

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CASSIO DE MACEDO SALGUEIROSA

COMPARAÇÃO DA MÍNIMA DIFERENÇA DETECTÁVEL EM CORREDORAS

CURITIBA

2023

CASSIO DE MACEDO SALGUEIROSA

COMPARAÇÃO DA MÍNIMA DIFERENÇA DETECTÁVEL EM CORREDORAS

COMPARISON OF JUST NOTICEABLE DIFFERENCE IN RUNNERS

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para a obtenção do título de “Mestre em Educação Física” – Área de concentração: Exercício Físico e Esporte.

Orientadora: Maressa Priscila Krause Mocellin, Ph.D.

CURITIBA

2023



Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



CASSIO DE MACEDO SALGUEIROSA

COMPARAÇÃO DA MÍNIMA DIFERENÇA DETECTÁVEL EM CORREDORAS

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Educação Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Ciências Do Movimento Humano.

Data de aprovação: 01 de Junho de 2023

Dra. Maressa Priscila Krause Mocellin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Cintia De Lourdes Nahhas Rodacki, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Ricardo Correa Cunha, Doutorado - Universidade Positivo (Up)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 01/06/2023.

RESUMO

A psicofísica clássica considera ser possível uma quantificação da resposta ao estímulo, sendo definido como um continuum de estímulos detectáveis dentro de uma resposta humana pela sua percepção sensorial. O conceito de mínima diferença detectável “*just noticeable difference – JND*”, é aplicado ao exercício físico, por meio da mensuração da magnitude da diferença entre um estímulo sensorial percebido comparado ao estímulo padrão, podendo ser a diferença mensurada acima (JND-A) ou abaixo (JND-B). **Objetivo:** Descrever a Mínima Diferença Detectável de mulheres corredoras. **Método:** O presente estudo é constituído de 22 corredoras com experiência prévia de 2 anos. O desenho da pesquisa é composto por duas sessões experimentais, sendo que a primeira sessão experimental é designada de “Estimação” a fim de determinar os parâmetros fisiológicos, perceptuais, e nível de condicionamento cardiorrespiratório (baixa aptidão e alta aptidão), assim como determinar a intensidade padrão. Após 48 horas, a segunda sessão experimental, designada de “*Just Noticeable Difference*” – JND foi conduzida, sendo composta de quatro séries de corrida em esteira, com duração de cinco minutos cada, e intervalo de recuperação de cinco minutos entre séries. Esta sessão determinou a acuidade perceptual do indivíduo, ou também conhecida por magnitude total da mínima diferença detectável total (JND); bem como acima (JND-A) e abaixo (JND-B) do estímulo padrão de 70%VO₂max. **Resultados:** Participaram da pesquisa 22 mulheres com idade média de 36,6 anos ($\pm 8,29$); Massa Corporal média de 55,5kg ($\pm 5,45$); Estatura média de 1,62m ($\pm 6,25$); IMC médio de 20,2 ($\pm 5,01$). A descrição da acuidade perceptiva medida pela variação do consumo de oxigênio acima e abaixo do estímulo padrão (SS) em cada tentativa do JND apresenta: VO₂max JND-Acima média de 1,90 ($\pm 1,75$); 70%VO₂max JND-Acima média de 4,01 ($\pm 3,65$); VO₂max JND-Abaixo média de -0,21 ($\pm 1,55$); 70%VO₂max JND-Abaixo média de -0,49 ($\pm 3,31$). Em conclusão, conhecer a magnitude do JND pode ajudar treinadores e atletas no monitoramento de treinos e provas, no sentido que, ouvindo os sinais do corpo, o indivíduo consegue ajustar o ritmo durante a tarefa, especialmente as microvariações que dependem apenas das diferenças perceptíveis; desta forma, o JND é uma nova ferramenta, a qual deve ser utilizada para melhorar a *performance* de atletas de *Endurance*.

Palavras-Chave: mínima diferença detectável; percepção subjetiva do esforço; consumo máximo de oxigênio; corredoras.

ABSTRACT

Classical psychophysics considers it possible to quantify the response to the stimulus, being defined as a continuum of detectable stimuli within a human response by its sensory perception. The concept of minimal detectable difference “only perceptible difference – JND” is applied to physical exercise, by measuring the magnitude of the difference between a perceived sensory stimulus compared to the standard stimulus, which may be the difference measured above (JND-A) or below (JND-B). **Purpose:** To describe the Minimal Detectable Difference of women brokers. **Method:** The present study is made up of 22 runners with a previous experience of 2 years. The research design consists of two experimental sessions, and the first experimental session is called "Estimation" in order to determine the physiological, perceptual parameters, and level of cardiorespiratory conditioning (lowfitness and highfitness), as well as to determine the standard intensity. After 48 hours, a second experimental session, called “Just Noticeable Difference” – JND, was conducted, consisting of four sets of running on a treadmill, lasting five minutes each, with a five-minute recovery interval between sets. This session determined the individual's perceptual acuity, or also known as the total magnitude of the minimum total detectable difference (JND); as well as above (JND-A) and below (JND-B) the standard stimulus of 70%VO_{2max}. **Results:** The participants were 22 women with a mean age of 36,6 years (\pm 8,29); Average Body Mass of 55,5kg (\pm 5,45); Average height of 1,62m (\pm 6,25); Mean BMI 20,2 (\pm 5,01). The description of the perceptive acuity measured by the variation of the oxygen consumption above and below the standard stimulus (SS) in each attempt of the JND shows: VO_{2max} JND-Above average of 1,90 (\pm 1,75); 70%VO_{2max} JND-Above average of 4,01 (\pm 3,65); VO_{2max} JND-Below mean of -0,21 (\pm 1,55); 70%VO_{2max} JND-Below average of -0,49 (\pm 3,31). In conclusion, knowing the magnitude of the JND can help coaches and athletes in monitoring training and competitions, in the sense that, by listening to the body's signals, the individual is able to adjust the rhythm during the task, especially the microvariations that depend only on perceptible emotions, in this way, the JND is a new tool, which should be used to improve the performance of Endurance athletes.

Keywords: just noticeable difference; subjective perception of effort; maximum oxygen consumption; running.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	06
1.0 PROBLEMA.....	07
1.1 HIPÓTESE.....	07
1.2 OBJETIVO GERAL	07
1.2.1 Objetivos Específicos	07
2 REFERENCIAL TEÓRICO	08
2.1 SISTEMA NEUROMUSCULAR	08
2.2 PSICOFÍSICA.....	15
2.3 PERCEPÇÃO SUBJETIVA DO ESFORÇO.....	17
2.4 SISTEMAS ENERGÉTICOS.....	22
2.4.1 Consumo Máximo de Oxigênio (VO_2 máximo)	30
2.5 AUTORREGULAÇÃO.....	32
3 MÉTODO DE PESQUISA	34
3.1 TIPO DE ESTUDO	34
3.2 PARTICIPANTES	34
3.3 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS	34
3.4 ANÁLISE DOS DADOS	38
4 RESULTADOS.....	40
5 DISCUSSÃO.....	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A psicofísica clássica considera ser possível uma quantificação da resposta ao estímulo, sendo definido como um *continuum* de estímulos detectáveis dentro de uma resposta humana pela sua percepção sensorial (NOBLE E ROBERTSON, 1996). Esse *continuum* foi determinado para começar no estímulo limiar (o menor estímulo percebido), bem como o limiar terminal (o maior estímulo percebido).

Considerando os métodos psicofísicos clássicos, Haile *et al.* (2012), propuseram o conceito de mínima diferença detectável “*just noticeable difference – JND*” aplicado ao exercício físico; por meio da mensuração da magnitude da diferença entre um estímulo sensorial percebido comparado ao estímulo padrão. Essa diferença é mensurada acima ou abaixo do estímulo padrão, assim como a magnitude total pela soma de ambos. Desta forma, o estudo demonstrou que a magnitude dessas diferenças pode indicar a capacidade subjetiva de acuidade sensório-perceptiva, ou seja, quanto menor a magnitude dessas diferenças, maior será a precisão sensório-perceptual (HAILE *et al.*, 2012).

A aplicabilidade do conceito e método de mensuração ainda no meio esportivo é escassa de estudos. Haile *et al.*, (2012) conduziram sua investigação em adultos jovens ativos, não atletas, avaliados durante exercício em ciclo ergômetro. O experimento identificou a magnitude da mínima diferença detectável na percepção do esforço físico acima (JND-A) e abaixo (JND-B) de um estímulo padrão, baseando-se em parâmetros fisiológicos (limiar ventilatório e valor máximo do consumo de oxigênio atingido em teste – VO_{2pico}), físico (potência – Watts) e perceptuais (percepção subjetiva de esforço – OMNI-Cycle RPE Scale). Os autores concluíram que há diferenças significativas nas magnitudes do JND, sendo a magnitude abaixo do estímulo padrão estatisticamente maior do que a magnitude acima, tanto em parâmetros fisiológicos ($0,41 \pm 0,27$ e $0,20 \pm 0,13$), como valores perceptuais ($12,1 \pm 7,5$ e $6,3 \pm 4,6$) respectivamente. Com base nos resultados encontrados, os autores concluíram que a utilização do JND pode ser efetiva para avaliar a acuidade e a precisão perceptual de adultos ativos, aparentemente saudáveis (HAILE *et al.*, 2012).

Acredita-se, que esse procedimento pode, aprimorar o processo de autorregulação durante exercícios físicos. Todavia a aplicação desse conceito pode

apresentar maior relevância para populações atléticas, nas quais a precisão da dose da carga aplicada no evento competitivo pode determinar o sucesso esportivo.

A aplicabilidade prática deste conceito está relacionada ao ritmo “*pace*” ou estratégias adotadas pelo indivíduo nos treinos e provas. Assim sendo, controlar os limites fisiológicos é de suma importância para finalizar a tarefa na maior eficiência possível; desta forma, a autorregulação tem por finalidade de ajustar toda uma demanda fisiológica com base no esforço percebido pelo indivíduo, fazendo com que ele não exceda ou fique muito abaixo de sua capacidade na busca da meta estabelecida.

1.0 PROBLEMA

Qual a magnitude da acuidade perceptual mensurada pelo método JND acima e abaixo de um estímulo padrão em mulheres corredoras?

1.1 HIPÓTESE

- H0: Acredita-se que a magnitude de variação do JND acima e abaixo são similares;
- H1: acredita-se que a magnitude de variação do JND acima será menor do que abaixo do estímulo padrão. Hipótese é baseada no estudo de Haile *et al.* (2012).

1.2 OBJETIVO GERAL

Descrever a Mínima Diferença Detectável (JND) de mulheres corredoras treinadas.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Classificar o nível de condicionamento cardiorrespiratório de corredoras treinadas;
- Comparar a magnitude de variação acima e abaixo do estímulo padrão (70%VO_{2max});

- Comparar a influência dos níveis de aptidão cardiorrespiratória (alto e baixo) no JND.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMA NEUROMUSCULAR

O sistema nervoso é um órgão de alta complexidade anatômica: opaco ao que está em seu interior, convoluto e, portanto, cheio de saliências e reentrâncias que escondem umas as outras; ele é a base para todas as comunicações do organismo, é o meio pelo qual o corpo humano recebe, processa, integra e responde as informações, mais especificamente, aquelas relacionadas aos ambientes interno e externo. Este sistema deverá processar e integrar essas informações com elevado grau de especificidade (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; LENT, 2018).

Ademais, é responsável pela percepção consciente, memória, sensação, pensamento, percepção, reflexos subconscientes e movimentos corporais, ou seja, funciona como uma rede primária de comunicação do corpo que detecta distúrbios nos ambientes interno e externo e dispara mudanças precisas e a longo prazo para mediar respostas mais eficazes; além de desempenhar um papel essencial na comunicação rápida e na coordenação das funções fisiológicas, durante e após o exercício (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Sua divisão consiste em duas porções principais: o sistema nervoso central (SNC), o qual é definido como o conjunto dos componentes do sistema nervoso contidos em caixas ósseas (crânio e coluna vertebral), e o sistema nervoso periférico (SNP), o qual apresenta elementos distribuídos por todo o organismo, e, portanto, divide-se em somático e visceral (LENT, 2022).

Ainda, esses são estudados pela descrição de suas partes mais importantes, bem como pela compreensão da sua morfogênese durante o desenvolvimento embrionário.

A parte central do sistema nervoso consiste no encéfalo e na medula espinal, e tem mais de 86 bilhões de neurônios processando e administrando funções fisiológicas diferentes, como por exemplo: percepção de dor, funções cerebrais, controle de temperatura, incluindo a ativação ou a estimulação dos músculos esqueléticos para se contraírem e causarem movimento. O encéfalo é protegido pelo crânio, e a medula espinal, pelas vértebras. Tanto a medula espinal quanto o encéfalo

estão banhados pelo líquido cerebrospinal (LCS), que protege os tecidos neurais sensíveis e fornece a eles um ambiente interno constante (LENT, 2022).

O encéfalo consiste em mais de 100 bilhões de neurônios que são organizados regionalmente para realizar funções específicas. Este é ainda dividido em hemisfério direito e esquerdo, os quais estão conectados por um corpo caloso. Esses hemisférios estão recobertos por uma camada fina de matéria cinzenta – córtex cerebral – e este é sub-dividido em 4 regiões chamadas de lobos: *occipital*, *temporal*, *parietal* e *o frontal* (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Todos apresentam funções diferentes e específicas, cada qual controlada por uma das regiões, ressaltando a função motora (movimentos conscientes) a qual caracteriza o exercício; sendo ela iniciada no **córtex motor**, localizado na região do lobo frontal.

Outra região muito importante do encéfalo é o hipotálamo, uma das estruturas regulatórias do encéfalo, a qual influencia em uma variedade de funções fisiológicas envolvidas com o exercício; incluindo sede, temperatura corporal, pressão sanguínea, equilíbrio hídrico e função endócrina. Ele é chamado de “centro homeostático”. O hipotálamo é vital como centro de transmissão para a sinalização neuronal que chega (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Já a medula espinal é um feixe tubular de nervos que integra a parte central do sistema nervoso, originando-se do encéfalo, ela é revestida e protegida pelas vértebras; cada nível da coluna vertebral tem nervos que saem para diferentes órgãos-alvo com diferentes funções.

A informação é passada dos centros cerebrais superiores para os tecidos-alvo periféricos, como os músculos. Além disso, circuitos locais de um nível particular da medula espinal para a periferia e de volta para a medula também podem operar nas atividades motoras e sensitivas, por exemplo o reflexo ao calor.

A medula espinal também é o local das ações reflexas - resposta involuntária a um estímulo. Tipicamente, um reflexo envolve a estimulação de um neurônio sensitivo, que leva informação para a medula espinal. Nela o neurônio sensorial se conecta com um **neurônio eferente**, que, por sua vez, causa uma resposta na periferia (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Os reflexos podem ser simples ou complexos. O reflexo mais simples é o monossináptico, também conhecido como reflexo clássico de estiramento, como por

exemplo o reflexo patelar; estes diferem de outros reflexos pelo fato de não envolverem conexões com interneurônios.

A maioria dos reflexos possui uma conexão com interneurônio entre os sistemas aferente e eferente para modificação potencial do reflexo na medula espinhal. Os seres humanos dependem dos reflexos, não só nas atividades diárias, como também durante eventos esportivos, ou mesmo durante o sono, para responder ao ambiente sem o processamento sensorial consciente (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

De mais a mais, temos o SNP o qual é formado por neurônios e gânglios (grupos de corpos de células nervosas). Esses neurônios se estendem para fora da parte central do sistema nervoso até a periferia para interagir com outros tecidos, como músculos, órgãos e glândulas. Ainda, a parte periférica do sistema nervoso ramifica-se nas divisões somático e autônomo.

Neste contexto, o SNP somático exerce papel fundamental, pois dele se ramificam todos os nervos espinhais, os quais inervam a pele, as articulações, os músculos que estão sob o controle voluntário (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017).

A divisão **somática** do sistema nervoso é formada por neurônios sensitivos e neurônios motores. Os neurônios sensitivos transmitem aferências de receptores para os sentidos somáticos como: sensibilidades táteis, térmicas, dolorosas e proprioceptivas; e para os sentidos especiais como: visão, audição, gustação, olfato e equilíbrio. Todos esses sentidos são, de modo geral, percebidos conscientemente.

Por outro lado, os **neurônios motores somáticos** inervam os músculos esqueléticos – os efetores da divisão somática do sistema nervoso – e geram movimentos reflexos e voluntários. Quando um neurônio motor somático estimula um músculo, ele se contrai.

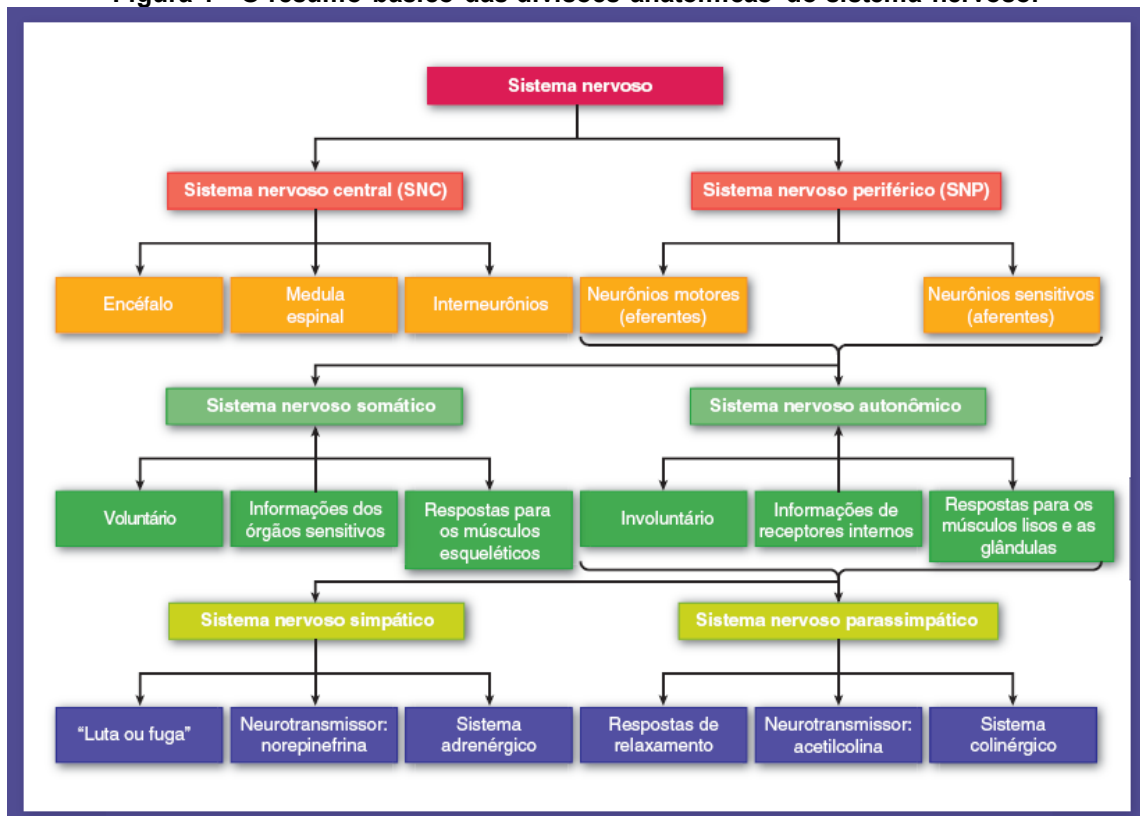
Se os neurônios motores somáticos interrompem a estimulação muscular, o resultado é um músculo paralisado e sem tônus. Embora o processo de respiração não seja consciente em sua maior parte, os músculos responsáveis pelos movimentos ventilatórios também são músculos esqueléticos controlados por neurônios motores somáticos (TORTORA, 2016).

No organismo, todos os eventos são captados por órgãos sensoriais específicos, que atuam como mensageiros do SNC, possibilitando o gerenciamento

das estruturas e de todas as mensagens e respostas necessárias para a coordenação das ações musculares voluntárias.

Além disso, o sistema nervoso central autônomo (SNA) pode ser separado anatomicamente e funcionalmente em duas divisões importantes: (1) a divisão simpática e (2) a divisão parassimpática (FIGURA 1). Os órgãos recebem um tipo de inervação, seja ela simpática ou parassimpática; via de regra o SNA simpático tende a estimular um órgão, enquanto que o SNA parassimpático tende a inibi-lo. Dessa forma, a atividade de um órgão em particular poderá ser regulada de acordo com a proporção de impulsos simpáticos/parassimpáticos nos tecidos, ou seja, o SNA poderá regular as atividades das ações musculares voluntárias e involuntárias).

Figura 1 - O resumo básico das divisões anatômicas do sistema nervoso.



Fonte: POWERS, 2022.

Nessa perspectiva, sabemos que todas as reações orgânicas necessárias para manter a integridade do organismo são coordenadas por intermédio de um sistema de controle biológico integrado, que envolve uma série de componentes os quais operam de modo interconectado e realizam ajustes para manter a funcionalidade do corpo humano em parâmetros normais (POWERS; HOLLEY, 2016).

Os componentes gerais do sistema de controle são: (1) um receptor aferente, (2) um centro de integração e (3) um mecanismo efetor. O sinal que inicia o trabalho do sistema de controle é um estímulo - alterações detectáveis no ambiente.

Neste caso, os órgãos sensoriais identificam a alteração e enviam um sinal de alerta ao centro de integração, o qual, vai mensurar a magnitude do estímulo e enviar uma resposta adequada para o componente efetor, que será responsável por realizar a correção do distúrbio de modo que as alterações do ambiente interno sejam ajustadas. Essa reação integrada leva a uma diminuição significativa do estímulo original que disparou o alerta do sistema de controle.

Tal procedimento, é denominado como *feedback* negativo e possibilita que as funções corporais se mantenham em equilíbrio constante (BEAR, 2017).

As unidades funcionais do SNC, que reagem aos estímulos físicos e as alterações químicas do seu ambiente, são conhecidas como neurônios, células específicas que integram e regulam grande parte das funções vitais do organismo. A porção motora somática do sistema nervoso periférico é responsável por realizar a transmissão das mensagens neurais da medula espinhal até as fibras musculares esqueléticas. A musculatura esquelética é innervada por células denominadas de motoneurônios, as quais, o corpo celular está inserido na medula espinhal. O axônio de cada motoneurônio se estende até o músculo, dividindo-se em ramos colaterais que se innervam nas fibras musculares, dando origem a uma unidade motora específica. Os motoneurônios, similarmente ao tecido contrátil, são unidades extremamente responsivas aos estímulos neurais e, quando solicitados, proporcionam o recrutamento de todas as fibras musculares da unidade motora em que estão inseridos (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Em relação aos padrões de movimento, as vias aferentes envolvem os receptores que fornecem informações ao SNC sobre o posicionamento corporal. Neste caso, os receptores são conhecidos como proprioceptores ou receptores cinestésicos e, incluem: Os fusos musculares, os órgãos tendinosos de golgi (OTG) e os receptores das articulações e dos tendões. Os principais proprioceptores envolvidos em correções do padrão de movimento são as terminações nervosas livres, os OTG e os corpúsculos de pacini.

A musculatura esquelética, também conta com quimiorreceptores, que são sensíveis a alterações do ambiente químico que circunda o músculo e enviam as

informações necessárias ao SNC, especialmente em relação a taxa metabólica referente a atividade muscular.

Por sua vez, os reflexos musculares fornecem ao corpo um meio inconsciente de reagir a uma gama de estímulos. O arco reflexo, é a via nervosa do receptor ao SNC e do SNC novamente ao órgão efetor através da via muscular, que age como um mecanismo protetor, especialmente em situações espontâneas de defesa, necessárias para preservar a integridade do organismo (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017; MCARDLE; KATCH; KATCH, 2011).

As respostas adaptativas neurofisiológicas do sistema muscular caracterizam-se, basicamente, pela relação entre os estímulos provenientes do sistema nervoso central e o recrutamento efetivo das unidades motoras, conduzindo assim, a um aprimoramento funcional do gesto motor ou padrão correto do movimento desejado (FOLLAND *et al.*, 2007).

Via de regra, no treinamento, o processo adaptativo ocorre da mesma forma, o SNC se adapta as necessidades da demanda de treinamento, realizando uma ativação coordenada dos grupamentos musculares, aprimorando o gesto motor (KNUTTGEN E KOMI, 2003).

À posteriori, um ciclo de treinamento sistematizado, pode gerar um aumento nas conexões nervosas do sistema nervoso central, e, como consequência, a *performance* do indivíduo é gradativamente aumentada em decorrências dessas adaptações, as quais irão contribuir no aumento ou melhora das variáveis fisiológicas, como por exemplo: o limiar de lactato, o estado de equilíbrio do lactato máximo, o volume máximo de oxigênio, entre outros.

Neste sentido, gerar uma capacidade de resistência no organismo deve ser um dos principais objetivos a serem alcançados pelo treinamento sistematizado. Ora pois, quando se otimiza o *drive* neural, ou seja, quando há uma melhora na combinação entre o recrutamento de unidades motoras, aumenta-se a taxa de codificação das unidades motoras ativas dentro do músculo, bem como aumenta-se a velocidade dos disparos das unidades motoras em maiores quantidades, por consequência, otimiza-se o processo de transmissão entre sistema nervoso central e periférico. Isto ocorre devido a maior excitabilidade dos neurônios e a sincronização das unidades motoras, que passam a atuar de forma mais rápida aumentando a taxa de geração de força muscular (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Por fim, compreende-se, que a sistema musculoesquelético, bem como os órgãos e sistemas corporais trabalham de forma integrada e ajustam-se as demandas que lhe são impostas respondendo a estímulos variados, adaptando-se para manter um equilíbrio funcional. Esta adaptação do sistema musculoesquelético, especificamente, ocorre tanto no âmbito metabólico e morfológico, quanto neurofisiológico, podendo variar as respostas ou os níveis de adaptação de acordo com a sistematização e do tipo de programa de treinamento ou da rotina de exercícios realizados, assim como, as características individuais e ou genéticas do indivíduo que à pratica (VELHO, 2021).

2.2 PSICOFÍSICA

A psicofísica é a ciência que investiga a relação entre sensação e estímulo medidos através da quantidade de cada fator (NOBLE & ROBERTSON, 1996).

Contudo, antes de mergulhar na discussão do esforço percebido como um campo de estudo independente, é crucial analisar informações básicas sobre os princípios-chave da psicofísica.

Uma dimensão inicial da psicofísica concentrou-se no desenvolvimento de vários sistemas métricos capazes de medir o que um indivíduo sente. Em geral, muitas dessas escalas de classificação foram baseadas na premissa de que a maioria dos indivíduos tem o potencial de expressar eventos básicos da vida usando números (KRAUSE, 2004).

Anteriormente aos estudos de Borg, Weber e Fechner já formavam a base da psicofísica. Cada qual com sua linha de pesquisa, as quais um estava interessado no limiar de discriminação e estímulos constantes, enquanto outro estava interessado na detecção e identificação dos processos de percepção sensorial, Weber e Fechner, respectivamente.

A fundamentação que consolidou a psicofísica como uma área da ciência se deu por Gustav Theodor Fechner (1860), o qual, demonstrou em “Elemente der Psychophysik”, que estímulos podem induzir mudanças fisiológicas e emocionais. Fechner tinha por objetivo central examinar unidades físicas mensuráveis (por exemplo: centímetros, graus e distância) e estabelecer a relação existente entre o estímulo e a sensação originada por ele.

Décadas depois Borg relatou descobertas iniciais sobre a relação entre capacidade de trabalho e fadiga iniciando uma base de estudos da percepção do esforço durante o exercício dinâmico. Em seguida, várias investigações sobre o esforço percebido durante o exercício dinâmico foram conduzidas por Borg durante seu trabalho na Universidade de Pittsburgh.

A lógica por trás desses primeiros estudos foi baseada em uma estrutura teórica proposta por ele, a qual um dos argumentos iniciais era que a percepção do trabalho físico e mental deveria integrar os resultados da percepção, desempenho e esforço fisiológico contínuo (BORG, 1998).

Paralelamente, Noble e Robertson, 1996, realizavam experimentos para a compreensão dos limiares sensoriais, dentre eles o limiar diferencial, que visa identificar a diferença necessária entre dois estímulos para que o indivíduo seja capaz de perceber uma mudança.

Essa sensibilidade sensorial está relacionada ao limiar diferencial, sendo ela a mínima quantidade de energia necessária para que ocorra uma experiência consciente de alteração na intensidade do estímulo, seja para mais ou para menos (FECHNER, 1860). Sua utilidade prática está em compreender a maneira como os receptores sensoriais do corpo humano reagem aos estímulos em diferentes faixas de intensidades, bem como em comparações para estabelecer as diferenças na sensação em relação à estímulos inferiores e superiores (TREUTWEIN, 1995; EHRENSTEIN E EHRENSTEIN, 1999).

De mais a mais, Borg ainda reportou que os seguintes fatores fisiológicos também podem influenciar a percepção subjetiva do esforço: frequência cardíaca, consumo de oxigênio, concentração de lactato no sangue e no músculo, ventilação, frequência respiratória, catecolaminas, açúcar no sangue e temperatura dos tecidos. Assim, motivação, estado emocional e tipo de personalidade foram os principais fatores psicológicos que Borg considerou que poderiam mediar o esforço percebido. Em resumo, a interação de todos esses fatores parece influenciar a percepção do esforço durante o exercício dinâmico (BORG, 1998).

Nas últimas décadas, a maioria dos estudos psicofísicos buscou analisar o quão sensível é o sistema sensorial, ou seja, compreender o limite entre a percepção ou não do estímulo físico (FARELL e PELLI, 1999).

A aplicação do conhecimento relacionado as funções sensoriais e cerebrais direcionou a psicofísica para testes cada vez mais detalhados e eficazes, sendo a significância perceptual hipotetizada para um determinado mecanismo ou área cerebral, a qual pode ser estabelecida com exatidão através de avaliações por métodos psicofísicos (EHRENSTEIN E SCHRAUS, 1998).

Neste sentido, a ciência pode vir a maximizar o conhecimento sobre os aspectos relacionados a acuidade perceptual de atletas, especialmente através da utilização do conceito psicofísico denominado “*Just Noticeable Difference – JND*”, considerado um sinônimo do limiar da diferença proposto por Fechner; desta forma, o emprego deste conceito em testes específicos pode ser útil para determinar a mínima diferença detectável. Através da percepção do esforço, a acuidade pode ser avaliada, utilizando-se, de um estímulo comparativo acima e abaixo de um estímulo denominado como padrão.

Este método de ajuste permite a identificação do erro médio entre o estímulo padrão e ao erro aparentemente igual ao estímulo de comparação, determinando pela sensação o valor da mínima diferença detectável em relação ao estímulo (NOBLE e ROBERTSON, 1996; HAILE *et al.*, 2012).

2.3 PERCEPÇÃO SUBJETIVA DO ESFORÇO

Inicialmente, o psicólogo Gunnar Borg usou um método simples de reduzir pela metade ou duplicar categorias numéricas ao longo de uma escala de razão para explorar a relação estímulo-resposta (PAGEAUX, 2016). Além disso, foram realizados experimentos envolvendo exercícios de longo prazo para investigar mudanças na percepção de esforço quando uma grande massa muscular está envolvida por um período prolongado.

Borg em 1973, investigou a classificação do esforço percebido, obtido a partir da escala CR10, em indivíduos aptos ao caminhar ou correr em uma esteira em diferentes velocidades. Os resultados demonstraram que quando a intensidade do exercício mudou de uma velocidade de 0 a 4,8 km/h, o esforço percebido não mudou significativamente. Todavia, em velocidades superiores a 4,8 km/h, a percepção de esforço aumentou muito, apresentando uma resposta curvilínea (BORG, 1998).

Claramente, Borg concentrou seus esforços no desenvolvimento de um sistema métrico que pudesse ser usado para avaliar o esforço percebido durante o trabalho/exercício físico.

A primeira escala de Percepção Subjetiva do Esforço (PSE) foi desenvolvida em 1962 (BUCKWORTH E DISHMAN, 2002; BORG, 1998). A escala de RPE de Borg, 15-grau ou 6-20, foi construída no final da década de 1960 e depois modificada em 1980 (BORG, 1998). A última versão da escala Borg 6-20 RPE (década de 1980) inclui um intervalo numérico de 6 a 20, juntamente com nove descritores verbais que abrangem o continuum de esforço de “6”, “Nenhum esforço” e terminando com “Esforço máximo”, que corresponde a uma classificação numérica de “20” (BORG, 1998).

Segundo Borg, a justificativa para a escolha do “6” como ponto de partida na escala, é porque quando multiplicado por 10, corresponde a uma frequência cardíaca típica de repouso. Já os outros números na escala 6-20 RPE também podem ser multiplicados por 10, fornecendo a frequência cardíaca equivalente esperada para homens normais, saudáveis, de meia-idade ou em toda a gama de intensidades de exercício (BORG, 1998).

A validação da escala Borg 6-20 foi realizada comparando a PSE com uma variável fisiológica, inicialmente a frequência cardíaca e posteriormente com o consumo de oxigênio. O processo de validação concorrente foi realizado durante o exercício em ciclo ergômetro e, posteriormente, durante a corrida em esteira. Os coeficientes de correlação entre PSE e frequência cardíaca foram relatados em torno de 0,85 para ambas as modalidades de exercício (BORG, 1998).

Outra, Borg desenvolveu e validou uma segunda escala, a escala categoria-razão, também conhecida como escala CR10. Esta poderia ser usada para avaliar a relação da percepção subjetiva do esforço com variáveis fisiológicas que aumentam de forma não linear durante o exercício progressivamente incrementado, ou seja, ventilação e lactato sanguíneo. Essa escala utiliza princípios de razão, com ponto zero absoluto, e evita um efeito teto nas maiores intensidades de exercício, o que tornou a escala mais sensivelmente graduada (BORG, 1998).

Nos anos seguintes, outros experimentos com foco em julgamentos perceptivos de esforço em um ciclo ergômetro foram conduzidos, mas os métodos de dimensionamento ainda estavam sendo refinados.

A visão contemporânea dos fatores que influenciam o esforço percebido durante o exercício dinâmico é descrita pelo “modelo explicativo global” do esforço percebido, o qual fornece uma explicação abrangente dos sinais ou estímulos externos e internos que moldam o esforço percebido.

O Modelo Explicativo Global assume que as classificações de esforço percebido durante o exercício resultam da integração complexa de mediadores de sinais fisiológicos, ou seja, consumo de oxigênio, acidose metabólica e temperatura da pele; fatores psicológicos, ou seja, ansiedade, motivação, aversão à tarefa e experiência de exercício; ambiente de desempenho, ou seja, estratégia competitiva e história; e sintomas de esforço classificados como específicos, isto é, sudorese, temperatura da pele e dor; e inespecíficos, sendo, fadiga geral e estado clínico (ROBERTSON E NOBLE, 1997; NOBLE E ROBERTSON, 1996).

As respostas fisiológicas durante o exercício, como aumentos no consumo de oxigênio, produzirão uma tensão muscular esquelética correspondente que exigirá um aumento nos comandos centrais de respostas do córtex motor.

Por sua vez, comandos eferentes centrais são transmitidos ao córtex sensorial, que por interação com aferentes periféricos irá gerar sinais perceptivos de esforço (ROBERTSON, 2001). Os filtros de referência perceptiva parecem ser o passo antecedente a uma tomada de decisão e classifique seu esforço percebido. Estes acumulam informações sobre a experiência anterior do indivíduo afinando a resposta perceptiva, de acordo com a magnitude do estímulo.

Portanto, é provável que a experiência anterior tenha um grande efeito na capacidade do indivíduo de avaliar seu esforço percebido. Além disso, esse processo complexo influencia o estilo perceptivo do indivíduo (ROBERTSON, 2001).

Posto isso, Robertson *et al.* (2001), desenvolveram o sistema OMNI, o qual tinha por objetivo aplicar a percepção do esforço no exercício propriamente dito, com características específicas a prática de atividades físicas.

Essa versão foi incorporada a uma série de métricas de escala perceptual recém-desenvolvidas. O sistema OMNI (total) significa que as escalas de PSE foram desenvolvidas com o objetivo de serem aplicadas a todos os tipos de modos de exercício, características individuais ou configurações de atividade física (ROBERTSON, 2004).

A escala inicial OMNI RPE foi desenvolvida na tentativa de melhorar a classificação da percepção de esforço de crianças durante o exercício aeróbico. Robertson e seus colaboradores estavam preocupados com a aplicabilidade das escalas de RPE desenvolvidas anteriormente nesta população, porque as crianças tinham muitas dificuldades no entendimento das escalas, levando a uma validade muito questionável dessas métricas.

Portanto, a escala OMNI RPE foi criada para melhorar as limitações metodológicas e semânticas encontradas quando as crianças avaliam sua percepção de esforço usando escalas projetadas para adultos (ROBERTSON *et al.*, 2000; ROBERTSON, 2004).

Os procedimentos por trás do desenvolvimento das novas escalas OMNI RPE consistiram em quatro etapas: primeiramente, foram desenhados pictóricos por um artista mostrando crianças e adultos de ambos os sexos realizando diferentes exercícios com diferentes graus de esforço. As fotos foram feitas em tons de cinza sobre fundo branco para proporcionar uma ampla generalização sobre os tons de pele humana. As modalidades de exercício selecionadas foram ciclismo, caminhada/corrída, *step* e levantamento de peso; a etapa subsequente consistiu em mostrar essas imagens específicas de modo-exercício de crianças para meninos e meninas, da mesma forma que fotos de adultos se exercitando foram mostradas para homens e mulheres adultos clinicamente normais.

Os sujeitos foram solicitados a fornecer descritores verbais associados ao esforço percebido em cada figura: a terceira etapa incluiu uma análise diferencial semântica desses descritores verbais, em que seis descritores foram escolhidos separadamente para crianças e para adultos. A palavra raiz mais comum para crianças foi “cansado” (*tired*), enquanto os adultos usaram as palavras “fácil” (*easy*) e “difícil” (*hard*) para definir o nível de esforço representado nas ilustrações.

Finalmente, essas seis pistas verbais foram colocadas equidistantes ao longo de uma estreita faixa numérica de 0 a 10. Da mesma forma, os quatro descritores pictóricos foram colocados equidistantes na escala, e os descritores verbais foram colocados no zero como ponto de partida. Além disso, números, figuras e descritores verbais foram alinhados ao longo de um formato graduado, fornecendo evidências visuais adicionais de aumento da intensidade do exercício e, portanto, da percepção do esforço (ROBERTSON *et al.*, 2000; ROBERTSON, 2004).

Robertson e seus colegas, ainda desenvolveram modelos alternativos de escalas, tanto para crianças quanto para adultos, sendo elas: a escala OMNI para exercícios contra resistidos; a escala para OMNI para ciclismo; e a escala OMNI para corrida e caminhada.

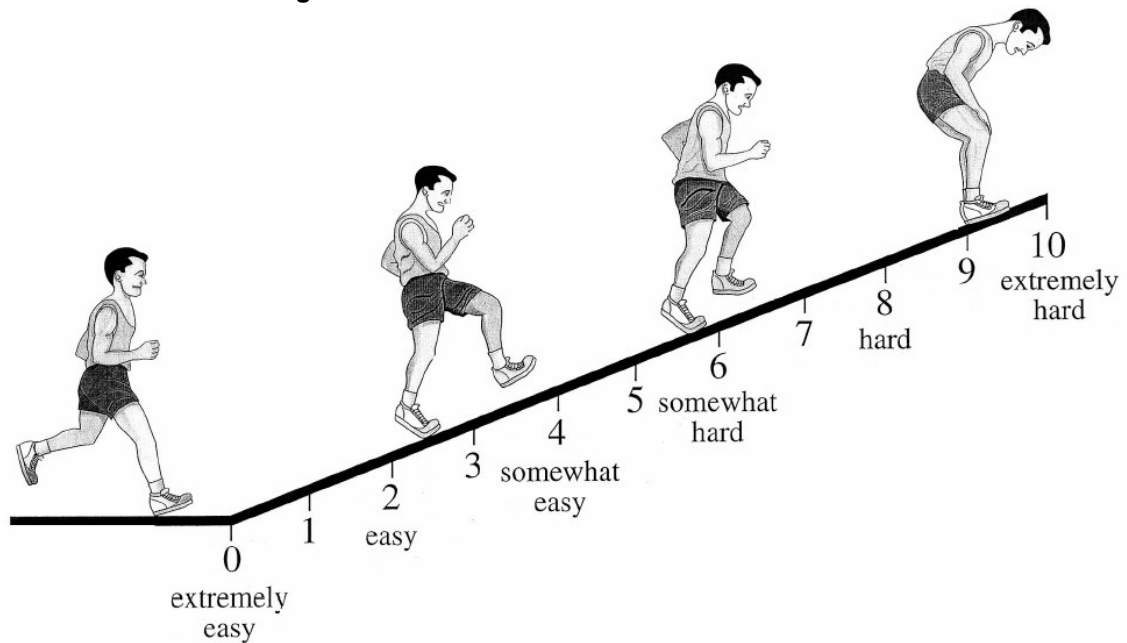
A validação da OMNI para corrida e caminhada, foi conduzida por UTTER *et al.*, (2004). A validade concorrente e deste construto foi estabelecida usando um desenho experimental de estimativa perceptual transversal consistindo de homens clinicamente normais recreativamente ativos (n = 33) e mulheres (n=34).

Os sujeitos foram submetidos a um teste de exercício graduado máximo (GXT) em esteira rolante, utilizando o protocolo de Bruce, no qual realizaram um teste máximo com incremento de carga até a fadiga voluntária (UTTER *et al.*, 2004).

A validade concorrente foi determinada examinando a relação entre as variáveis de critério, ou seja, estímulo e resposta. A classificação de esforço percebido para o corpo geral foi a variável concorrente (dependente), enquanto o consumo de oxigênio (O_2), consumo máximo relativo de oxigênio ($\%O_{2max}$), ventilação pulmonar (VE) frequência respiratória (FR), taxa de troca respiratória (RER) e as respostas da frequência cardíaca (FC) foram o critério (independentes). Todas as medidas foram obtidas no mesmo ponto de tempo enquanto os sujeitos realizaram um teste de esteira graduada. A validade do construto foi determinada a partir da comparação entre os RPE obtidos da escala Borg 6-20 (critério métrico – variável independente) com os RPE da escala OMNI - Caminhada/Corrida (métrica condicional – variável dependente). A apresentação das escalas de classificação de esforço percebido foi realizada em ordem contrabalançada para todos os sujeitos.

Em conclusão, esses achados forneceram validação concorrente e de construção da escala OMNI - Caminhada/Corrida para o corpo geral em indivíduos jovens recreativamente ativos do sexo masculino e feminino durante a realização de um teste de exercício gradual em esteira, deixando a recomendação que a escala possa ser usada para prescrever e monitorar o treinamento físico, bem como para avaliar as mudanças no condicionamento físico (FIGURA 2) (UTTER *et al.*, 2004).

Figura 2 - Escala OMNI-PSE Caminhada/Corrida



Fonte: ROBERTSON, 2004.

Na corrida, especialmente, a percepção do atleta quanto ao esforço é fundamental e, deve estar alinhada com uma boa estratégia de ritmo (BILLAT, 2006). Assim sendo, destaca-se, que o treinamento perceptual pode contribuir para a realização de ajustes eficientes no ritmo da corrida, objetivando o controle da intensidade ideal para manter o rendimento máximo no esporte.

2.4 SISTEMAS ENERGÉTICOS

A energia é o potencial para a realização de trabalho ou produção de força. Portanto, a disponibilidade de energia pode ser vista como um potencial pré-requisito para a realização de trabalho ou produção de força. A ATP (Adenosina Trifosfato) é a única fonte de energia que pode ser usada de forma direta para a contração muscular e todos os outros processos que requerem energia na célula, como o transporte ativo através das membranas e a síntese de macromoléculas a partir de seus precursores.

Nas fibras musculares, a energia proveniente da hidrólise da ATP pela miosina ATPase ativa sítios específicos nos elementos contráteis, causando o encurtamento da fibra muscular.

A concentração de ATP em repouso no músculo esquelético é de aproximadamente 4-5 mmol/kg de peso úmido de músculo, que somente pode fornecer energia suficiente para sustentar alguns segundos de exercício intenso. Como a depleção de ATP seria fatal para a célula, a concentração de ATP no sarcoplasma deve ser mantida por ressíntese a partir da ADP (Adenosina Difosfato), essencialmente na mesma taxa em que se dá a quebra de ATP (JEUKENDRUP; GLESON, 2022).

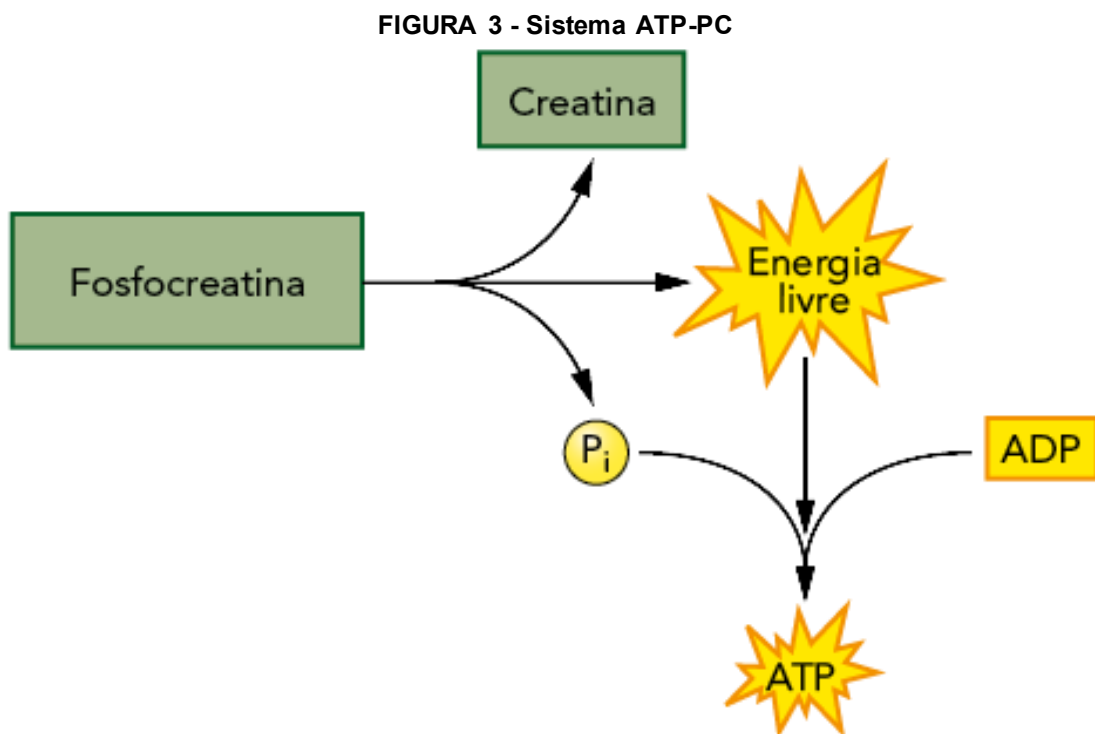
Três mecanismos estão envolvidos na ressíntese de ATP para geração de força muscular: (1) hidrólise do Fosfato de Creatina (PCr); (2) glicólise, que envolve metabolismo de glicose-6-fosfato (G6P) derivada do glicogênio muscular ou glicose trazida pelo sangue, e produz ATP por meio de reações de fosforilação ao nível do substrato; e (3) fosforilação oxidativa, em que os produtos do metabolismo de carboidrato, gordura, proteína e álcool entram no ciclo do ácido tricarboxílico (TCA) na mitocôndria e são oxidados a dióxido de carbono e água, que fornece energia para a síntese de ATP.

Esses mecanismos regeneram ATP a taxas suficientes para prevenir uma queda significativa da concentração intramuscular de ATP. A quebra de PCr e a glicólise são mecanismos **anaeróbios** que ocorrem no sarcoplasma. Cada um usa apenas um substrato específico para produção de energia: PCr e G6P, respectivamente. Os processos **aeróbios** na mitocôndria usam vários substratos diferentes, e o sarcoplasma contém diversas enzimas capazes de converter carboidratos, gorduras e proteínas em substrato utilizável, principalmente um grupo acetil com dois carbonos ligado à acetil-CoA, que pode ser completamente oxidado na mitocôndria com resultante produção de ATP (JEUKENDRUP; GLESON, 2022).

O primeiro e mais simples dos sistemas de energia é o sistema ATP-PCr, essa rota simples envolve a doação de um Pi da PCr para o ADP, para formação de ATP. Ao contrário do que ocorre com o ATP livremente disponível na célula, a energia liberada pela ruptura de PCr (também chamada de Fosfato de Creatina) não é utilizada de forma direta na obtenção de trabalho celular, ao invés disso, essa energia serve para regenerar o ATP, a fim de que seja mantida uma reserva relativamente constante em condições de repouso.

A liberação de energia pela PCr é catalisada pela enzima *creatina quinase*, que atua na PCr para separar Pi da creatina. Então, a energia liberada pode ser

utilizada na adição de uma molécula de P_i a uma molécula de ADP, formando ATP. Com a liberação de energia do ATP pela separação do grupo fosfato, as células podem evitar a depleção do ATP mediante a quebra na molécula de PCr, fornecendo energia e P_i para a reforma do ATP a partir do ADP (FIGURA 3). O sistema ATP-PCr tem capacidade limitada de geração de ATP para energia, durando apenas poucos segundos (COSTILL; KENNEY; WILMORE, 2020).



Fonte: POWERS, 2022.

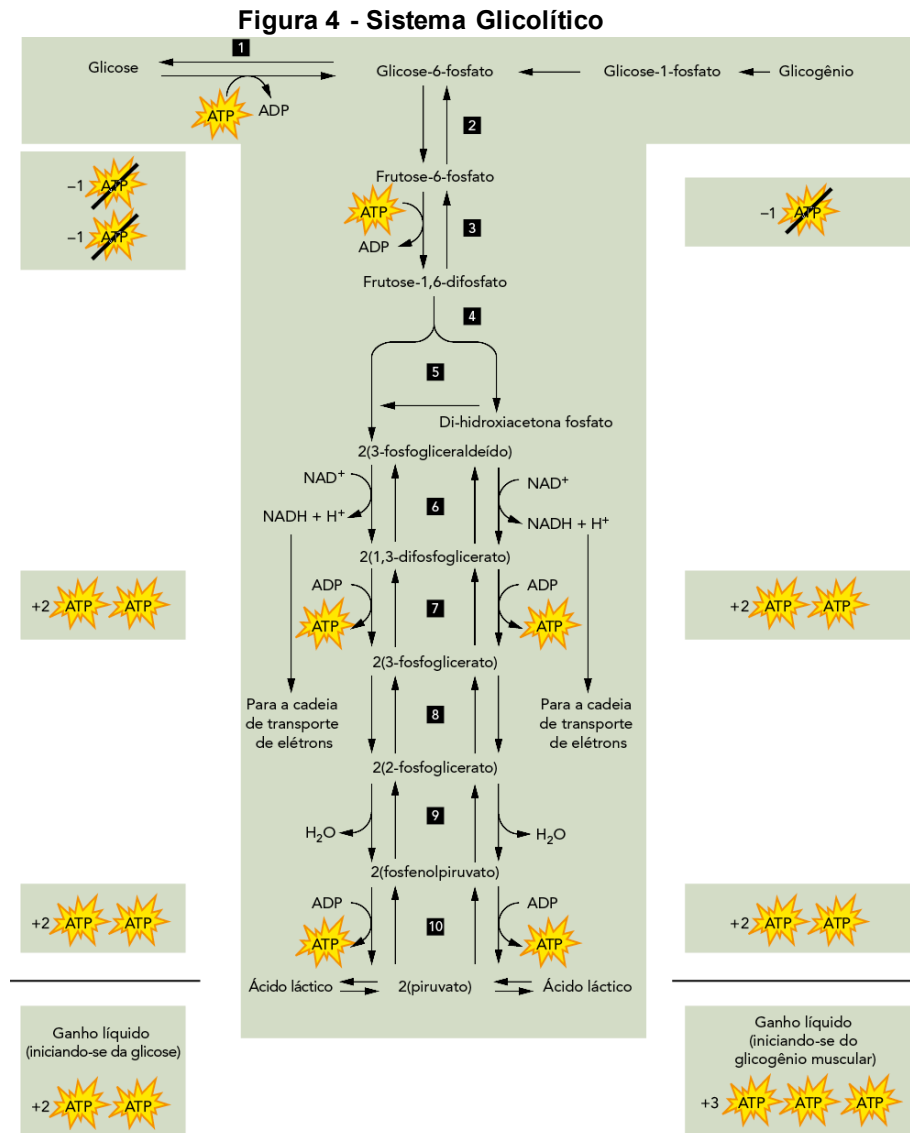
Em segundo momento, a predominância passa a ser do sistema de produção de ATP que envolve a liberação de energia por meio do fracionamento (“lise”) da glicose. Esse sistema é denominado sistema glicolítico porque envolve glicólise, que é o fracionamento da glicose por sua passagem por uma via que envolve uma sequência de enzimas glicolíticas. A glicólise é uma rota mais complexa do que o sistema ATP-PCr, ela representa cerca de 99% de todos os açúcares circulantes no sangue. O glicogênio é sintetizado a partir da glicose por um processo denominado glicogênese e é armazenado no fígado ou no músculo, onde permanece até se fazer necessário. Nesse ponto, o glicogênio é fracionado até glicose-1-fosfato, que ingressa na via da glicólise em um processo chamado de glicogenólise.

Antes que seja possível utilizar glicose ou glicogênio para gerar energia, essa substância precisa ser convertida em um composto chamado de glicose-6-fosfato. Ainda que o objetivo da glicólise seja liberar ATP, a conversão de uma molécula de glicose em glicose-6-fosfato exige o gasto ou ingresso de uma molécula de ATP. Nesta conversão do glicogênio, a glicose-6-fosfato é formada a partir da glicose-1-fosfato sem esse consumo de energia. Tecnicamente, a glicólise inicia-se assim que ocorre a formação de glicose-6-fosfato.

A glicólise depende de 10 a 12 reações enzimáticas para o fracionamento do glicogênio até o ácido pirúvico, o qual é então convertido em ácido láctico. Todos os passos dessa via e todas as enzimas envolvidas operam no citoplasma celular. O ganho final desse processo equivale a 3 mols de ATP formados para cada mol de glicogênio fracionado. Se for utilizada glicose em vez de glicogênio, o ganho será de apenas 2 mols de ATP, porque 1 mol será utilizado para a conversão de glicose em glicose-6-fosfato.

Obviamente, esse sistema de energia não produz grandes quantidades de ATP. Apesar dessa limitação, as ações combinadas dos sistemas ATP-PCr e glicolítico permitem a geração de força pelos músculos, mesmo em condições de limitação da reserva de oxigênio. Esses dois sistemas predominam durante os minutos iniciais do exercício de alta intensidade (FIGURA 4).

Em eventos realizados em velocidade máxima e com duração de apenas 1 ou 2 min, são altas as demandas que recaem sobre o sistema glicolítico, e as concentrações musculares de ácido láctico podem aumentar desde um valor em repouso de cerca de 1 mmol/kg até mais de 25 mmol/kg. Essa acidificação das fibras musculares inibe o prosseguimento da degradação do glicogênio, pois compromete a função das enzimas glicolíticas. Além disso, o ácido diminui a capacidade de ligação do cálcio pelas fibras e, portanto, pode impedir a contração muscular (COSTILL; KENNEY; WILMORE, 2020).



O terceiro e não menos importante, principalmente, quando à ênfase do metabolismo se destina as características aeróbias, é o sistema de produção de energia oxidativo. Esse é o mais complexo dos três sistemas de energia. O processo pelo qual o corpo decompõe os substratos com a ajuda do oxigênio para a geração de energia é chamado de respiração celular. Como há necessidade da presença de oxigênio, esse é um processo de característica aeróbia. Diferente da produção anaeróbia de ATP que ocorre no citoplasma da célula, a produção oxidativa de ATP ocorre dentro de organelas celulares especiais denominadas mitocôndrias. Nos

músculos, as mitocôndrias estão adjacentes às miofibrilas e ficam dispersas por todo o sarcoplasma.

O número total, ou densidade, das mitocôndrias no interior de uma fibra muscular fica determinado por sua demanda para a produção de ATP, mas a localização precisa dessas mitocôndrias no interior da célula é determinada pela difusão do oxigênio. Cada fibra muscular considerada individualmente apresenta-se com uma distribuição ideal de mitocôndrias no interior da célula, o que possibilita uma taxa praticamente máxima de produção de ATP, ao mesmo tempo que expõe as mitocôndrias ao mínimo possível de oxigênio em excesso.

No interior de uma célula muscular, as mitocôndrias tendem a se localizar ao longo da periferia da fibra, com densidades maiores nas proximidades dos capilares. Esse arranjo funciona de modo a gerar gradientes na concentração de oxigênio no sentido capilar-mitocôndria, de modo a facilitar o fluxo do oxigênio para o interior das mitocôndrias. A presença de mitocôndrias na periferia da célula beneficia a fibra muscular, pela otimização do aporte de oxigênio para a manutenção de altas taxas metabólicas. Contudo, a localização de mitocôndrias em torno da periferia da célula também aumenta a produção de ERO por causa de sua exposição ao oxigênio.

Desta forma, as mitocôndrias tendem a se distribuir de maneira não uniforme junto à parte externa da célula, dependendo da localização dos capilares, em vez de ficarem homoganeamente espaçadas. Essa localização é considerada ideal para a manutenção de altas taxas metabólicas e, ao mesmo tempo, minimiza o risco de aumento da produção de ERO, que pode afetar negativamente a célula.

Os músculos dependem de um suprimento permanente de energia para produzir continuamente a força necessária durante atividades prolongadas. Ao contrário do que ocorre com a produção de ATP pelo processo anaeróbico, o sistema oxidativo tem sua velocidade de produção muito mais lenta; contudo, possui capacidade muito maior de produção de energia.

Por essa razão, o metabolismo aeróbico é a principal via de geração de energia durante eventos de resistência e *endurance*, significando que os sistemas cardiovascular e respiratório ficam sob considerável demanda para o fornecimento de oxigênio para os músculos ativos (COSTILL; KENNEY; WILMORE, 2020).

Uma vez formada, a acetil CoA entra no ciclo de Krebs (também chamado de ciclo do ácido cítrico ou ciclo do ácido tricíclico), uma série complexa de reações

químicas que permitem a completa oxidação da acetil CoA. Assim sendo, para cada molécula de glicose que entra na rota glicolítica, duas moléculas de piruvato são formadas. Por isso, cada molécula de glicose que inicia o processo de produção de energia na presença de oxigênio resulta em dois ciclos de Krebs completos.

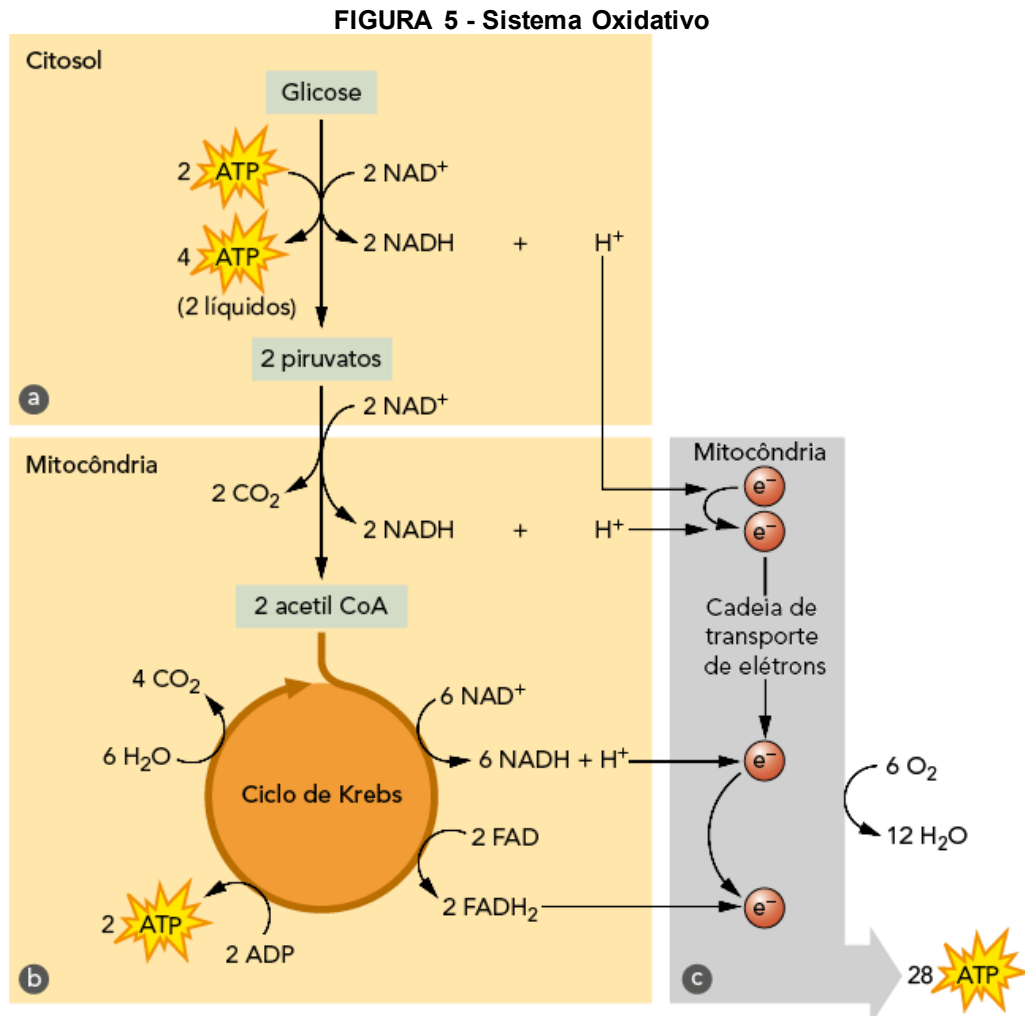
A conversão de succinil CoA em succinato, no ciclo de Krebs, resulta na geração de trifosfato de guanosina, ou GTP, um composto de alta energia semelhante ao ATP. O guanosina trifosfato então transfere um Pi para o ADP para formar ATP. Esses dois ATP (por molécula de glicose) são formados por fosforilação ao nível do substrato. Portanto, ao final do ciclo de Krebs, dois mols extras de ATP são formados diretamente, e o carboidrato original é metabolizado em dióxido de carbono e hidrogênio.

Da mesma maneira em que ocorrem em outras vias envolvidas no metabolismo energético, as enzimas do ciclo de Krebs são reguladas por *feedback* negativo em diversas etapas do ciclo. A enzima limitadora de velocidade no ciclo de Krebs é a Isocitrato desidrogenase, a qual, como a PFK, é inibida pelo ATP e ativada pelo ADP e Pi, assim como a cadeia de transporte de elétrons. Como a contração muscular depende da disponibilidade de cálcio na célula, o excesso de cálcio também estimula a enzima limitadora de velocidade Isocitrato desidrogenase (FIGURA 5).

Durante a glicólise, íons hidrogênio são liberados quando a glicose é metabolizada até ácido pirúvico; esses íons de hidrogênio adicionais são liberados na conversão de piruvato até acetil CoA e em diversas etapas durante o ciclo de Krebs. Pois, caso esses íons hidrogênio permanecessem no sistema, o interior da célula se tornaria excessivamente ácido.

O ciclo de Krebs está acoplado a uma série de reações. Os íons hidrogênio liberados durante a glicólise, durante a conversão de ácido pirúvico em acetil CoA, e também durante o ciclo de Krebs, combinam-se com duas coenzimas: nicotinamida adenina dinucleotídio (NAD) e flavina adenina dinucleotídio (FAD), convertendo cada uma delas à sua forma reduzida (NADH e FADH₂, respectivamente). Durante cada ciclo de Krebs, três moléculas de NADH e uma molécula de FADH₂ são produzidas. Essas coenzimas transportam os átomos de hidrogênio (elétrons) para a cadeia de transporte de elétrons, um grupo de complexos de proteínas mitocondriais localizados na membrana mitocondrial interna.

Para cada par de elétrons transportado pelo NADH, três moléculas de ATP são formadas, enquanto os elétrons que passam pelo FADH₂ produzem apenas duas moléculas de ATP. No entanto, em razão de NADH e FADH₂ estarem do lado de fora da membrana mitocondrial, o H⁺ deve ser lançado através da membrana, o que necessita de utilização de energia ativos (COSTILL; KENNEY; WILMORE, 2020).



Fonte: POWERS, 2022.

Em sumo, a ATP é o único combustível que pode ser usado de maneira direta para a geração de força muscular esquelética, e a ATP disponível fornecerá combustível por cerca de 2 segundos de exercício de intensidade máxima. Sendo assim, para que a geração de força muscular continue, é necessário que a ATP seja ressintetizada rapidamente a partir de ADP.

Durante o exercício de alta intensidade, a taxa relativamente baixa de ressíntese de ATP a partir da fosforilação oxidativa estimula uma rápida produção anaeróbia de energia a partir da hidrólise de glicogênio e PCr. A quebra de PCr começa no início da contração para tamponar o rápido acúmulo de ADP a partir da hidrólise de ATP, todavia, a taxa de hidrólise de PCr declina passados apenas alguns segundos da máxima geração de força.

Assim, se o exercício de alta intensidade for se estender além dos primeiros segundos, um acentuado aumento da contribuição da glicólise para a ressíntese de ATP torna-se necessário. A glicólise anaeróbia envolve várias etapas adicionais, além da hidrólise de PCr, embora, em comparação com a fosforilação oxidativa, ainda seja extremamente rápida. A glicólise anaeróbia tem início quando começa a contração, mas, diferentemente da hidrólise de PCr, não atinge uma taxa máxima antes de 5 segundos de exercício, podendo ser mantida nesse nível por vários segundos durante a geração de força muscular máxima. O exercício a uma intensidade equivalente a 95-100% do $\dot{V}O_{2max}$ pode ser sustentado por cerca de 5 minutos, antes que haja fadiga. Nessas condições, a oxidação de carboidrato pode contribuir de maneira significativa para a produção de ATP, mas sua importância relativa costuma ser subestimada (JEUKENDRUP; GLESON, 2022).

Importante ressaltar que os três sistemas de energia não funcionam de maneira independente entre si, e nenhuma atividade tem 100% de suporte de um único sistema de energia. Quando uma pessoa está se exercitando com a máxima intensidade possível, desde as corridas de velocidade mais curtas (menos de 10 s) até os eventos de *endurance* (acima de 30 min), cada um dos sistemas de energia está contribuindo para o atendimento das necessidades totais de energia do corpo. No entanto, ocorre o predomínio de um sistema de produção de energia sobre outro, determinado pela demanda metabólica gerada pelo tempo e a intensidade do estímulo.

2.4.1 Consumo Máximo de Oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$)

O consumo máximo de oxigênio, ou $\dot{V}O_{2max}$ é considerado pela maioria dos estudiosos a melhor medida isolada de resistência cardiorrespiratória e aptidão aeróbia.

Essa é uma das medidas mais onipresentes em toda a ciência do exercício. O conceito de que existe uma taxa finita de transporte máximo de oxigênio do ambiente para as mitocôndrias para apoiar a produção oxidativa de ATP para realizar o trabalho físico começou com Hill e Lupton (1923). Desde então, tem sido utilizado de forma diversa na ciência clínica como uma medida de desempenho do exercício.

A visão “clássica” do consumo máximo de oxigênio é que as taxas máximas de utilização de oxigênio (e taxas sustentáveis de produção oxidativa de ATP) no músculo esquelético são limitadas na maioria das circunstâncias pela capacidade do coração de fornecer oxigênio e ser acomodado pelo músculo em atividade (SALTIN; STRANGE, 1992; BASSETT; HOWLEY, 1997).

Os fatores primários incluem as vias fisiológicas que transferem O₂ do ambiente para o sangue, bombeiam-no para a periferia e o distribuem para e depois dentro das células musculares. Os fatores secundários incluem todos os processos intracelulares que ocorrem quando a molécula de O₂ é transferida para o interior da célula para a produção oxidativa de ATP e os eventos neuromotores que criam o influxo de cálcio e a contração muscular (LEVINE, 2008).

Esse consumo máximo depende da taxa de fluxo sanguíneo e da quantidade de oxigênio que pode ser extraída do tecido por litro de sangue. Sendo assim, o oxigênio se difunde do sangue para o músculo, e a taxa de difusão depende da magnitude do gradiente da pO₂ entre o sangue capilar e a mitocôndria muscular (local em que o oxigênio é utilizado para a fosforilação oxidativa), assim como da distância em que o oxigênio deverá difundir-se. A principal distância de difusão diminui durante os exercícios devido à prévia abertura dos capilares não-perfusionados ao redor das fibras musculares.

Em resumo, durante os exercícios intensos, o músculo não parece ser capaz de extrair todo o oxigênio que é entregue pela circulação arterial; isso quer dizer que o sangue venoso drenado no músculo em atividade máxima não está totalmente sem oxigênio, ou seja, em altos consumos de oxigênio, os músculos extraem a maior parte do oxigênio a eles fornecido (MAUGHAN; GLEESON; GREENHAFF, 2000).

Muitos fatores podem, potencialmente, limitar o consumo máximo de oxigênio (VO_{2máx.}) durante os exercícios. Esses fatores estão divididos em **limitações centrais** (ventilação; difusão do oxigênio; débito cardíaco; pressão sanguínea; volume de oxigênio) ou **limitações periféricas** (distribuição regional do fluxo de sangue; fluxo

sanguíneo muscular; densidade capilar; difusão de oxigênio; densidade mitocondrial; atividades das enzimas oxidativas; armazenagem de energia; disponibilidade de substratos; massa muscular e tipo de composição das fibras).

Para atingir um alto consumo de oxigênio, é essencial a existência de um sistema efetivo de transferência de oxigênio da atmosfera para o lugar de utilização de um sistema efetivo de músculos em atividade. Portanto, a principal limitação para o consumo máximo de oxigênio está relacionada com a capacidade do sistema cardiovascular em doar oxigênio para os músculos ativos e não com a capacidade dos músculos em extrair o oxigênio do sangue fornecido (MAUGHAN; GLEESON; GREENHAFF, 2000).

2.5 AUTORREGULAÇÃO

Atualmente a literatura especializada têm demonstrado que a *performance*, ou a otimização do rendimento físico durante atividades individuais, está diretamente relacionada a parâmetros psicofisiológicos - físicos e perceptuais -, envolvendo, por exemplo, o consumo máximo de oxigênio, ponto de compensação respiratória, limiar de acúmulo do lactato sérico, economia de energia, máximo lactato no estado de equilíbrio, percepção subjetiva do esforço, entre outros (MEYER, *et al.*, 2004; SAUNDERS, *et al.*, 2004; FOSTER, *et al.*, 2007; LIMA-SILVA, *et al.*, 2010; BERTUZZI, *et al.*, 2013, ROBERTSON, 2004; BORG, 1982).

De mais a mais, a estratégia de ritmo (*pace*) adotada pelo atleta durante a realização da prova ou treino pode interferir, significativamente, as demandas energéticas e o controle de todo os sistemas fisiológicos envolvidos na tarefa.

Os perfis de estimulação são um componente importante da resistência cardiorrespiratória em eventos quando se trata de alcançar o nível ideal de *performance* do indivíduo. Estes perfis de estimulação ideais são considerados aqueles mais eficientes fisiologicamente; eles usam todas as reservas de energia disponíveis antes do final da prova, porém, não tão longe do fim ao ponto de ocorrer uma desaceleração.

Uma série de diferentes ritmos (perfis de *pace*) foram previamente identificados em uma variedade de eventos de característica predominantemente aeróbia: **ritmo positivo** (o qual o atleta diminui ao longo da prova); **ritmo negativo** (o

qual o atleta acelera ao longo da prova); **ritmo constante** (o qual o atleta imprime uma velocidade constante até o fim da prova); **estimulação parabólica** (um ritmo relativamente rápido no início e no fim, mas moderado no meio da prova); e **estimulação variável** (a potência de saída é variada devido a condições externas) (FOSTER *et al.*, 2007)

Ademais, perfis de ritmos de atletas individuais podem ser afetados por sua classificação da percepção subjetiva do esforço, como isso se compara com como eles esperavam se sentir, considerando - se o quanto da distância é deixado para cobrir. Em particular, o conhecimento de que um está chegando ao fim de uma corrida significa que aumenta o ritmo frequentemente ocorrem apesar de um possível distúrbio homeostático e desconforto (HALEY, 2013).

Nesse sentido, há uma tendência do atleta tentar/realizar um ajuste em seu ritmo (*pace*) para tentar evitar esses distúrbios excessivos durante a prova, baseando-se nos sinais psicofisiológicos emitidos pelos diversos sensores naturais do corpo, os quais ao serem enviados aos cérebro são processados antes de uma tomada de decisão neste ajuste, reduzindo, desta forma, a possibilidade do indivíduo entrar em um colapso fisiológico (ST CLAIR GIBSON *et al.*, 2003; MAUGER *et al.*, 2009; FOSTER *et al.*, 2009; TUCKER *et al.*, 2004; TUCKER *et al.*, 2006; BALDWIN *et al.*; 2003; BADEN *et al.*, 2005).

Outrossim, pesquisas evidenciam que esse processo de regulação depende de outros fatores importantes, como: a acuidade do indivíduo, ou seja, quanto menos ele variar dentro de sua zona perceptual, mais preciso este indivíduo será, e, por consequência, uma menor demanda energética acarretará na execução da tarefa. Contudo, trata-se de um sistema complexo, envolvendo um processamento neural e posterior resposta – tomada de decisão – na tentativa/realização de um ajuste fino, potencializando ao máximo sua *performance* (NOAKES, 2007; MARCORA, 2009; SHEPHARD, 2009).

Em síntese, a PSE do atleta durante o evento esportivo é fundamental, pois dela sairá o controle de intensidade do esforço despendido, bem como o ajuste na velocidade ou ritmo ao seguir uma estratégia; cuja esta intimamente relacionada com essa percepção, fazendo com que sua meta seja realizada de forma mais eficiente possível.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 TIPO DE ESTUDO

O tipo da pesquisa é descritivo, comparativo causal com abordagem quantitativa. As variáveis do estudo são fisiológicas (VO_2 , $\%VO_2$ e frequência cardíaca), física (velocidade) e perceptual (PSE). Por sua vez, os dados utilizados classificam-se como numéricos avaliados em escala intervalar (consumo de oxigênio, frequência cardíaca e velocidade) e categórica (percepção subjetiva do esforço).

Os dados do presente estudo fazem parte do projeto coordenado pela Profa. Maressa Krause intitulado Aplicação Psicofisiológica para Maximizar a Autorregulação e o Desempenho de Atletas Profissionais aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas da UTFPR (CAAE: 30162914.9.0000.5547).

3.2 PARTICIPANTES

O presente estudo foi constituído de 22 corredoras, sexo feminino. Essas foram selecionadas de forma aleatória por meio de convites em assessorias esportivas e divulgação em mídia social que descreviam os critérios de inclusão para participação voluntária no projeto.

Esses levaram em consideração: experiência prévia de 2 anos na corrida; idade entre 30 e 50 anos; um volume de treinamento de no mínimo 500km nos últimos 12 meses; e os tempos abaixo de 25 e 50 minutos em provas oficiais de 5 e 10km, respectivamente. Tendo em vista, que três participantes não atingiram os critérios do teste máximo, estas foram exclusas desta pesquisa.

3.3 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS

Desenho Experimental

O projeto de pesquisa foi composto por duas sessões experimentais. A primeira sessão experimental foi designada de “Estimação” na qual todos os participantes foram informados individualmente quanto ao protocolo do estudo e

concordaram em assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), condicionando sua participação voluntária na pesquisa.

Na sequência, foram coletadas 1) informações pessoais e anamnese, como: nome completo; data de nascimento; e-mail para contato; experiência com a corrida (tempo de prática, volume em quilômetros) nos últimos 12 meses; tempo registrado nas provas de 5 e 10km; provas realizadas e provas por realizar; uso ou não uso de alguma escala de percepção.

Posteriormente, após instruções e procedimentos padronizados de ancoragem por memória, foi realizado um teste de esforço máximo em esteira (MYERS *et al.*, 1991), a fim de determinar os parâmetros fisiológicos, perceptuais, físicos, nível de condicionamento cardiorrespiratório assim como o procedimento de ancoragem por exercício. Após 48 horas, a segunda sessão experimental, designada de “*Just Noticeable Difference*” – JND foi conduzida, sendo composta de quatro séries de corrida em esteira, com duração de cinco-minutos cada, e com intervalo de recuperação de cinco minutos entre séries. Esta sessão determinou a zona perceptual do indivíduo, ou também conhecida por mínima diferença detectável total (JND-T); bem como as séries acima (JND-A) e abaixo (JND-B) do estímulo padrão referente ao parâmetro fisiológico de 70%VO_{2max} Volume Máximo de Oxigênio – VO_{2max}) estabelecido na primeira sessão experimental.

Antes do início de cada teste, todos os indivíduos receberam instruções padronizadas acerca dos procedimentos de testagem por um investigador da pesquisa previamente treinado.

Primeira Sessão Experimental – Protocolo de Estimação

A sessão foi iniciada com o fornecimento do TCLE e preenchimento da anamnese/dados pessoais pelo sujeito, na sequência, a massa e estatura corporal foram mensuradas utilizando uma balança com estadiômetro (marca Welmy, modelo 104A; resolução de 0,1 quilogramas e 0,5 centímetros) para posterior cálculo do IMC (LOHMAN *et al.*, 1988). Em seguida, um investigador realizou um “*briefing*” da pesquisa para dar maiores esclarecimentos ao participante, como o procedimento de ancoragem por memória da escala de percepção subjetiva do esforço (PSE) Scale OMNI-Walk/Run (UTTER, *et al.*, 2004). Então, uma fita transmissora do cardiófrequencímetro foi posicionada no tórax (Polar Electro Inc., Lake Success, NY,

USA) do atleta, enquanto o receptor permanece posicionado na esteira; na sequência, um breve aquecimento e familiarização de cinco minutos na esteira foi executado pelo avaliado, finalizando com a colocação da máscara e demais acessórios do analisador metabólico para a coleta das trocas gasosas. Após uma breve testagem do posicionamento do atleta na esteira e instruções acerca dos procedimentos, o teste máximo foi iniciado. O protocolo inicia com a velocidade de 8 km/h; passando para 10,0km/h e após incrementos de 1,0 km/h a cada estágio. A duração de cada estágio foi de 1-minuto com inclinação de 1% durante todo o teste. O sujeito foi orientado a aumentar o seu ritmo até atingir a exaustão. Um procedimento de volta a calma foi realizado por até cinco minutos. A frequência cardíaca foi monitorada minuto a minuto durante todo o teste. Os gases expirados (oxigênio e gás carbônico) foram coletados e analisados por um circuito aberto de espirometria com intervalos de 15 segundos utilizando um *Parvo Medics TrueMax 2400 Metabolic Measurement System* (Salt Lake City, UT, USA). Todos os sujeitos receberam encorajamento verbal padronizado objetivando o esforço máximo durante o teste. A PSE associada a todo o corpo foi estimada pelo sujeito ao final de cada minuto e exatamente no esforço máximo. Posteriormente, análises estatísticas foram utilizadas para determinar a PSE, FC e a velocidade correspondente a 70% VO_{2max} , determinando o estímulo padrão para a realização da segunda sessão experimental – o JND. O estímulo padrão de 70% VO_{2max} foi selecionado para garantir uma intensidade abaixo do limiar ventilatório (FIGURA 6).

Em seguida, fora realizada uma filtragem dos dados do VO_{2max} . de cada sujeito, os que se encontravam com valores abaixo de 49,9ml/kg/min foram categorizados como baixa aptidão, e conseqüentemente, os acima de 49,9ml/kg/min foram categorizados como alta aptidão.

Figura 6 - Sessão Experimental VO₂MAX.

PROCEDIMENTO



Autoria própria (2023).

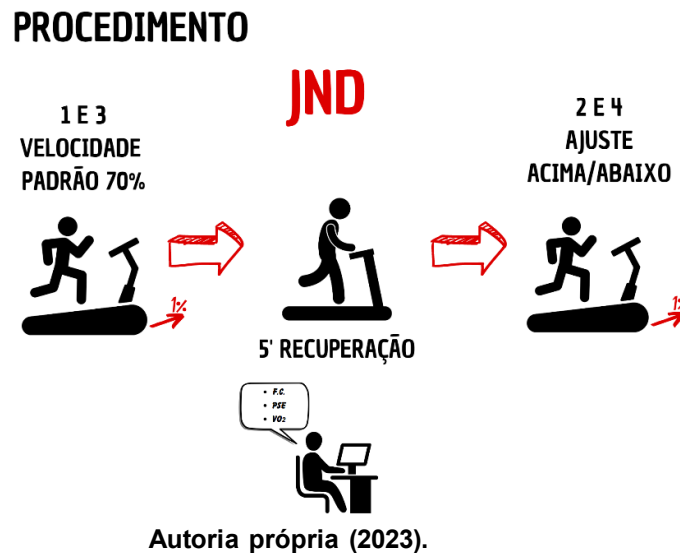
Segunda Sessão Experimental – Protocolo JND

Os procedimentos das sessões são similares, diferindo apenas a intensidade do estímulo padrão. O teste JND foi composto por quatro séries com duração de cinco minutos cada, separados por cinco minutos de recuperação passiva na esteira. Durante as séries 1 e 3, os sujeitos realizam o exercício com velocidade correspondente ao estímulo padrão, ou seja, a intensidade de 70%, baseado no resultado do teste -1. Após estabilização da velocidade da esteira e coleta dos gases expirados, o avaliado recebeu orientações verbal por parte do investigador a cada 30 segundos: “Agora você está na série padrão”.

Durante as séries 2 e 4, os sujeitos foram instruídos a correrem durante cinco minutos a fim de determinar a magnitude da mínima diferença detectável acima e abaixo do estímulo padrão. Após estabilização da velocidade da esteira e coleta dos gases expirados, o avaliado recebeu instruções para, primeiramente, reconhecer/detectar a alteração na intensidade do exercício e, se necessário, na sequência, solicitar os ajustes e manter o nível de esforço acima ou abaixo da diferença mínima detectável (JND-A ou JND-B), vivenciado na série anterior (estímulo padrão). A frequência cardíaca e o consumo de oxigênio foram mensurados

continuadamente durante o exercício. A PSE foi coletada após estabilização das variáveis e ao término da sessão (FIGURA 7).

Figura 7 - Sessão Experimental JND.



Nenhuma informação relativa à velocidade, frequência cardíaca ou consumo de oxigênio foi fornecida ao sujeito em nenhum momento ao longo das sessões experimentais. Ao final do quinto minuto da série, os valores da Velocidade, PSE, FC e do VO₂ são recordados para as análises do JND.

A sequência de realização das séries acima e abaixo foram contrabalanceadas para evitar o viés da ordem.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados individualizados de cada teste foram armazenados em planilhas do programa excel; após codificação das variáveis de interesse, as mesmas foram tabuladas no banco de dados do projeto e, posteriormente exportada para o programa Jamovi (versão 2.3.18 [Software de computador], recuperado de <https://www.jamovi.org/>).

As estatísticas descritivas são apresentadas usando média e desvio padrão (DP), a menos que indicado de outra forma. O teste *Shapiro Wilk* foi realizado para verificar a normalidade dos dados. Como os dados apresentaram distribuição normal,

foram realizados testes paramétricos. A significância estatística foi estabelecida a priori em $p < 0,05$. Uma ANOVA *two-way* para medidas repetidas foi usada para comparar o VO_2 absoluto e relativo e JND-Acima, JND-Abaixo dentro e entre os grupos de baixa e alta aptidão física; ademais, foi utilizado um Test T para comparar a magnitude JND total. O d de *Cohen* testou o tamanho do efeito (ES) na ANOVA. A magnitude das diferenças interpretadas foi trivial ($\leq 0,2$), pequena ($>0,2 - 0,6$); moderado ($0,6 - 1,2$), grande ($>1,2 - 2,0$) e muito grande ($>2,0$) (HOPKINS *et al.* 2009). As correções necessárias foram realizadas pelo *Post-Hoc de Bonferroni*.

4 RESULTADOS

Participaram da pesquisa 22 mulheres com idade média de 36,6 anos ($\pm 8,29$); Massa Corporal média de 55,5kg ($\pm 5,45$); Estatura média de 1,62m ($\pm 6,25$); IMC médio de 20,2 ($\pm 5,01$).

As variáveis fisiológicas foram obtidas do teste incremental máximo em esteira, o qual determinou a capacidade aeróbia das corredoras com VO_{2max} de 48,8 ($\pm 5,25$) $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$; divididas em dois grupos denominados de Baixa e Alta aptidão física. Os ensaios experimentais do JND foram conduzidos com estímulo padrão de $70\%VO_{2max}$, o quadro 1 apresenta suas respectivas demandas fisiológicas (VO_2 e Frequência Cardíaca), PSE e velocidade.

QUADRO 1 - Dados descritivos de VO_2 , Frequência Cardíaca e Percepção Subjetiva do Esforço, separados por grupos.

	Baixa Aptidão (n=13)	Alta Aptidão (n=9)
VO_{2max} (ml/kg/min)	45,54 \pm 3,51	53,59 \pm 3,27
$70\%VO_{2max}$ (ml/kg/min)	31,78 \pm 2,46	37,51 \pm 2,29
FC (bpm)	179,7 \pm 11,29	179,1 \pm 10,03
PSE (OMNI-WR Scale)	8,85 \pm 1,52	9,63 \pm 0,52

VO_{2max} : Volume de Oxigênio Máximo; FC: Frequência Cardíaca; PSE: Percepção Subjetiva do Esforço.

Fonte: Autoria Própria (2023).

A descrição da acuidade perceptiva medida pela variação do consumo de oxigênio acima e abaixo do estímulo padrão ($70\%VO_{2max}$) em cada tentativa do JND apresenta: VO_{2max} JND-Acima média de 1,90 ($\pm 1,75$); $70\%VO_{2max}$ JND-Acima média de 4,01 ($\pm 3,65$); VO_{2max} JND-Abaixo média de -0,21 ($\pm 1,55$); $70\%VO_{2max}$ JND-Abaixo média de -0,49 ($\pm 3,31$). Também foram separados por grupos conforme descrição no quadro 2.

QUADRO 2 - Comparação do consumo de oxigênio no JND acima, abaixo do estímulo padrão e JND Total, separados por grupos.

	Baixa Aptidão (n=13)	Alta Aptidão (n=9)
JND ACIMA EP (VO_{2max} ml/kg/min)	1,87 ± 1,95 ^a	1,95 ± 1,54 ^a
JND ACIMA EP (% VO_{2max})	4,15 ± 4,15 ^b	3,81 ± 3,01 ^b
JND ABAIXO EP (VO_{2max} ml/kg/min)	-0,26 ± 1,82 ^a	-0,13 ± 1,15 ^a
JND ABAIXO EP (% VO_{2max})	-0,62 ± 3,97 ^b	-0,31 ± 2,25 ^b
JND TOTAL EP (VO_{2max} ml/kg/min)	3,80 ± 1,87	2,98 ± 1,76
JND TOTAL EP (% VO_{2max})	8,30 ± 4,02	5,80 ± 3,49

JND: *Just Noticeable Difference*; EP: estímulo padrão.

^{a, b} Diferenças significativas (F= 11.766 e p=0,003; F=11.889 e p=0,003).

Fonte: Autoria Própria (2023).

As comparações do JND mostram resultados esperados, a magnitude do VO_2 foi positiva acima do padrão e negativo abaixo do padrão em ambos os grupos. Entretanto, ao compararmos os efeitos intra-sujeitos e inter-sujeitos, a análise da ANOVA demonstrou uma diferença significativa apenas na comparação entre os fatores do JND Acima e Abaixo (quadro 2).

De forma a analisar a acuidade percebida do esforço, a magnitude total do JND foi comparada (soma de ambos JND acima e abaixo) nas tentativas experimentais (quadro 2); o Teste T (*Student*) mostrou que não houve diferença significativa entre o VO_2 absoluto (p=0,315) e relativo (p=0,147).

Ao observar a unidade física, medida pela velocidade da esteira, observou-se uma tendência análoga. A velocidade variou em média 0,45 e 0,1 km·h⁻¹ para os grupos de baixa aptidão e alta aptidão, respectivamente. Esse fato foi mais expressivo quando o sujeito precisou ajustar a velocidade acima do estímulo padrão (0,5 e 0,4), do que abaixo (0,0 e 0,2), respectivamente. A PSE também foi semelhante, a variação média foi de 1,0 (± 1,0) e 1,0 (± 0,75) para as tentativas dos grupos, respectivamente. O indivíduo teve uma mudança maior de PSE no JND acima do estímulo padrão em ambos os ensaios experimentais (-1,0 baixa aptidão e 1,0 alta aptidão usando a escala OMNI-WR) do que abaixo (0 baixa aptidão e 1,0 alta aptidão usando escala OMNI-

WR). Portanto, parece que o intervalo de JND diminuiu quando a demanda fisiológica aumentou, tanto para variáveis físicas (velocidade) quanto psicológicas (PSE) em corredoras do sexo feminino.

A análise da ANOVA mostrou um efeito principal JND significativo no VO_2 absoluto ($F=11.766$ e $p=0.003$). O efeito principal dos grupos de Baixa Aptidão e Alta Aptidão não foram significativos ($F= 0.066$ e $p=0.800$).

Em relação à análise da ANOVA em VO_2 relativo, houve um efeito principal JND significativo ($F=11,889$ e $p=0,003$). O efeito principal dos grupos de baixa aptidão e alta aptidão não foram significativos ($F=3,13$ e $p=0,986$). A magnitude de JND acima foi significativamente maior do que abaixo ($T= 3,45$ e $p= 0,003$).

Não há diferenças ao comparar JND acima ou abaixo entre as tentativas ($p>0,05$);

Esses achados podem ser limitados pelo tamanho da amostra em cada subgrupo analisado; ou seja, para o grupo de baixa aptidão uma amostra de 13 sujeitos, enquanto o grupo de alta aptidão uma amostra de 9 sujeitos.

5 DISCUSSÃO

O JND “*Just Noticeable Difference*”, é conceituada pela psicofísica como a mínima diferença detectável na magnitude de um esforço realizado pelo indivíduo, ou seja, o quanto da demanda fisiológica deve ser alterada para que o corredor perceba esta mudança (NOBLE e ROBERTSON, 1996). Essa demanda fisiológica, no presente estudo, se dá pelo consumo de oxigênio (absoluto e relativo).

O propósito deste estudo, foi identificar o JND em corredoras treinadas, ou seja, determinar a zona perceptual individual das corredoras utilizando como parâmetros psicofisiológicos a demanda metabólica (VO_2) e Percepção Subjetiva do Esforço (PSE).

Uma das poucas pesquisas com referência ao tema, demonstrou que a magnitude do JND Abaixo ($0,24 \pm 0,20$ VO_2 l/min) do estímulo padrão (SS) foi maior do que do JND Acima ($0,17 \pm 0,13$ VO_2 l/min) do SS, com indivíduos universitários, não atletas. Ademais, ressaltam os autores que indivíduos treinados tendem a estar com maior atenção em estímulos submáximos, e opostamente, menos atentos em menores intensidades. Sugerindo que a acuidade de um indivíduo tem relação direta com a intensidade do exercício (HAILE *et al.*, 2012).

De outra forma, os resultados obtidos na presente pesquisa demonstraram que as mulheres avaliadas apresentaram uma boa acuidade na determinação da zona perceptual, mantendo uma magnitude do JND maior no estímulo acima do padrão do que no estímulo abaixo do padrão; ainda que, não houvesse diferença pelo fato de um grupo ser mais bem condicionado do que o outro.

Para Brick *et al.* (2016), o foco de atenção durante um evento de *Endurance* é um processo dinâmico, ou seja, para otimizar a *performance* os atletas devem monitorar estímulos internos (estados corporais) e estímulos externos (estados ambientais) e ainda, desenvolver estratégias cognitivas apropriadas para lidar com as demandas fisiológicas exigidas pela tarefa.

Ao que tudo indica, a mulher detém uma boa capacidade em manter o foco na tarefa exercida, fazendo com que o nível de treinabilidade não fosse um fator interveniente na demanda fisiológica do exercício.

Outras pesquisas sustentam esta ideia, demonstrando que uma atenção mais acurada pode gerar maior economia de movimentos, conseqüentemente, otimizando o ritmo da corrida (CAIRD *et al.*, 1999).

Durante a atividade de *endurance*, a percepção de esforço é considerada fundamental para a regulação do ritmo. No entanto, como ela é gerada tem sido foco de enorme debate.

Dentro de alguns modelos, a regulação central da estratégia de estimulação é o resultado do controle de *feedforward* em resposta ao processamento inconsciente de *feedback* aferente de sistemas fisiológicos. Porém, essa afirmação foi contestada pela evidência de que o esforço percebido pode ser independente do *feedback* aferente (NOAKES *et al.*, 2005; RENFREE *et al.*, 2014; TUCKER *et al.*, 2009).

Uma abordagem alternativa, o modelo psicobiológico, considera o papel da descarga corolária ou a percepção consciente de sinais eferentes que se acredita serem originários de áreas pré-motoras e motoras do córtex. Nesse modelo, a regulação consciente do ritmo é determinada por fatores cognitivos e motivacionais, incluindo percepção de esforço, o conhecimento da tarefa e experiência prévia de percepção de esforço durante exercícios de intensidade e duração variáveis (DE MORREE *et al.*, 2012; SMIRMAUL *et al.*, 2013; BRICK *et al.*, 2016).

Dada a importância da percepção do esforço para o desempenho em eventos de *endurance*, as evidências sugerem que o foco atencional pode alterar essa relação, além de entender porque as estratégias de ritmo são eficazes, considerando a importância de reconhecer os fatores situacionais determinantes em focos maiores ou menores da tarefa.

Sendo assim, a estratégia de ritmo que o corredor irá adotar para o evento é fundamental em seu desempenho; visto que, o ritmo imposto pela estratégia adotada será determinante para o sucesso da tarefa. O que corrobora com os achados por Brick *et al.*, (2014), o qual sugere que o controle sobre o ritmo da corrida pode afetar o foco da atenção e os resultados de desempenho gerados subsequentemente.

Portanto, esse ritmo não pode exarcebar seus limites metabólicos ou cardiorrespiratórios ao ponto de causar uma catástrofe fisiológica, ou, vulgarmente conhecida como “quebra” (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2008).

Ademais, mais especificamente, os eventos com o ritmo autocontrolado – percepção subjetiva do esforço mais baixa - tendem a melhorar a *performance*, ou

seja, quando os indivíduos engajaram estratégias autorreguladas o desempenho melhorou (LACAILLE *et al.*, 2004).

Neste sentido, ressalta-se a importância da autorregulação na estratégia de prova adotada pelo corredor; pois, quanto maior for sua percepção do esforço, bem como sua capacidade de processamento dos sinais enviados ao Sistema Nervoso Central (SNC), mais preciso ele será na sua regulação individual; principalmente, se tratando de eventos de média e longa distâncias, os quais, aparentemente, dependem de uma maior administração do ritmo por parte do corredor (SAUDERS, *et al.* 2004).

Desta forma, ao que tudo indica, o aumento da duração do evento também aumenta a necessidade e a importância de uma regulação fisiológica-metabólica, o que reforça a importância da utilização do JND, uma vez que, a autorregulação se torna essencial (DEANER *et al.*, 2016; KIRBY *et al.*, 2021).

Contudo, não há um consenso entre a melhor estratégia de ritmo para todos os corredores e tipos de corrida, em parte, porque o ritmo é um processo extremamente complexo influenciado por uma série de fatores.

Os corredores devem equilibrar as interações internas e externas (homem – ambiente) além de táticas em corrida, e decisões na regulação da intensidade do exercício, sugerindo que o ritmo ideal requer considerações adicionais além da distância/duração (PRYOR *et al.*, 2020).

Diferentes ritmos (perfis de *pace*) foram previamente identificados em uma variedade de eventos de característica predominantemente aeróbia: **ritmo positivo** (o qual o atleta diminui ao longo da prova); **ritmo negativo** (o qual o atleta acelera ao longo da prova); **ritmo constante** (o qual o atleta imprime uma velocidade constante até o fim da prova); **estimulação parabólica** (um ritmo relativamente rápido no início e no fim, mas moderado no meio da prova); e **estimulação variável** (a potência de saída é variada devido a condições externas) (FOSTER *et al.*, 2007).

Posto isto, as recomendações são consistentes com o fato de que não há uma estratégia de ritmo “ideal” para todos corredores e eventos. Em vez disso, isso deve ser tomado como um começo para explorarmos novas estratégias e ferramentas para melhorar o desempenho nas provas e treinos dos atletas.

De mais a mais, tanto o aumento do ritmo, quanto a redução dele podem ocorrer em uma demanda fisiológica maior; visto que, um deslocamento fisiológico para um domínio severo do $VO_{2máx}$. irá comprometer, significativamente, a produção

de energia requerida pelo sistema musculoesquelético, bem como aumentando, substancialmente, a produção de lactato sérico, o qual não poderá ser sustentado por maior tempo (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2008).

Haile *et al.* (2012), ao fazerem uso do JND para avaliar a acuidade de indivíduos treinados concluíram que, os avaliados perceberam mais facilmente o aumento da intensidade do exercício do que a redução; o que vai na contramão destes resultados, os quais demonstram que os atletas tendem a perceber mais facilmente quando o estímulo (velocidade) foi reduzido do que aumentado; desta forma, rejeitando a hipótese alternativa dos autores.

Os achados da presente pesquisa, ressaltam a importância do uso da percepção subjetiva do esforço para controle das sessões de treinamento e eventos competitivos, bem como evidenciam que ao se saber a acuidade individual o atleta reduz drasticamente o risco de colapso fisiológico.

Conforme demonstrado em estudo, Brick *et al.*, (2016), a alteração no controle do ritmo parece ter um impacto profundo no desempenho de corredores de contrarrelógio (3km), os quais apresentaram uma menor atenção em sua autorregulação e maior relaxamento em sua otimização de ação de corrida; ainda, concluíram que os tempos registrados nos testes de controle de ritmo externo, foram 10% mais lentos do que os testes autoajustados, apesar das percepções do esforço terem sido idênticas.

Outro aspecto a se considerar da pesquisa, é que os participantes se concentraram mais no ritmo das sessões autoajustadas, exercendo um monitoramento mais preciso nos segmentos das distâncias, e por consequência, otimizando suas decisões nos ajustes de ritmo, comparado com as sessões de ajuste externo da velocidade, os quais relaxaram sua cadência e economia de corrida (BRICK *et al.*, 2016).

Fato é que, a magnitude total da demanda fisiológica variada em uma pequena faixa acarreta uma maior precisão no ajuste de ritmo de corrida do atleta; ou seja, sessões de treinamento com grandes variações percentuais no *pace* farão com que o indivíduo esteja inibindo uma capacidade natural de perceber e adequar o esforço ao ritmo.

Por exemplo, nossos resultados apontam uma média do JND total em 5,8%; ao considerar uma flexibilização (10%) no percentual do ritmo determinado para tal

sessão, com base no tempo de limiar, estará o treinador ocorrendo em uma enorme falha, pois seu atleta é mais preciso do que ele poderia prever.

Filipas *et al.*, (2018) mostraram uma variedade de ritmos entre 5,3 a 9,1% durante eventos competitivos, e ainda, mais especificamente, em provas de meio fundo, a variação média fica entre 1,0% (masculino) e 1,7% (feminino), o que pode corresponder, aproximadamente, 7seg e 18seg nas provas femininas de 5km e 10km, respectivamente. Ponto importante a se considerar, é o fato de que essas corredoras variam sua velocidade de corrida a cada 100m em média.

Nesse sentido, uma percepção do esforço aguçada contribui na autorregulação, uma vez que, o atleta precisa reconhecer os sinais sensoriais que estão sendo enviados ao SNC, processá-los, para que em seguida seja feita a tomada de decisão no ajuste do ritmo.

Desta forma, conhecer a magnitude do JND pode ajudar treinadores e atletas no monitoramento de treinos e provas, no sentido que, ouvindo os sinais do corpo, o indivíduo consegue ajustar o ritmo durante a tarefa, especialmente as microvariações que dependem apenas das diferenças perceptíveis. Sendo, o JND uma ferramenta importante e útil na prescrição da zona alvo da sessão de treinamento, melhorando a precisão da variabilidade do ritmo.

Por fim, este campo de estudo ainda é um enorme terreno por ser explorado, mais pesquisas são necessárias para demonstrar a eficácia do JND, contudo, há de se relevar que, a autorregulação em corredores pode ser o fator determinante entre a vitória e a derrota de uma prova.

A principal limitação do estudo foi em relação ao controle e ajustes da velocidade da esteira, o qual o avaliado não tinha acesso direto. Assim, os ajustes foram solicitados pelo avaliado ao avaliador que estava de posse do controle da esteira. Outra limitação é que a acuidade perceptual em mulheres pode sofrer influência da ação do SNC relacionada a variação hormonal, contudo, o presente estudo não controlou tais variáveis.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da utilização do conceito psicofísico JND, a presente investigação identificou a acuidade perceptual de 22 corredoras treinadas, demonstrando uma elevada variação no intervalo de dados das variáveis analisadas, especialmente no VO₂.

O JND-Acima do estímulo padrão, demonstrou-se com maior magnitude do que o JND-Abaixo em ambos os grupos (baixa aptidão e alta aptidão). Contudo, não houve uma diferença significativa nas variáveis analisadas entre os grupos, ou seja, o grupo alto aptidão não foi mais preciso do que o baixa aptidão pelo fato de estar mais bem condicionado fisicamente.

Em conclusão, nossos resultados demonstram que o JND traz uma nova abordagem metodológica para o treinamento, ela deve ser utilizada para melhorar a *performance* de atletas de *Endurance*, visto que, as provas de corridas são de características aeróbias – predominância do sistema cardiorrespiratório -, e a magnitude total do JND pode representar a quantidade de alterações no comportamento fisiológico do corpo.

Por fim, considerando os resultados obtidos e a carência de estudos relacionados ao tema, assume-se a necessidade da pesquisa ser continuada com a utilização de uma nova metodologia a fim de obter o tamanho amostral adequado para garantir o poder das análises inferenciais e, dessa forma, propor argumentos coesos a fim de generalizar os resultados a população do estudo e demais modalidades que necessitam da autorregulação para aprimorar o desempenho.

REFERÊNCIAS

NOBLE, B.J.; ROBERTSON, R.J. Perceived exertion. **Human Kinetics, Champaign**, 1996.

HAILE, L.; ROBERTSON, R.J.; NAGLE, E.F.; KRAUSE, M.P.; GALLAGHER JR, M.; LEDEZMA, C.M.; WISNIEWSKI, K.S.; SCHAFER, A.B.; GOSS, F.L. Just noticeable difference in perception of physical exertion during cycle exercise in young adult men and women. **European Journal of Applied Physiology**. V. 113(4):875-885, 2012.

KRAEMER, William J.; FLECK, Steven J.; DESCHENES, Michael R. Fisiologia do Exercício - Teoria e Prática, 2ª edição: Grupo GEN, 2016. **E-book. ISBN 9788527730341. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527730341/>. Acesso em: 12 nov. 2022.**

LENT, R. Neurociência da Mente e do Comportamento: Grupo GEN, 2022. **E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-277-1994-0/pageid/5>. Acesso em: 03 jan. 2023.**

BEAR, Mark F. Neurociências: Grupo A, 2017. **E-book. ISBN 9788582714331. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582714331/>. Acesso em: 12 nov. 2022.**

POWERS, Scott K. Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho: Editora Manole, 2017. **E-book. ISBN 9788520455104. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520455104/>. Acesso em: 12 nov. 2022.**

TORTORA, Gerard J.; DERRICKSON, Bryan. Princípios de Anatomia e Fisiologia: Grupo GEN, 2016. **E-book. ISBN 9788527728867. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527728867/>. Acesso em: 12 nov. 2022.**

FOLLAND, J. P.; WILLIAMS, A. G. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. **Sports Medicine**, v. 37, n. 2, 2007.

JEUKENDRUP, Asker; GLEESON, Michael. Nutrição no esporte: diretrizes nutricionais e bioquímica e fisiologia do exercício: Editora Manole, 2021. **E-book. ISBN 9786555765212. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555765212/>. Acesso em: 12 nov. 2022.**

COSTILL, W. Larry Kenney, Jack H. Wilmore, David L. Fisiologia do esporte e do exercício 7a ed.: Editora Manole, 2020. **E-book. ISBN 9786555760910. Disponível**

em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555760910/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

HILL, A.V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **Q J Med** 16, 135–171, 1923.

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

BASSETT, D.R. Jr.; HOWLEY, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Med Sci Sports Exerc** 32, 70–84, 2000.

LEVINE, B. D. VO_{2max} : what do we know, and what do we still need to know? **J Physiol** 586.1, 25–34, 2008.

MAUGHAN, R.; GLEESON, M.; GREENHAFF, P.L. Bioquímica do Exercício e do Treinamento. **São Paulo: Ed. Manole**, 2000.

HOLLMANN, W. Hochst- und dauerleistungsfähigkeit des sportlers. **Munchen: Barth**, 1963.

WASSERMAN, K.; MCILROY, M.B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients. **Am J Cardiol** 14: 844-52, 1964.

MEYER, T.; LUCIA, A.; EARNEST, C.P. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters: theory and application. **Int J Sports Med**, 26 Suppl. 1: S38-48, 2005.

MCLELLAN, T.M. The anaerobic threshold: concept and controversy. **Austr J Sci Med Sport**, 19 (2): 3-8, 1987.

DICKHUTH, H.H.; YIN, L.; NIESS, A. Ventilatory, lactatederived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. **Int J Sports Med**, 20 (2): 122-7, 1999.

FECHNER, G.T. Element der Psychophysik. Leipzig: Breitkopf und Hartel, 1860.

PASQUALI, L. Teoria e métodos de medida em ciências do comportamento. Brasília: Laboratório de Pesquisa em Avaliação e Medida - **Instituto de Psicologia - UnB:INEP**, 1996.

TREUTWEIN, B. Adaptive psychophysical procedures. **Vision Research**, p. 2503-2522, 1995.

EHRENSTEIN, W.H.; EHRENSTEIN, A. Psychophysical methods. In: Modern Techniques in Neuroscience Research. **Berlin/New York**, 1999.

BORG, G. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, IL: **Human Kinetics**, 1998.

PAGEAUX B.; Perception of effort in Exercise Science: Definition, Measurement and Perspectives. **European Journal of Sport Science**, 886 – 888, 2016.

BUCKWORTH, J.; DISHMAN, R. K. Exercise Psychology. Champaign, IL: **Human Kinetics**, 2002.

KRAUSE, M.P. Concurrent validity of a pictorial rating of perceived exertion scale for bench stepping exercise. **University of Pittsburgh**, 2010.

FARELL, B.; PELLI, D.G. Psychophysics methods, or how to measure a threshold, and why. *Vision Research: A Practical Guide to Laboratory Methods*. Oxford: **Oxford University Press**, p. 129-136, 1999.

EHRENSTEIN, W.H.; SCHRAUS, M. A computer-assisted test for the electrophysiological measurement of dynamic visual function based on motion contrast. **Journal of Neuroscience Methods**, p. 41-47, 1998.

ROBERTSON, R. J.; NOBLE, B. J. Perception of physical exertion: methods, mediators, and applications. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, 25, 407-452, 1997.

ROBERTSON, R. J. Development of the perceived exertion knowledge base: An interdisciplinary process. **International Journal of Sport Psychology**, 32, 189-196, 2001.

UTTER, A. C.; ROBERTSON, R. J.; NIEMAN, D. C.; KANG, J. Children's OMNI Scale of Perceived Exertion: walking/running evaluation. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 34(1), 139-144, 2002.

UTTER, A. C.; ROBERTSON, R. J.; GREEN, J. M.; SUMINSKI, R. R.; MCANULTY, S. R.; NIEMAN, D. C. Validation of the Adult OMNI Scale of perceived exertion for walking/running exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 36 (10), 1776-1780, 2004.

HOPKINS, W.; MARSHALL, S.; BATTERHAM, A.; & HANIN, J. (2009). Estatísticas progressivas para estudos em medicina esportiva e ciência do exercício. **Medicine Science in Sports Exercise**, 41 (1), 3, 2009.

BILLAT, V.L.; WESFREID, E.; KAPFER, C.; KORALSZTEIN, J.P.; MEYER, Y. Nonlinear dynamics of heart rate and oxygen uptake in exhaustive 10,000 m runs: influence of constant vs. freely paced. **The Journal of Physiological Sciences, Tokyo**, v.56, n.1, p.103-11, 2006.

MEYER, T.; FAUDE, O.; SCHARHAG, A.; URHAUSEN, W.; KINDERMANN, W. Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? **Br J Sports Med**, p. 622-625, 2004.

SAUNDERS, P.U.; PYNE, D.B.; TELFORD, R.D.; HAWLEY, J.A. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Med**, v.34; p. 465,485, 2004.

FOSTER, C.; LUCIA, A. Running economy: the forgotten factor in elite performance. **Sports Med**, v.37; p.316-319, 2007.

LIMA SILVA, A.E.; BERTUZZI, R.C.M.; PIRES, F.O.; BARROS, J.F.; GAGLIARDI, J.; HAMMOND, D.J. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. **Eur J Appl Physiol**, v.108; p. 1045-1053, 2010.

BERTUZZI, R.; NASCIMENTO, E.M.; URSO, R.P.; DAMASCENO, M.V.; LIMA SILVA, A.E. Energy system contributions during incremental exercise test. **J Sports Sci Med**, v.12; p. 454-460, 2013.

ROBERTSON, R.J. Perceived exertion for practitioners: rating effort with the OMNI Picture system. **Human Kinetics, Champaign**, 2004.

BORG, G. Psychological bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14:377–381, 1982.

JONES, A. M.; BURNLEY, M.; BLACK, M. I.; POOLE, D. C.; VANHATALO, A. The maximal metabolic steady state: redefining the 'gold standard'. **Physiol Rep**, 7 (10), 2019.

HALEY, B. An Analysis of Pacing Profiles of World-Class Racewalkers. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 8. 435-441, 2013.

ST. CLAIR GIBSON, A.; BADEN, D.A.; LAMBERT, M.I.; LAMBERT, E.V.; HARLEY, Y.X.; HAMPSON, D.; RUSSELL, V.A.; NOAKES, T.D. The conscious perception of the sensation of fatigue. **Sports Medicine Auckland**, v.33, n.3, p.167-76, 2003.

MAUGER, A.R., JONES, A.M., WILLIAMS, C.A. Influence of feedback and prior experience on pacing during a 4-km cycle time trial. **Medicine and Sciences in Sports and Exercise**. V. 41 (2): 451-458, 2009.

FOSTER, C.; HENDRICKSON, K.; PEYER, K.; REINER, B.; KONING, J.; LUCIA, A.; BATTISTA, R.; HETTINGA, F.; PORCARI, J.; WRIGHT, G. Pattern of developing the performance template. **Br J Sports Med**. 43(10):765-9, 2009.

TUCKER, R.; RAUCH, L.; NOAKES, T.D. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. **Pflugers Archiv**, p. 422-430, 2004.

BALDWIN, J.; SNOW, J.R.; GIBALA, J.M.; GARNHAM, A.; HOWARTH, K.; FEBBRAIO, M.A. Glycogen availability does not affect the TCA cycle or TAN pools during prolonged, fatiguing exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.94; p. 2181-2187, 2003.

BADEN, D.A.; MCLEAN, T.L.; TUCKER, R.; NOAKES, T.D.; ST CLAIR GIBSON. Effect of anticipation during unknown or unexpected exercise duration on rating of perceived exertion, affect, and physiological function. **Br J Sports Med**, p. 742-746, 2005.

MARCORA, S. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscle, heart and lungs. **Journal Applied Physiology**. V. 106:1060-2062, 2009.

LOHMAN, T.G.; ROCHE, A.F.; MARTORELL, R. Anthropometric Standardization Reference Manual Abridged Edition. Champaign, IL: **Human Kinetics**, 1988.

KIRBY, B. S.; WINN, B.J.; WILKINS, B. W.; JONES, A. M.; Interaction of exercise bioenergetics with pacing behavior predicts track distance running performance. **Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)**, v. 131, n. 5, p. 1532–1542, 2021.

PRYOR, J. L.; JOHNSON, E. C.; YODER, H. A.; LOONEY, D. P. Keeping pace: a practitioner-focused review of pacing strategies in running. **Strength & Conditioning Journal**, 42(1), 67-75, 2020.

DEANER, R. O.; ADDONA, V.; CARTER, R.E.; JOYNER, M. J.; HUNTER, S.K.; Fast men slow more than fast women in a 10 kilometer road race. **PeerJ**, v. 4, p. e2235, 2016.

CAIRD S.J., MCKENZIE A.D., SLEIVERT G.G. Biofeedback and relaxation techniques improves running economy in sub-elite long distance runners. **Med Sci Sports Exerc.** 1999; 31(5): 717–22.

NOAKES TD, S.T., CLAIR GIBSON A., LAMBERT E.V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. **Br J Sports Med.** 2005; 39: 120–4.

RENFREE A., MARTIN L., MICKLEWRIGHT D., ST CLAIR GIBSON A. Application of decision-making theory to the regulation of muscular work rate during self-paced competitive endurance activity. **Sports Med.** 2014; 44(2): 147–58.

TUCKER R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. **Br J Sports Med.** 2009; 43: 392–400.

DE MORREE H.M., KLEIN C., MARCORA S.M. Perception of effort reflects central motor command during movement execution. **Psychophysiology.** 2012; 49: 1242–53.

ESTEVE-LANAO J., LUCIA A., DEKONING J.J., FOSTER C. How do humans control physiological strain during strenuous endurance exercise? **Plos ONE.** 2008; 3: e2943.

SMIRMAUL B.P.C., DANTAS J.L., NAKAMURA F.Y. Application of decision-making theory to the regulation of muscular work rate during self-paced competitive endurance activity. **Sports Med.** 2014; 44(2): 147–58.

BRICK N., MACINTYRE T., CAMPBELL M. Attentional focus in endurance activity: new paradigms and future directions. **Int Rev Sport Exerc Psychol.** 2014; 7(1): 106–34.

LACAILLE R.A., MASTERS K.S., HEATH E.M. Effects of cognitive strategy and exercise setting on running performance, perceived exertion, affect, and satisfaction. **Psychol Sport Exerc.** 2004; 5(4): 461–76.

FILIPAS L., NERLI BALLATI E., BONATO M., LA TORRE A., PIACENTINI M. F. Elite Male and Female 800-m Runners' Display of Different Pacing Strategies During Season-Best Performances. **International Journal of Sports Physiology and Performance.** 2019; 1344-1348.