao aclave ($p = 0,026$) e o declive ($p = 0,001$). Além disso, o aclave apresentou valores significativamente maiores que o declive ($p = 0,023$). Não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 1,002$, $p = 0,328$), indicando valores semelhantes entre homens e mulheres (Tabela 3).

A análise da $\dot{V}O_{2pico}$ demonstrou efeito significativo da inclinação, do sexo, sem interação entre sexo e inclinação ($F = 0,621$, $p = 0,542$). Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 158,915$, $p < 0,001$), indicando que a velocidade absoluta variou entre plano, subida e descida. Nas comparações post hoc, a velocidade absoluta foi significativamente maior no declive em comparação ao plano ($p = 0,002$) e à subida ($p < 0,001$). Além disso, o plano apresentou valores significativamente superiores à subida ($p < 0,001$). Para o fator sexo, observou-se efeito principal significativo ($F = 9,683$, $p = 0,005$), demonstrando

maiores valores de velocidade absoluta no grupo masculino em comparação ao feminino (Tabela 3).

A análise do R demonstrou efeito significativo da inclinação, enquanto não foram observados efeitos significantes do sexo ou da interação entre sexo e inclinação ($F = 0,234$, $p = 0,792$). Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 10,547$, $p < 0,001$), indicando que o R variou entre plano, aclone e declive. As comparações post hoc revelaram que o R foi significativamente maior no aclone em comparação ao plano ($p = 0,026$) e ao declive ($p = 0,002$). Não houve diferença significativa entre plano e declive ($p = 0,065$). Não foi observado efeito principal significativo para o sexo ($F = 0,005$, $p = 0,946$), indicando respostas semelhantes entre homens e mulheres (Tabela 3).

Não foi observada interação significativa entre sexo e inclinação para a PSE ($F = 0,265$, $p = 0,769$). A análise da PSE demonstrou que não houve efeito significativo da inclinação, do sexo ou da interação entre sexo e inclinação. Para o fator inclinação, não foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 2,147$, $p = 0,129$), indicando que os valores de PSE foram semelhantes entre plano, subida e descida. As comparações post hoc confirmaram a ausência de diferenças significantes entre as inclinações. Não houve diferença entre plano e aclone ($p = 0,401$), plano e declive ($p = 1,000$) ou aclone e declive ($p = 0,272$). Não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 0,056$, $p = 0,815$), demonstrando respostas semelhantes entre homens e mulheres (Tabela 3).

Tabela 3. Variáveis máximas da corrida realizada no plano, active e declive.

	Homens (N = 14)	Mulheres (N = 10)
Plano		
$\dot{V}O_{2pico}$ (ml/kg/min)•	53,1 ± 8,65	46,4 ± 6,22†
$v\dot{V}O_{2pico}$ (km/h)	17,1 ± 1,67	14,8 ± 1,63†
FCpico (bpm)•	179 ± 13	183 ± 9
R	1,11 ± 0,04	1,12 ± 0,07
PSE	19 ± 1	19 ± 1
Active		
$\dot{V}O_{2pico}$ (ml/kg/min)•	54,4 ± 9,72	46,3 ± 6,65†
$v\dot{V}O_{2pico}$ (km/h)	12,7 ± 1,38*	10,7 ± 1,34†*
FCpico (bpm)•	178 ± 12	180 ± 9
R	1,15 ± 0,04	1,14 ± 0,07
PSE	19 ± 1	19 ± 1
Declive		
$\dot{V}O_{2pico}$ (ml/kg/min)•	46,0 ± 7,35*‡	41,6 ± 6,71†*‡
$v\dot{V}O_{2pico}$ (km/h)	18,9 ± 2,43*‡	16,2 ± 3,29†*‡
FCpico (bpm)•	171 ± 14*‡	180 ± 12*
R	1,08 ± 0,07*‡	1,08 ± 0,13*‡
PSE	18 ± 2	19 ± 2

$\dot{V}O_{2pico}$ - consumo de oxigênio pico; $v\dot{V}O_{2pico}$ - velocidade no $\dot{V}O_{2pico}$; FCpico - frequência cardíaca pico; R - quociente respiratório; PSE - percepção subjetiva de esforço. • interação grupo x inclinação. † - p < 0,05 em relação aos homens. * p < 0,05 em relação ao plano; ‡ p < 0,05 em relação ao active.

A Tabela 4 apresenta os valores médios $\pm$ DP das variáveis correspondentes ao LTR obtidas durante os testes no plano, aplane e declive. Não houve interação significativa entre sexo e inclinação para a vLTR ($F = 2,484$, $p = 0,095$), sugerindo que o padrão de mudança nas diferentes inclinações foi similar entre os homens e as mulheres. Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 167,928$, $p < 0,001$). A vLTR no declive foi significativamente maior do que no plano ($p = 0,001$) e no aplane ($p = 0,000$). Da mesma forma, a vLTR no plano foi significativamente maior do que no aplane ($p = 0,000$). Para o fator sexo, foi observado efeito principal significativo ($F = 19,211$, $p < 0,001$), indicando maiores valores de velocidade absoluta nos homens do que nas mulheres, nas três condições analisadas.

Para a %vLTR também não foi observada interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 0,702$, $p = 0,501$), sugerindo um comportamento similar entre os homens e as mulheres nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 8,567$, $p = 0,001$), sendo menor no aplane do que no plano ($p = 0,035$) e no declive ($p = 0,005$), e similar entre o plano e a descida ($p = 0,379$). Para o fator sexo, não foi observado efeito principal significativo para velocidade relativa ($F = 0,783$, $p = 0,386$), indicando valores similares entre os homens e as mulheres (Tabela 4).

Para o $\dot{V}O_2$, não foi observada interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 1,183$; $p = 0,316$), indicando comportamento semelhante desta variável entre os homens e as mulheres nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 15,675$, $p < 0,001$), sendo similar entre plano e aplane ($p = 1,000$), e menor no declive quando comparado ao plano ($p = 0,000$) e ao aplane ($p = 0,001$). Não foi observado efeito principal significativo

para o fator sexo ($F = 3,677$, $p = 0,068$), indicando comportamento similar entre os homens e as mulheres nas diferentes inclinações analisadas (Tabela 4).

Ao se analisar o LTR expresso como $\% \dot{V}O_{2\text{pico}}$, não foi observada interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 0,425$, $p = 0,656$) indicando comportamento similar entre os homens e mulheres nas inclinações analisadas. Da mesma forma, não foi observado efeito significativo da inclinação ($F = 0,389$, $p = 0,680$) e do sexo ($F = 2,438$, $p = 0,133$), demonstrando respostas semelhantes entre as inclinações e os sexos (Tabela 4).

Para a FC correspondente ao LTR, a análise demonstrou que não houve interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 0,123$, $p = 0,884$). Houve efeito significativo do fator inclinação ($F = 4,325$, $p = 0,019$), sendo a FC menor no aclone do que no plano ($p = 0,046$), e similar entre plano e declive ($p = 0,083$) e aclone e declive ($p = 1,000$). Não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 1,156$, $p = 0,294$), demonstrando respostas semelhantes entre os homens e as mulheres nas condições analisadas (Tabela 4).

Para o LTR expresso como $\%FC_{\text{pico}}$, a análise demonstrou que não houve efeito significativo da interação entre sexo e inclinação ($F = 0,237$, $p = 0,790$), indicando comportamento semelhante da FC relativa entre os sexos nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, não foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 1,819$, $p = 0,174$), indicando ausência de variação consistente entre as diferentes inclinações. Também não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 0,015$, $p = 0,905$), demonstrando respostas similares entre os homens e as mulheres (Tabela 4).

Da mesma forma que o %FCpico, não houve efeito significativo da interação entre sexo e inclinação ($F = 0,537$, $p = 0,588$), indicando comportamento semelhante do R entre os sexos nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, não foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 3,125$, $p = 0,054$), indicando ausência de variação consistente entre as diferentes inclinações. Da mesma forma, não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 0,342$, $p = 0,565$), demonstrando respostas similares entre os homens e as mulheres (Tabela 4).

A análise da PSE correspondente ao LTR demonstrou que não houve interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 0,393$, $p = 0,678$), indicando comportamento semelhante da PSE entre os sexos nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, não foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 2,672$, $p = 0,080$), indicando que os valores de PSE foram semelhantes entre plano, acline e declive. Também não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 1,632$, $p = 0,215$), demonstrando respostas semelhantes entre os homens e as mulheres nas condições analisadas (Tabela 4).

Tabela 4. Variáveis correspondentes ao limiar de trocas ventilatórias (LTR) no plano, active e declive.

	Homens (N = 14)	Mulheres (N = 10)
Plano		
vLTR (km/h)	12,1 ± 1,16	10,0 ± 0,91†
%v $\dot{V}O_2$ pico	70,7 ± 3,85	69,0 ± 4,01
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	37,4 ± 3,98	34,8 ± 4,21
% $\dot{V}O_2$ pico	70,5 ± 5,58	75,7 ± 5,11
FC (bpm)	150 ± 16	155 ± 8
%FCpico	83,9 ± 5,39	83,9 ± 2,52
R	0,92 ± 0,06	0,91 ± 0,08
PSE	12 ± 1	12 ± 2
Active		
vLTR (km/h)	8,30 ± 1,16*	6,94 ± 0,87†*
%v $\dot{V}O_2$ pico	65,4 ± 6,87*	66,1 ± 6,27*
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	37,8 ± 4,92	33,6 ± 4,82
% $\dot{V}O_2$ pico	70,5 ± 8,65	73,4 ± 5,95
FC (bpm)	145 ± 17*	149 ± 10*
%FCpico	81,4 ± 5,72	82,4 ± 3,23
R	0,95 ± 0,04	0,94 ± 0,06
PSE	12 ± 1	12 ± 2
Declive		
vLTR (km/h)	13,8 ± 1,20*‡	11,2 ± 2,39†*‡
%v $\dot{V}O_2$ pico	73,4 ± 6,06‡	70,5 ± 4,91‡
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	32,5 ± 2,05*‡	31,0 ± 5,26*‡
% $\dot{V}O_2$ pico	72,0 ± 9,30	74,5 ± 4,98
FC (bpm)	143 ± 12	149 ± 13
%FCpico	83,5 ± 4,86	83,0 ± 3,48
R	0,93 ± 0,05	0,90 ± 0,01
PSE	13 ± 2	12 ± 2

vLTR - velocidade no limiar de trocas respiratórias; %v $\dot{V}O_2$ pico - percentual da velocidade pico; $\dot{V}O_2$ - consumo de oxigênio; % $\dot{V}O_2$ pico - percentual do consumo de oxigênio pico; FC - frequência cardíaca; %FCpico - percentual da frequência cardíaca

pico; R - quociente respiratório; PSE - percepção subjetiva de esforço. † - $p < 0,05$ em relação aos homens; * $p < 0,05$ em relação ao plano; ‡ $p < 0,05$ em relação ao aclone.

A Tabela 5 apresenta os valores médios $\pm$ DP das variáveis correspondentes ao PCR obtidas durante os testes no plano, aclone e declive. Não houve interação significativa entre sexo e inclinação para a vPCR ($F = 1,772$, $p = 0,182$), sugerindo que o padrão de mudança nas diferentes inclinações foi similar entre os homens e as mulheres. Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 206,737$, $p < 0,001$). A vPCR no declive foi significativamente maior do que no plano ($p = 0,001$) e no aclone ($p = 0,000$). Da mesma forma, a vPCR no plano foi significativamente maior do que no aclone ($p = 0,000$). Para o fator sexo, foi observado efeito principal significativo ($F = 16,253$, $p = 0,001$), indicando maiores valores de velocidade absoluta nos homens do que nas mulheres, nas três condições analisadas.

Para a %vPCR também não foi observada interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 0,284$, $p = 0,754$), sugerindo um comportamento similar entre os homens e as mulheres nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 4,271$, $p = 0,020$), sendo similar entre o plano e aclone ($p = 0,191$), plano e declive ($p = 0,778$) e declive e aclone ($p = 0,072$). Para o fator sexo, não foi observado efeito principal significativo para velocidade relativa ($F = 0,107$, $p = 0,747$), indicando valores similares entre os homens e as mulheres (Tabela 5).

Para o $\dot{V}O_2$, não foi observada interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 0,782$; $p = 0,464$), indicando comportamento semelhante desta variável entre os homens e as mulheres nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 41,746$, $p < 0,001$), sendo

este menor no declive do que no plano ($p = 0,000$) e no aclave ($p = 0,000$), e similar entre plano e aclave ($p = 0,343$). Não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 3,332$, $p = 0,082$), indicando comportamento similar entre os homens e as mulheres nas diferentes inclinações analisadas (Tabela 5).

Ao se analisar o PCR expresso como $\% \dot{V}O_{2pico}$, não foi observada interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 0,716$, $p = 0,495$) indicando comportamento similar entre os homens e mulheres nas inclinações analisadas. Da mesma forma, não foi observado efeito significativo da inclinação ($F = 0,875$, $p = 0,424$) e do sexo ($F = 2,819$, $p = 0,107$), demonstrando respostas semelhantes entre as inclinações e os sexos (Tabela 5).

Para a FC correspondente ao PCR, a análise demonstrou que não houve interação significativa entre sexo e inclinação ($F = 0,065$, $p = 0,937$). Houve efeito significativo do fator inclinação ($F = 10,854$, $p = 0,000$), sendo a FC maior no plano do que no aclave ($p = 0,019$) e no declive ($p = 0,002$), e similar entre o aclave e o declive ($p = 0,099$). Não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 2,714$, $p = 0,2114$), demonstrando respostas semelhantes entre os homens e as mulheres nas condições analisadas (Tabela 5).

Para o PCR expresso como $\% FC_{pico}$, a análise demonstrou que não houve efeito significativo da interação entre sexo e inclinação ($F = 1,551$, $p = 0,223$), indicando comportamento semelhante da FC relativa entre os sexos nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, não foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 1,371$, $p = 0,265$), indicando ausência de variação consistente entre as diferentes inclinações. Também não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 1,247$, $p = 0,276$), demonstrando respostas similares entre os homens e as mulheres (Tabela 5).

Da mesma forma que o %FCpico, não houve efeito significativo da interação entre sexo e inclinação ($F = 0,820$, $p = 0,447$), indicando comportamento semelhante do R entre os sexos nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, não foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 2,174$, $p = 0,126$), indicando ausência de variação consistente entre as diferentes inclinações. Da mesma forma, não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 0,000$, $p = 1,000$), demonstrando respostas similares entre os homens e as mulheres (Tabela 5).

Não houve interação significativa entre sexo e inclinação para a PSE ($F = 0,041$, $p = 0,960$), indicando comportamento semelhante entre os sexos nas inclinações analisadas. Para o fator inclinação, não foi observada diferença significativa entre as condições ($F = 0,876$, $p = 0,424$), indicando que os valores de PSE foram semelhantes entre plano, acline e declive. Também não foi observado efeito principal significativo para o fator sexo ($F = 0,018$, $p = 0,894$), demonstrando respostas semelhantes entre os homens e as mulheres nas condições analisadas (Tabela 5).

Tabela 5. Variáveis correspondentes ao ponto de compensação respiratória (PCR) no plano, aplane e declive.

	Homens (N = 14)	Mulheres (N = 10)
Plano		
vPCR (km/h)	14,5 ± 1,30	12,2 ± 1,14†
%v $\dot{V}O_2$ pico	84,6 ± 3,52	83,8 ± 3,39
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	43,9 ± 4,82	40,2 ± 5,54
% $\dot{V}O_2$ pico	83,8 ± 6,39	86,8 ± 3,99
FC (bpm)	164 ± 13	171 ± 7
%FCpico	91,7 ± 2,69	92,9 ± 1,41
R	1,00 ± 0,05	1,01 ± 0,09
PSE	15 ± 2	15 ± 2
Active		
vPCR (km/h)	10,3 ± 0,87*	8,64 ± 1,10†*
%v $\dot{V}O_2$ pico	81,5 ± 5,41	82,1 ± 5,40
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	45,1 ± 4,52	41,2 ± 5,23
% $\dot{V}O_2$ pico	84,1 ± 7,37	89,5 ± 3,56
FC (bpm)	161 ± 12*	167 ± 8*
%FCpico	90,4 ± 3,29	92,4 ± 1,83
R	1,02 ± 0,05	1,02 ± 0,06
PSE	15 ± 2	15 ± 2
Declive		
vPCR (km/h)	16,2 ± 1,44*‡	13,5 ± 2,85†*‡
%v $\dot{V}O_2$ pico	85,9 ± 5,26	84,7 ± 4,67
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	38,2 ± 2,81*‡	35,9 ± 6,22*‡
% $\dot{V}O_2$ pico	84,2 ± 8,91	86,9 ± 2,81
FC (bpm)	157 ± 13*	165 ± 11*
%FCpico	91,6 ± 3,79	91,5 ± 1,94
R	1,00 ± 0,05	0,97 ± 0,10
PSE	15 ± 2	15 ± 1

vLTR - velocidade no limiar de trocas respiratórias; %v $\dot{V}O_2$ pico - percentual da velocidade no consumo de oxigênio pico; $\dot{V}O_2$ - consumo de oxigênio; % $\dot{V}O_2$ pico - percentual do consumo de oxigênio pico; FC - frequência cardíaca; %FCpico - percentual da frequência cardíaca pico; R - quociente respiratório; PSE - percepção

subjetiva de esforço. † - $p < 0,05$ em relação aos homens; * $p < 0,05$ em relação ao plano; ‡ $p < 0,05$ em relação ao aclive.

O tlim obtido nos testes no plano ($805,1 \pm 78,4$ s), aclive ($824,3 \pm 78,7$ s) e declive ($778,2 \pm 91,4$ s) foi similar ($p > 0,05$) nos homens. Da mesma forma, nas mulheres o tlim foi similar entre as condições de plano ($752,0 \pm 93,5$ s), aclive ($769,5 \pm 94,1$ s) e declive ($725,8 \pm 93,8$ s) ($p > 0,05$).

A Tabela 6 apresenta os valores de correlação (r) entre variáveis obtidas no teste incremental realizado no plano, aclive e declive, nos homens. Houve correlação significativa em todas as condições ($p < 0,05$), de altas a quase perfeitas, com exceção da vLTR entre o plano e o declive ($p > 0,05$).

Tabela 6. Correlação (r) entre as variáveis obtidas no teste incremental, nos homens.

	$\dot{V}O_2\text{pico}$	$v\dot{V}O_2\text{pico}$	vLTR	vPCR
Plano x aclive	0,89*	0,77*	0,85*	0,85*
Plano x declive	0,93*	0,81*	0,47	0,71*
Aclive x declive	0,90*	0,66*	0,61*	0,79*

* $p < 0,05$. $\dot{V}O_2\text{pico}$ - consumo de oxigênio pico; $v\dot{V}O_2\text{pico}$ - velocidade associada ao $\dot{V}O_2\text{pico}$; vLTR - velocidade no limiar de trocas respiratórias; vPCR - velocidade no ponto de compensação respiratória.

A Tabela 7 apresenta os valores de correlação (r) entre as variáveis obtidas no teste incremental realizado no plano, aclive e declive, nas mulheres. Houve correlações significantes em todas as condições ($p < 0,05$), de altas a quase perfeitas, com exceção da vLTR entre o plano e o declive ($p > 0,05$).

Tabela 7. Correlação (r) entre as variáveis obtidas no teste incremental, nas mulheres.

	$\dot{V}O_2\text{pico}$	$v\dot{V}O_2\text{pico}$	vLTR	vPCR
Plano x aclone	0,90*	0,85*	0,73*	0,85*
Plano x declive	0,87*	0,77*	0,39	0,65*
Aclone x declive	0,91*	0,90*	0,70*	0,90*

* $p < 0,05$. $\dot{V}O_2\text{pico}$ - consumo de oxigênio pico; $v\dot{V}O_2\text{pico}$ - velocidade associada ao $\dot{V}O_2\text{pico}$; vLTR - velocidade no limiar de trocas respiratórias; vPCR - velocidade no ponto de compensação respiratória.

6. DISCUSSÃO

Os principais resultados deste estudo foram que: 1) As velocidades correspondentes aos índices fisiológicos são maiores no declive, tanto nos homens quanto nas mulheres, acompanhado de redução da demanda metabólica e cardiovascular, sugerindo maior contribuição de fatores biomecânicos e neuromusculares em condições de inclinação negativa; 2) Os valores relativos dos limiares ventilatórios são similares nas diferentes condições de inclinação, nos homens e nas mulheres; 3) As respostas fisiológicas máximas, particularmente o $\dot{V}O_{2pico}$ e a FC_{pico} , foram influenciadas por interação significativa entre sexo e inclinação, e; 4) A PSE atingida no teste máximo e nos limiares ventilatórios foi similar entre os homens e as mulheres, independentemente da condição analisada. Em conjunto, esses achados demonstram que os determinantes fisiológicos do desempenho incremental na corrida são fortemente dependentes da inclinação do terreno e que a contribuição relativa de fatores metabólicos e mecânicos difere entre homens e mulheres de acordo com a inclinação. Portanto, o principal fator determinante das respostas fisiológicas nas condições analisadas é a inclinação, e que a contribuição relativa de fatores metabólicos e mecânicos difere entre homens e mulheres de acordo com a inclinação. Os dados do presente estudo reforçam a ideia de que o exercício em declive representa uma condição fisiologicamente distinta, na qual o desempenho mecânico pode ser dissociado da demanda metabólica, o que pode ter implicações para a interpretação de testes incrementais e, sobretudo, para a prescrição de treinamento em diferentes condições de inclinação.

6.1. Respostas fisiológicas máximas

Com relação às variáveis máximas obtidas nos testes incrementais, houve interação significativa entre os fatores grupo e inclinação para o $\dot{V}O_{2pico}$ e a FC_{pico} , indicando que o comportamento destas variáveis foi diferente entre os homens e as mulheres nas diferentes condições de inclinação, com os homens apresentando maior redução na descida do que as mulheres. Como já previamente demonstrado em outros estudos, os homens apresentaram valores maiores de $\dot{V}O_{2pico}$ (MALDONADO et al., 2004; STOA et al., 2020) e $v\dot{V}O_{2pico}$ (MALDONADO et al., 2004; STOA et al., 2020) do que nas mulheres. Entre os fatores que ajudam a explicar estas diferenças no estão a maior massa muscular esquelética, maior concentração de hemoglobina, maiores dimensões cardíacas e maior volume sistólico observados em homens (HUNTER, JOYNER E JONES, 2015).

Na corrida realizada em diferentes inclinações (ative, declive e plano), o tipo de contração predominante pode ser diferente, pois no declive, há uma contribuição maior das contrações excêntricas para o deslocamento, enquanto no aative, a contração concêntrica tende a ser a predominante (LEMIRE et al., 2021; LINDSTEDT et al., 2001). Como as contrações excêntricas podem apresentar menor demanda energética do que as concêntricas (HERZOG, 2018; PEÑAILILLO; BLAZEIVICH; NOSAKA, 2017; TOURON et al., 2021), no declive é possível correr em velocidades maiores do que no aative, com o mesmo gasto energético. Nossos dados concordam com estudos prévios que compararam declive e plano (LIEFELDT et al., 1992), e declive, plano e aative (LEMIRE et al., 2020, 2024). No estudo conduzido por LIEFELDT et al. (1992), os autores verificaram um maior valor da velocidade correspondente ao $\dot{V}O_{2max}$ no declive (24,6 km/h) do que no plano (23 km/h), com

um valor de $\dot{V}O_2\text{max}$ menor (58 ml/kg/min e 68 ml/kg/min, respectivamente para o declive e o plano. Analisando-se corredores no plano, declive (-15%) ou aclone (15%), Lemire et al. (2020) também encontraram valores de velocidade associada ao $\dot{V}O_2\text{pico}$ maior na descida (22,7 km/h), comparativamente ao plano (18,7 km/h) e ao aclone (9,3 km/h), menor $\dot{V}O_2\text{pico}$ no declive (56,6 ml/kg/min) do que o plano (68 ml/kg/min) e o aclone (69,6 ml/kg/min), que foram similares entre si. Porém, nossos dados diferem em parte dos obtidos por LEMIRE et al. (2024). Neste estudo, o $\dot{V}O_2\text{pico}$ atingido no plano foi similar ao aclone (7,5% e 15%) e ao declive de 7,5%. O $\dot{V}O_2\text{pico}$ somente não foi atingido no maior declive (-15%), com valor entre 10 e 17% menor do que nas demais condições. Entre os prováveis fatores que podem ajudar a explicar esta diferença estão a população, pois no estudo de Lemire et al. (2024) o nível de aptidão aeróbia dos corredores era maior, e o protocolo que os autores utilizaram tinha estágios com duração maior (2 min) do que o utilizado em nosso estudo. Neste estudo, foi observado uma redução maior do $\dot{V}O_2\text{pico}$ no declive para os homens (13-15%) do que para as mulheres (10%). No estudo realizado por Dantas et al. (2022) foram observados menor FCmax no aclone do que no declive, e valores similares de $\dot{V}O_2\text{max}$. Neste estudo, o protocolo progressivo no aclone foi realizado em velocidade fixa, com aumento de inclinação.

O $\dot{V}O_2\text{max}$ é determinado por fatores associados à capacidade de oferta e utilização de oxigênio (BASSET e HOWLEY, 2000). Estudos realizados no ciclismo verificaram menor valor de volume sistólico e mesmo valor de débito cardíaco no ciclismo excêntrico do que no concêntrico, quando analisados em uma mesma potência submáxima (RAKOBOWCHUK et al. 2018; RITTER et al. 2019). Em outros estudos, o débito cardíaco e a frequência cardíaca foram maiores, com menor diferença arteriovenosa de O_2 durante um exercício submáximo realizado na mesma

potência, no ciclismo excêntrico do que no concêntrico (DUFOR et al. 2004, 2007). No estudo de Barreto et al. (2021) os autores sugerem que o $\dot{V}O_2$ pico no ciclismo excêntrico pode estar relacionado à capacidade dos músculos de extrair e utilizar o O_2 . A ativação neuromuscular é menor (AAGAARD et al., 2000) e o recrutamento das fibras musculares rápidas, que possuem uma baixa capacidade oxidativa, é maior (PEÑAILILLO et al. 2013) no exercício excêntrico do que no concêntrico, o que pode auxiliar a explicar o menor $\dot{V}O_2$ pico obtido na corrida no declive. No estudo de Lemire et al. (2024), os autores verificaram menor redução da oxihemoglobina no declive a -15% do que no plano, e o índice de saturação de O_2 foi maior nesta condição do que no plano e a ativo, o que sugere uma menor extração de O_2 pelos músculos. Neste estudo, os autores propuseram que o aumento da contribuição do trabalho mecânico negativo e das contrações excêntricas limita a capacidade de atingir o $\dot{V}O_2$ pico num declive severo. Importante destacar que os dados do estudo também demonstraram maior preservação da oxigenação muscular e menor desoxigenação periférica durante o declive acentuado, sugerindo menor demanda metabólica periférica apesar da maior carga mecânica no declive. No entanto, ainda não há um consenso na literatura referente aos mecanismos que explicam o menor $\dot{V}O_2$ pico no declive.

Com relação ao fator inclinação ainda, verificou-se que, na descida os valores de R foram menores do que nas condições de a ativo e plano, mesmo com valores maiores de $v\dot{V}O_2$ pico. Ou seja, é possível atingir maiores velocidades máximas no declive com menor stress fisiológico. Um aspecto interessante neste estudo é o menor valor de R, sugerindo que, além de diferenças no custo energético no declive, o perfil metabólico também é influenciado, possivelmente modulando a utilização de substratos. Ao se comparar as condições de plano e subida, observou-se que o

$\dot{V}O_{2pico}$, a FCpico e o R foram similares, porém, atingidos em velocidades menores nos homens e nas mulheres.

Em nosso estudo, a FCpico foi menor no declive do que no plano, e, nos homens, esta variável também foi menor no declive do que no aclone. Estes dados diferem dos obtidos por outros estudos (LEMIRE et al., 2020, 2024). No estudo de Lemire et al. (2020), os autores observaram valores similares de FCpico no declive (180 bpm), plano (183 bpm) e aclone (181 bpm). Da mesma forma, no estudo de Lemire et al. (2024) a FCpico também foi similar no declive (-15% = 189 bpm; -7,5% = 191 bpm), plano (191 bpm) e aclone (7,5% = 187 bpm; 15% = 188 bpm). Segundo Lemire et al. (2020), no declive, a resposta da frequência cardíaca pode ser desassociada da demanda metabólica, por mecanismos ainda não esclarecidos. Analisando-se condições de ciclismo concêntrico e excêntrico, Lipski et al. (2018) observaram, em um teste incremental, uma potência pico atingida no ciclismo excêntrico 53% maior do que a obtida no ciclismo concêntrico, com um $\dot{V}O_{2pico}$ 43% menor, porém valores similares de FCpico. Não está claro o porquê da menor FCpico no declive encontrada em nosso estudo. Porém, um fator que pode ter influenciado nesta resposta, é o menor nível de aptidão aeróbia dos atletas em nosso estudo.

A maior redução do $\dot{V}O_{2pico}$ e da FCpico no declive observada nos homens sugere que, aparentemente, em condições nas quais há uma menor dependência do metabolismo oxidativo e maior do trabalho mecânico excêntrico, indivíduos com maior nível de aptidão aeróbia são mais afetados. No entanto, os mecanismos que podem explicar este comportamento ainda não estão esclarecidos na literatura. As mulheres tendem a apresentar menor fadiga durante o exercício (HUNTER e ENOKA, 2001). Como o declive tende a gerar maior fadiga do que o plano e o aclone (LEMIRE et al., 2024), e, nas condições de declive tende a haver uma maior contribuição de fatores

mecânicos, é possível que estes fatores contribuam para as menores alterações de $\dot{V}O_2$ pico observadas. A interação dos fatores sexo e inclinação observada para a FC pico reforça essa interpretação. Para esta variável os homens também apresentaram redução mais pronunciada durante o declive. A menor solicitação cardiovascular observada nessa condição provavelmente reflete o menor custo metabólico associado às ações musculares excêntricas e à assistência gravitacional durante a locomoção. Nas condições de menor quantidade de trabalho mecânico positivo necessário para propulsão e maior contribuição das forças de frenagem e da reutilização da energia elástica que ocorrem no declive, geram menor demanda de oferta de oxigênio e débito cardíaco, atenuando as respostas cardiovasculares máximas. Aparentemente nas mulheres esta redução é atenuada, provavelmente pelos fatores mencionados anteriormente. De qualquer forma, o menor custo metabólico observado durante o declive não deve ser interpretado como menor estresse fisiológico global, pois a corrida em declive aumenta substancialmente as forças de frenagem, o impacto mecânico e o trabalho excêntrico, particularmente nos músculos extensores do joelho. De fato, no estudo de Lemire et al. (2024), a corrida em declive resultou em reduções significantes do torque dos músculos extensores do joelho após o exercício, apesar dos menores valores de lactato sanguíneo e $\dot{V}O_2$. Esse resultado indica que o exercício em declive pode deslocar o desenvolvimento da fadiga de mecanismos predominantemente metabólicos para mecanismos predominantemente neuromusculares.

Um aspecto interessante do estudo foi a estabilidade da PSE nas diferentes condições de inclinação, em todos os índices fisiológicos analisados, tanto nos homens quanto nas mulheres. Isto sugere que a percepção de esforço não é determinada exclusivamente pelo estresse cardiovascular ou metabólico, mas que as

respostas perceptivas provavelmente integram múltiplas aferências, incluindo impacto mecânico, tensão muscular, carga excêntrica e fadiga neuromuscular. Estudos prévios demonstraram que o exercício excêntrico produz fadiga periférica substancial e dor muscular tardia apesar da relativamente baixa demanda cardiorrespiratória. Assim, a manutenção de elevados níveis de PSE durante o declive provavelmente reflete o elevado estresse neuromuscular associado às repetidas ações de frenagem nesta condição.

Tanto nos homens quanto nas mulheres, a correlação do $\dot{V}O_{2pico}$ e da $v\dot{V}O_{2pico}$ ($r = 0,66-0,93$) obtidos entre o plano, aplane e declive, foi considerada alta a quase perfeita, sugerindo que há uma associação positiva destas variáveis nas diferentes condições de inclinação analisadas.

6.2. Respostas fisiológicas submáximas

Ao se analisar as respostas fisiológicas associadas aos limiares ventilatórios, observou-se maiores valores de $vLTR$ e $vPCR$ nos homens, concordando com estudos prévios analisando variáveis submáximas (MALDONADO-MARTÍN et al., 2004; RODRÍGUEZ-BARBERO et al., 2025; STOA et al. 2020;). No entanto, tanto nos homens quanto nas mulheres, a $vLTR$ e a $vPCR$ no declive foi maior do que no plano e no aplane, e no plano ela foi maior do que no aplane, sugerindo que a inclinação é um fator determinante da velocidade nas condições analisadas. Para os valores relativos da velocidade, observou-se que, no LTR, no declive o valor foi maior do que no plano e no aplane, sugerindo que nesta velocidade, os atletas atingiram maiores intensidades relativas no declive. Para o $\dot{V}O_2$, este foi similar entre os homens e as mulheres, e menor no declive, comparado ao plano e ao aplane, tanto no LTR quanto no PCR. Já em relação aos valores relativos, estes foram similares entre as três condições de

inclinação, nos dois limiares ventilatórios. Ao se analisar a FC correspondente ao LTR e ao PCR, observou-se que foi também similar entre os homens e as mulheres, sendo menor no aclave do que no plano, no LTR, e no declive e aclave em relação ao plano, no PCR. Já os valores relativos referentes aos dois limiares ventilatórios foram similares entre as três condições de inclinação. Portanto, os dados sugerem que mulheres treinadas em *endurance* podem sustentar exercício em frações relativas semelhantes do $\dot{V}O_2\text{max}$ quando comparadas aos homens.

A similaridade das respostas dos limiares ventilatórios entre os sexos também pode estar associada às características específicas de fadiga em mulheres. Diversos estudos demonstram que mulheres apresentam maior resistência à fadiga durante exercício prolongado, possivelmente em decorrência de menor dependência glicolítica, maior oxidação lipídica, menores taxas de disparo das unidades motoras e maior resistência ao dano muscular. Essas características fisiológicas podem contribuir para a estabilidade das respostas relativas observadas no presente estudo, particularmente em condições envolvendo ênfase nas contrações excêntricas. A literatura demonstra que mulheres apresentam menores volumes pulmonares e capacidade de difusão (DOMINELLI e MOLGAT-SEON, 2022). No entanto, os resultados do presente estudo indicam que estas diferenças morfológicas não se traduzem em alterações funcionais relevantes nos limiares fisiológicos. É possível, portanto, que os mecanismos que determinam os limiares (produção de lactato, tamponamento e controle ventilatório) sejam similares entre os sexos.

No estudo realizado por Maldonado-Martín et al. (2004), em corredores de meia-distância e maratona altamente treinados, os autores determinaram o limiar de lactato (LL) e o início de acúmulo de lactato no sangue (OBLA) e observaram também maiores valores de velocidade nos homens do que nas mulheres. No entanto, os

valores expressos em $\% \dot{V}O_{2\max}$ correspondentes aos limiares metabólicos foram maiores nas mulheres (86% e 91%, respectivamente) do que nos homens (82% e 86%, respectivamente). Da mesma forma, o $\dot{V}O_2$ correspondente aos limiares metabólicos também foi menor nas mulheres (LL = 52,4 ml/kg/min; OBLA = 55,3 ml/kg/min) do que nos homens (LL = 56,8 ml/kg/min; OBLA = 60,1 ml/kg/min). Em um outro estudo, conduzido por Stoa et al. (2020), em corredores de longa distância, os autores também observaram maiores valores absolutos de LT nos homens (14,2 km/h) do que nas mulheres (13,1 km/h), porém o LT (valor de lactato no aquecimento + 2,3 mM) foi atingido em um $\% \dot{V}O_{2\max}$ maior nas mulheres (84,6) do que nos homens (82,5).

Em um outro estudo, Benítez-Muñoz et al. (2024), analisaram indivíduos com três níveis: nível baixo, médio e alto de treinamento de resistência, fazendo a divisão baseando-se na $\% \dot{V}O_{2\max}$ em que eles atingem o LTR e o PCR e compara os limiares e o $\dot{V}O_{2\max}$ entre os indivíduos, e ainda comparou homens e mulheres. Sendo as velocidades em indivíduos com nível de treinamento baixo, médio e alto, respectivamente: no LTR dos homens, 8,7 km/h (57% $v\dot{V}O_{2\max}$, 61,4% $\dot{V}O_{2\max}$, 74,6%FCmax), 10,5 km/h (62,1% $v\dot{V}O_{2\max}$, 64,9% $\dot{V}O_{2\max}$, 78,6%FCmax) e 11,8 km/h (64,4% $v\dot{V}O_{2\max}$, 66% $\dot{V}O_{2\max}$, 80,8%FCmax). No PCR: 12,3 km/h (80,7% $v\dot{V}O_{2\max}$, 85,7% $\dot{V}O_{2\max}$, 90,6%FCmax), 14,5 km/h (86,1% $v\dot{V}O_{2\max}$, 88,5% $\dot{V}O_{2\max}$, 93,5%FCmax), 16,2 km/h (89% $v\dot{V}O_{2\max}$, 90,6% $\dot{V}O_{2\max}$, 94,6%FCmax). Já nas mulheres, foram encontrados os seguintes valores, no LTR: 7,2 km/h (63,7% $v\dot{V}O_{2\max}$, 61,7% $\dot{V}O_{2\max}$, 77,9%FCmax), 9 km/h (63% $v\dot{V}O_{2\max}$, 66,4% $\dot{V}O_{2\max}$, 81%FCmax), 10,4 km/h (66,5% $v\dot{V}O_{2\max}$, 69,4% $\dot{V}O_{2\max}$, 82,9%FCmax). No PCR os valores foram, 9,7 km/h (84,4% $v\dot{V}O_{2\max}$, 87,4% $\dot{V}O_{2\max}$, 93,1%FCmax), 12,5 km/h (86,8% $v\dot{V}O_{2\max}$, 90,2% $\dot{V}O_{2\max}$, 94,6%FCmax), 14,2 km/h (90,9% $v\dot{V}O_{2\max}$, 92,2% $\dot{V}O_{2\max}$, 95,6%FCmax). Os valores da $v\dot{V}O_{2\max}$ atingidos

foram: 15,3 km/h, 17 km/h e 18,5 km/h, e 11,4 km/h, 14,3 km/h e $15,4 \pm 1,3$ km/h em homens e mulheres, respectivamente. Não só a intensidade máxima ($\dot{V}O_{2\max}$ e $v\dot{V}O_{2\max}$) aumenta conforme a aptidão aeróbia, mas também a intensidade relativa ($\%FC_{\max}$, $\%\dot{V}O_{2\max}$ e $\%v\dot{V}O_{2\max}$) em que os limiares são atingidos.

Os fatores que poderiam ajudar a explicar a diferença entre os homens e as mulheres ainda não foram esclarecidos na literatura. As diferenças nos resultados destes estudos comparando-se aos nossos resultados podem, pelo menos em parte, ser explicadas pelas diferenças em aspectos como o nível de performance dos atletas e os critérios adotados na determinação dos limiares, que podem influenciar na intensidade relativa atingida pelos índices fisiológicos.

Com relação aos efeitos da inclinação, nossos dados concordam com os obtidos por Lemire et al. (2020), que observaram, em corredores de endurance treinados, valores maiores de velocidade correspondente ao LTR no declive (17,7 km/h), comparado ao plano (14,5 km/h) e ao aclone (6,3 km/h), em condições de 15% de inclinação. Neste mesmo estudo, os autores encontraram também maior velocidade correspondente ao PCR no declive (21,8 km/h), do que no plano (17,1 km/h) e no aclone (8 km/h). Além disso, os autores observaram menor $\dot{V}O_2$ correspondente aos LTR e PCR, com FC similar nas diferentes inclinações analisadas. Uma observação importante do presente estudo foi a relativa estabilidade dos limiares ventilatórios quando expressos como intensidade relativa. Apesar das grandes diferenças de velocidade absoluta e $\dot{V}O_2$ entre inclinações, as intensidades relativas dos limiares permaneceram comparativamente constantes. Sendo assim, a regulação dos limiares ventilatórios pode estar mais associada ao estresse fisiológico interno do que a velocidade externa de corrida. No estudo realizado por de Lucas et al. (2022), a FC correspondente aos limiares metabólicos também foi menor no aclone (plano =

147 bpm e 166 bpm) do que no declive (active = 141 bpm e 160 bpm), correspondendo a %FCmax similares nas duas condições de inclinação. Os valores de $\dot{V}O_2$ max obtidos também foram similares.

Portanto, embora os homens tenham atingido maiores velocidades absolutas de corrida e maiores valores de $\dot{V}O_2$, ambos os sexos alcançaram os limiares ventilatórios em intensidades fisiológicas relativas semelhantes, sugerindo que os mecanismos reguladores responsáveis pela ocorrência dos limiares ventilatórios são similares entre homens e mulheres treinados na corrida. Além disso, reforça a noção de que índices de aptidão aeróbia como os limiares ventilatórios, expressos em termos relativos, podem representar marcadores mais apropriados e individualizados para a prescrição do treinamento do que a velocidade absoluta, particularmente quando se comparam atletas de sexos distintos.

Um aspecto interessante em nosso estudo foi que a PSE também foi similar em todas as condições analisadas, tanto para o LTR quanto para o PCR, ou seja, embora o estresse cardiorrespiratório tenha sido menor durante o declive, a maior contribuição das contrações excêntricas provavelmente aumentou o desconforto muscular e a fadiga periférica, mantendo elevada a percepção global do exercício. De qualquer forma, estes resultados reforçam a ideia de que a PSE é um indicador robusto de carga interna de treinamento em diferentes condições de inclinação, tanto em homens quanto em mulheres.

Com exceção da condição plano vs. declive, foi observada correlação significativa, tanto da vLTR quanto da vPCR, entre as diferentes condições de inclinação nos homens ($r = 0,61-0,85$) e nas mulheres ($r = 0,65-0,90$). Estes dados sugerem uma associação alta a quase perfeita nos índices. Portanto, é provável que, pelo menos parte dos mecanismos que determinam os limiares, seja compartilhada

entre as diferentes condições de inclinação. A ausência de correlação significativa da vLTR entre o plano e a descida nos homens ($r = 0,47$) e nas mulheres ($r = 0,39$) sugere que, os mecanismos que determinam a vLTR nesta condição podem não ser exatamente os mesmos.

6.3. Limitações

As principais limitações do presente estudo estão a falta de medidas de variáveis biomecânicas, como por exemplo a frequência e o comprimento de passadas, como também medidas de parâmetros específicos de fadiga neuromuscular e de dano muscular, que poderiam auxiliar em uma maior compreensão de fatores que explicam os resultados obtidos. Uma outra limitação do estudo é o não controle da fase do ciclo menstrual das mulheres, o que pode ter influenciado, em parte, na variabilidade fisiológica observada. E, finalmente, a utilização de apenas um nível de declive e a inclinação pode também limitar a transferência dos resultados para condições diferentes de inclinação. De qualquer forma, o estudo mostrou que a inclinação é um aspecto fundamental a ser considerado, particularmente na avaliação individualizada atletas de corrida, com possíveis implicações para a elaboração da carga de treinamento em diferentes condições de terreno.

7. CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste estudo, é possível concluir que, com exceção da velocidade, homens e mulheres tendem a apresentar respostas similares relacionadas aos percentuais nos quais os limiares ventilatórios são atingidos no plano, a inclinação é um fator fundamental nas respostas fisiológicas, com as maiores velocidades sendo atingidas no declive, comparativamente ao plano e ao acento, e uma redução nos valores de $\dot{V}O_2\text{max}$ e $FC\text{max}$, que foi mais acentuada nos homens. Este comportamento das variáveis no declive parece estar associado à uma dissociação entre a carga metabólica e a carga mecânica, ou seja, a corrida em declive gera menor custo metabólico da locomoção principalmente por meio do maior aproveitamento da energia potencial gravitacional e das ações musculares excêntricas. A PSE atingida em intensidade máxima como também nos limiares ventilatórios é similar em testes incrementais no acento, plano e declive, em homens e mulheres treinados em corrida. Assim, na avaliação de corredores, principalmente os especialistas em trilhas, é importante que as avaliações não sejam realizadas apenas no plano, pois podem subestimar as demandas neuromusculares associadas ao terreno competitivo. Os dados nas condições de acento e declive podem contribuir para uma avaliação e prescrição do treinamento mais individualizada nesta população.

8. REFERÊNCIAS

AAGAARD, P. et al. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 6, p. 2249-2257, 2000. doi: 10.1152/jappl.2000.89.6.2249.

ALBERT, W. et al. Sex differences in the rate of fatigue development and recovery. **Dynamic Medicine**, v. 5, n. 1, p. 2, 2006. doi: 10.1186/1476-5918-5-2.

ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiological Reviews**, v. 88, n. 1, p. 287-332, 2008. doi: 10.1152/physrev.00015.2007.

ALMARWAEY O. A.; JONES A. M.; TOLFREY K. Maximal lactate steady state in trained adolescent runners. **Journal of Sports Science**, v. 22, n. 2, p. 215-225, 2004. doi: 10.1080/02640410310001641520.

APARECIDO, J. M. L. et al. Training mode comparisons on cardiorespiratory, body composition and metabolic profile adaptations in reproductive age women: a systemic review and meta-analysis. **Obesities**, v. 2, n. 2, p. 222-235, 2022.

BAM, J. et al. Could women outrun men in ultramarathon races? **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 29, n. 2, p. 244-247, 1997. doi: 10.1097/00005768-199702000-00013.

BARRETO, R. V.; DE LIMA, L. C. R.; DENADAI, B. S. Moving forward with backward pedaling: a review on eccentric cycling. **European Journal of Applied Physiology**, v. 121, n. 2, p. 381-407, 2021. doi: 10.1007/s00421-020-04548-6.

BASSETT, A. J. et al. The Biology of Sex and Sport. **JBJS Reviews**, v. 8, n. 3, p. e0140, 2020. doi: 10.2106/JBJS.RVW.19.00140.

BASSETT, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 1, p. 70-84, 2000. doi: 10.1097/00005768-200001000-00012.

BEAVER W. L.; WASSERMAN K.; WHIPP, B. J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. **Journal of Applied Physiology**, v. 60, n. 6, p. 2020-2027, 1986. doi: 10.1152/jappl.1986.60.6.2020.

BENÍTEZ-MUÑOZ, J. A. et al. Greater relative first and second lactate thresholds in females compared with males: Consideration for exercise prescription. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 20, n. 1, p. 30-36, 2024. doi: 10.1123/ijsp.2024-0079.

BESSON, T. et al. Sex differences in neuromuscular fatigue and changes in cost of running after mountain trail races of various distances. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 53, n. 11, p. 2374-2387, 2021. doi: 10.1249/MSS.0000000000002719.

- BESSON, T. et al. Sex differences in endurance running. **Sports Medicine**, v. 52, n. 6, p. 1235-1257, 2022. doi:10.1007/s40279-022-01651-w.
- BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 14, n. 5, p. 377-181, 1982.
- BROOKS, G. A. The science and translation of lactate shuttle theory. **Cell Metabolism**, v. 27, n. 4, p. 757–785, abr. 2018. doi: 10.1016/j.cmet.2018.03.008.
- BURNLEY, M.; JONES, A. M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Science**, v. 7, n. 2, p. 63-79, 2007. doi: 10.1080/17461390701456148.
- BURNLEY, M.; JONES, A. M. Power-duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance. **European Journal of Sport Science**, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2016. doi: 10.1080/17461391.2016.1249524.
- CARTER, S. L.; RENNIE, C.; TARNOPOLSKY, M. A. Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training. **American Journal of Physiology and Endocrinology Metabolism**, v. 280, n. 6, p. E898-907, 2001. doi: 10.1152/ajpendo.2001.280.6.E898.
- CONLEY, D. L.; KRAHENBUHL, G. S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 12, n. 5, p. 357-360, 1980.
- COYLE, E. F.; COGGAN, A. R.; HEMMERT, M. K.; IVY, J. L. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. **Journal of Applied Physiology**, v. 61, n. 1, p. 165-172, 1986. doi: 10.1152/jappl.1986.61.1.165.
- DAVIES, C. T. M.; THOMPSON, M. W. Physiological responses to prolonged exercise in ultramarathon athletes. **Journal of Applied Physiology**, v. 61, n. 2, p. 611-617, 1986.
- DE LUCAS, R. D. et al. A novel treadmill protocol for uphill running assessment: the incline incremental running test (IIRT). **Res Sports Med**, v. 30, n. 5, p. 554-565, 2022. doi: 10.1080/15438627.2021.1917405.
- DENADAI, B. S.; GRECO, C. C. Could middle- and long-distance running performance of well-trained athletes be best predicted by the same aerobic parameters? **Current Research Physiology**, v. 5, p. 265-269, 2022. doi: 10.1016/j.crphys.2022.06.006.
- DEVRIES, M. C. et al. Menstrual cycle phase and sex influence muscle glycogen utilization and glucose turnover during moderate-intensity endurance exercise. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 291, n. 4, p. R1120-R1128, 2006. doi: 10.1152/ajpregu.00700.2005.

DOMINELLI, P. B.; MOLGAT-SEON, Y. Sex, gender and the pulmonary physiology of exercise. **European Journal of Respiratory Reviews**, v. 31, p. 210074, 2022. doi: 10.1183/16000617.0074-2021.

DUFOUR, S. P. et al. Eccentric cycle exercise: training application of specific circulatory adjustments. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 11, p. 1900-1906, 2004. doi: 10.1249/01.mss.0000145441.80209.66.

DUFOUR, S. P. et al. Deciphering the metabolic and mechanical contributions to the exercise-induced circulatory response: insights from eccentric cycling. **American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 292, n. 4, p. R1641-1648, 2007. doi: 10.1152/ajpregu.00567.2006.

ESBJÖRNSSON-LILJEDAHL, M. et al. Metabolic response in type I and type II muscle fibers during a 30-s cycle sprint in men and women. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 4, p. 1326-1332, 1999. doi: 10.1152/jappl.1999.87.4.1326.

ESPINOSA-RAMÍREZ, M. et al. Sex-differences in the oxygenation levels of intercostal and vastus lateralis muscles during incremental exercise. **Frontiers Physiology**, v. 12, p. 738063, 2021. doi: 10.3389/fphys.2021.738063.

FISHER, G. et al. Associations of human skeletal muscle fiber type and insulin sensitivity, blood lipids, and vascular hemodynamics in a cohort of premenopausal women. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 7, p. 1413-1422, 2017.

FRANTZ, A. G.; RABKIN, M. T. Effects of estrogen and sex difference on secretion of human growth hormone¹. **The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, v. 25, n. 11, p. 1470–1480, 1965.

FRIEDLANDER, A. L. et al. Training-induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently from men. **Journal of Applied Physiology**, v. 85, n. 3, p. 1175-1186, 1998.

FRIENTES, C. S. et al. Effect of menstrual cycle phase on fuel oxidation post hit in women reproductive age: a pilot study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 4, p. 3148-3148, 2023.

GANDEVIA, S. C. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. **Physiological Reviews**, v. 81, n. 4, p. 1725- 1789, 2001. doi: 10.1152/physrev.2001.81.4.1725

GASTIN, P. B. Energy System Interaction and Relative Contribution during Maximal Exercise. **Sports Medicine**, v. 31, n. 10, p. 725-41, 2001. doi: 10.1152/physrev.2001.81.4.1725.

HAFEN P.S.; VEHRHS P.R. Sex-related differences in the maximal lactate steady state. **Sports**, v. 6, n. 4, p. 154, 2018. doi: 10.3390/sports6040154.

HELGERUD, J. Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 68, p. 155-1561, 1994. doi: 10.1007/bf00244029

HELGERUD, J.; STØREN, Ø.; HOFF, J. Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners? **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, p. 1099-1105, 2010. doi: 10.1007/s00421-009-1218-z

HERDY, A. H. et al. Cardiopulmonary exercise test: Fundamentals, applicability and interpretation. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 107, n. 5, p. 467-481, 2016. doi: 10.5935/abc.20160171.

HERZOG, W. Why are muscles strong, and why do they require little energy in eccentric action? **Journal of Sport and Health Science**, v. 7, n. 3, p. 255-264, 2018. doi: 10.1016/j.jshs.2018.05.005.

HETLELID, K. J. et al. Rethinking the role of fat oxidation: substrate utilisation during high-intensity interval training in well-trained and recreationally trained runners. **BMJ Open Sport and Exercise Medicine**, v. 1, n. 1, p. e000047, 2015. doi: 10.1136/bmjsem-2015-000047.

HILL, D. W.; POOLE, D. C.; SMITH, J. C. The relationship between power and the time to achieve $\dot{V}O_2\text{max}$. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 4, p. 709-714, 2002. doi: 10.1097/00005768-200204000-00023.

HORTON, T.J. et al. Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 85, n. 5, p. 1823-1832, 1998.

HUNTER, S. K. Sex differences in human fatigability: Mechanisms and Insight to Physiological Responses. **Acta Physiologica**, v. 210, n. 4, p. 768-789, 2014. doi: 10.1111/apha.12234.

HUNTER, S. K.; ENOKA, R. M. Sex differences in the fatigability of arm muscles depend on absolute force during isometric contractions. **Journal of Applied Physiology**, v. 91, p. 2686-2694, 2001. doi: 10.1152/jappphysiol.00893.2003

HUNTER, S. K.; JOYNER, M. J.; JONES, A. M. The two-hour marathon: What's the equivalent for women? **Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 10, p. 1321-1323, 2015. doi: 10.1152/jappphysiol.00852.2014.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, v. 40, p. 497-504, 1978.

JOYNER, M. J.; COYLE, E. F. Endurance exercise performance: The physiology of champions. **The Journal of Physiology**, v. 586, n. 1, p. 35-44, 2008. doi: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>.

KOCH, D. W.; NEWCOMER, S. C.; PROCTOR, D. N. Blood flow to exercising limbs varies with age, gender, and training status. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 30, n. 5, p. 554-575, 2005. doi: 10.1139/h05-141.

KOMI, P. V.; BOSCO, C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. **Medicine and Science in Sports**, v. 10, n. 4, p. 261-265, 1978.

KRUSTRUP, P. et al. Slow-twitch fiber glycogen depletion elevates moderate-exercise fast-twitch fiber activity and O₂ uptake. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 6, p. 973-982, 2004. doi: 10.1249/01.mss.0000128246.20242.8b.

LEBRON, M. A. et al. Sex-based effects on muscle oxygenation during repeated maximal intermittent handgrip exercise. **Sports**, v. 13, n. 2, p. 42, 2025, doi:10.3390/sports13020042.

LEMIRE, M. et al. Level, uphill, and downhill running economy values are correlated except on steep slopes. **Frontiers in Physiology**, v. 12, p. 697315, 2021.

LEMIRE, M. et al. Physiological factors determining downhill vs uphill running endurance performance. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 24, n. 1, p. 85-91, 2020.

LEMIRE, M. et al. Cardiorespiratory responses to downhill versus uphill running in endurance athletes. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 89, n. 4, p. 511-517, 2018.

LEMIRE, M. et al. Peak oxygen uptake is slope dependent: insights from ground reaction forces and muscle oxygenation in trained male runners. **Sports Medicine - Open**, v. 10, n. 1, p. 78, 2024.

LIEFELDT, G.; NOAKES, T. D.; DENNIS, S. C. Oxygen delivery does not limit peak running speed during incremental downhill running to exhaustion. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 64, n. 6, p. 493-496, 1992.

LINDSTEDT, S. L.; LASTAYO, P. C.; REICH, T. E. When active muscles lengthen properties and consequences of eccentric contractions. **News in Physiological Sciences**, 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. **European Journal of Applied Physiology**, v. 118, p. 947-957, 2018. doi: 10.1007/s00421-018-3826-y.

LOURENÇO, T.F. **Correlação entre o ponto de compensação respiratória e desempenho em corredores de rua**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação Física, UNICAMP, 2009. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1610273>.

MALDONADO-MARTIN, S.; MUJICA, I.; PADILLA, S. Physiological variables to use in the gender comparison in highly trained runners. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 44, n. 1, p. 8-14, 2004.

MCLAUGHLIN, J. E. et al. Test of the classic model for predicting endurance running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, n. 5, p. 991-997, 2010. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181c0669d.

MENDONCA, V. G.; MATOS, P.; CORREIA, J. M. Running economy in recreational male and female runners with similar levels of cardiovascular fitness. **Journal of Applied Physiology**, v. 129, n. 3, p. 508-515, 2020. doi: 10.1152/jappphysiol.00349.2020.

MEYER, T. et al. Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 5, p. 622-625, 2004. doi: 10.1136/bjsm.2003.007815.

MINETTI, A. E. et al. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 3, p. 1039-1046, 2002. doi: 10.1152/jappphysiol.01177.2001.

MURIAS, J. M. et al. Sex-related differences in muscle deoxygenation during ramp incremental exercise. **Respiratory Physiology and Neurobiology**, v. 189, n. 3, p. 530-536, 2013. doi: 10.1016/j.resp.2013.08.011.

NICHOLL, J. P.; COLEMAN, P.; BRAZIER, J. E. Health and healthcare costs and benefits of exercise. **Pharmacoeconomics**, v. 5, p. 109-122, 1994. doi: 10.2165/00019053-199405020-00005.

NUUTTILA, O. P. et al. Self-paced field running test in monitoring fatigue and training adaptations in recreational runners. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 19, n. 11, p. 1299-1306, 2024. doi: 10.1123/ijsp.2024-0105.

NYBO, L. CNS Fatigue and Prolonged Exercise: Effect of Glucose Supplementation. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 35, n. 4, p. 589-594, 2003. doi: 10.1249/01.mss.0000058433.85789.66.

ØRTENBLAD, N.; WESTERBLAD, H.; NIELSEN, J. Muscle glycogen stores and fatigue. **The Journal of Physiology**, v. 591, n. 18, p. 4405-4413, 2013. doi: 10.1113/jphysiol.2013.251629.

PARKER, B. A. et al. Sex differences in leg vasodilation during graded knee extensor exercise in young adults. **Journal of Applied Physiology**, v. 103, p. 1583-1591, 2007. doi: 10.1152/jappphysiol.00662.2007.

PATE, R. R.; KRISKA, A. Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. **Sports Medicine**, v. 1, p. 87-98, 1984. doi: 10.2165/00007256-198401020-00001.

PEÑAILILLO, L.; BLAZEVIČ, A. J.; NOSAKA, K. Factors contributing to lower metabolic demand of eccentric compared with concentric cycling. **Journal of Applied Physiology**, v. 123, n. 4, p. 884-893, 2017. doi: 10.1152/jappphysiol.00536.2016.

POOLE, D. C.; JONES, A. M. Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2\max}$: $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ is no longer acceptable. **Journal of Applied Physiology**, v. 122, n. 4, p. 997-1002, 2017. doi: 10.1152/jappphysiol.01063.2016.

RABADÁN, M. et al. Physiological determinants of speciality of elite middle- and longdistance runners. **Journal of Sports Sciences**, v. 29, p. 975-982, 2011. doi: 10.1080/02640414.2011.571271.

RAKOBOWCHUK, M. et al. Muscle oxygenation responses to low-intensity steady rate concentric and eccentric cycling. **International Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 3, p. 173-180, 2018. doi: 10.1055/s-0043-121272.

RAMOS-LÓPEZ, D. et al. Sex differences in the prefrontal cortex and muscle oxygenation during exercise until exhaustion in endurance-trained individuals. **Experimental Physiology**, 2025. doi: 10.1113/EP093287.

RASCON, J. et al. Differences between males and females in determining exercise intensity. **International Journal of Exercise Science**, v. 13, n. 4, p. 1305-1316, 2020.

RITTER, O. et al. Cardiorespiratory and autonomic nervous system responses to prolonged eccentric cycling. **International Journal of Sports Medicine**, v. 40, n. 7, p. 453-461, 2019.

RODRÍGUEZ-BARBERO, S. et al. Sex-based differences at ventilatory thresholds in trained runners. **Applied Sciences**, v. 15, n. 16, p. 8843-8843, 2025.

ROEPSTORFF, C. et al. Sex differences in hormone-sensitive lipase expression, activity, and phosphorylation in skeletal muscle at rest and during exercise. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 291, n. 5, p. E1106-E1114, 2006. doi: 10.1152/ajpendo.00097.2006.

ROEPSTORFF, C. et al. Gender differences in substrate utilization during submaximal exercise in endurance-trained subjects. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 282, n. 2, p. E435–E447, 2002.

ROSSITER, H. B.; KOWALCHUK, J. M.; WHIPP, B. J. A test to establish maximum O_2 uptake despite no plateau in the O_2 uptake response to ramp incremental exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 3, p. 764-770, 2006. doi: 10.1152/jappphysiol.00932.2005.

SENDRA-PÉREZ, C. et al. Sex-related differences in profiles of muscle oxygen saturation of different muscles in trained cyclists during graded cycling exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 135, n. 5, p. 1092-1101, 2023. doi: 10.1152/jappphysiol.00420.2023.

SNYDER, K. L.; FARLEY, C. T. Energetically optimal stride frequency in running: the effects of incline and decline. **Journal of Experimental Biology**, v. 214, p. 2089-2095, 2011. doi: 10.1242/jeb.053157.

SPEECHLY, D. P.; TAYLOR, S. R.; ROGERS, G. G. Differences in ultra-endurance exercise in performance-matched male and female runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 28, n. 3, p. 359-365, 1996. doi: 10.1097/00005768-199603000-00011.

SPRIET, L.L. Regulation of substrate use during the marathon. **Sports Medicine**, v. 37, n. 4, p. 332-336, 2007.

STØA, E.M. et al. Factors influencing running velocity at lactate threshold in male and female runners at different levels of performance. **Frontiers in Physiology**, v. 11, p. 585267, 2020. doi: 10.3389/fphys.2020.585267

TILLER, N. B. et al. Do sex differences in physiology confer a female advantage in ultra-endurance sport? **Sports Medicine**, v. 51, n. 5, p. 895-915, 2021.

TOURON, J. et al. Aerobic metabolic adaptations in endurance eccentric exercise and training: from whole body to mitochondria. **Frontiers in Physiology**, v. 11, 2021. doi: 10.3389/fphys.2020.596351.

VENABLES, M. C.; ACHTEN, J.; JEUKENDRUP, A. E. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. **Journal of Applied Physiology**, v. 98, n. 1, p. 160–167, 2005.

VINCENT, H.K. et al. Cadence impact on cardiopulmonary, metabolic and biomechanical loading during downhill running. **Gait Posture**, v. 71, p. 186-191, 2019. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.04.022.

WAGENMAKERS, A. J. et al. Carbohydrate supplementation, glycogen depletion, and amino acid metabolism during exercise. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 260, n. 6, p. E883-E890, 1991. doi: 10.1249/00003677-199800260-00013

WHEATLEY, C. M. et al. Sex differences in cardiovascular function during submaximal exercise in humans. **SpringerPlus**, v. 3, n. 1, p. 445, 2014.

WILK, A. et al. Expression of oestrogen receptor α and β is higher in skeletal muscle of highly endurance-trained than of moderately active men. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 184, n. 2, p. 105-112, 2005. doi: 10.1111/j.1365-201X.2005.01433.x.