

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
INSTITUTO INTEGRADO A SAÚDE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO**

WANDRIANE DE VARGAS

**EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA NA COMPARAÇÃO DOS TESTES DE
EXERCÍCIO MÁXIMO INCREMENTAL E SUPRAMÁXIMO CONSTANTE**

Campo Grande
2023

WANDRIANE DE VARGAS

EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA NA COMPARAÇÃO DOS TESTES DE EXERCÍCIO
MÁXIMO INCREMENTAL E SUPRAMÁXIMO CONSTANTE

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do
Título de Mestre pela Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, sob orientação do Prof. Dr. Paulo de Tarso
Müller.

Campo Grande
2023

WANDRIANE DE VARGAS

EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA NA COMPARAÇÃO DOS TESTES DE EXERCÍCIO
MÁXIMO INCREMENTAL E SUPRAMÁXIMO CONSTANTE

Dissertação apresentada como requisito para defesa de Título de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento (PPGCMov.) do Instituto Integrado de Saúde (INISA), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).
Linha de pesquisa: Aspectos profiláticos e terapêuticos da atividade física em diferentes condições de saúde.

Campo Grande, 13 de março de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo de Tarso Guerrero Müller (Presidente)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof^a. Dr. Rodrigo Koch (Titular)
Centro Universitário da Grande Dourados

Prof. Dr. Hugo Alexandre de Paula Santana (Titular)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof. Dr. Thomaz Nogueira Burke (Suplente)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS

DEDICATÓRIA

A minha mãe Cleusa, meu pai Vanderlei (in memoriam), meu namorado David,
minhas irmãs Wanderléia e Diana e meus cunhados, Leandro (in memoriam) e Davi,
que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me encorajou e deu força, sabedoria, discernimento e entendimento por ação do Espírito Santo para seguir essa caminhada até aqui.

Agradeço a minha família, meu porto seguro, pelo apoio, compreensão e zelo em todos os momentos de dificuldades, cansaço e angústia, me dando todo suporte para que eu conseguisse chegar ao final!

Agradeço ao Prof. Dr. Paulo pelos ensinamentos, paciência e disponibilidade durante minha permanência como orientanda, reforço minha admiração pela docência que é digna e essencial.

Agradeço aos pesquisadores que me ajudaram para que esse trabalho fosse factível, Prof^a Dr^a. Christianne Faria de Coelho e pesquisadora Juliana Peroni Abrahão Barbosa.

Agradeço aos voluntários participantes da pesquisa que contribuíram para esse trabalho e em benefício da ciência.

RESUMO

VARGAS, W. EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA NA COMPARAÇÃO DOS TESTES DE EXERCÍCIO MÁXIMO INCREMENTAL E SUPRAMÁXIMO CONSTANTE. Campo Grande – MS, 2023. [Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul].

A eficiência ventilatória (EV) é medida através do nível de ventilação minuto (VE) relacionado com a remoção de CO₂ durante o teste de exercício cardiopulmonar (TECP). Um novo método foi desenvolvido para medir a EV ($\eta\dot{V}E - CO_2CR$), presumivelmente insensível a restrições ventilatórias, podendo revelar diferentes padrões entre os atletas, em correspondência com a aptidão aeróbica. Assim, o objetivo do estudo foi analisar a eficiência ventilatória obtida no teste incremental e supramáximo em atletas. Este estudo foi observacional, do tipo retrospectivo transversal, sobre base de dados secundários com as variáveis usuais $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir, slope e intercepto e o método novo $\eta\dot{V}E$ por meio do teste incremental e supramáximo. O estudo foi composto por 27 atletas, provenientes do projeto Medalha, que foram selecionados de forma não probabilística e por conveniência, que realizaram tanto teste supramáximo, como teste incremental, totalizando 54 testes. A relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope, intercepto, nadir, $\eta\dot{V}E$ e CO₂CR foram as variáveis analisadas no estudo. Quanto às variáveis demográficas, 89% dos indivíduos eram do sexo masculino e a média das idades foi de 36,3±8,1 anos. Tratando-se do índice de EV, foi identificada maior significância na relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope ($p<0,001$), $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ intercepto ($p=0,007$), $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir ($p<0,001$), na taxa de remoção de CO₂CR ($p<0,001$), assim como $\eta\dot{V}E$ ($p<0,001$). Com isso, conclui-se que o presente estudo demonstrou de forma inédita que eficiência ventilatória apresentou uma taxa de remoção CO₂ maior, e uma eficiência ventilatória mais significativa em relação ao teste supramáximo de verificação comparados ao teste incremental.

Palavras-chave: Eficiência Ventilatória; teste Incremental; teste Supramáximo.

ABSTRACT

VARGAS, W. VENTILATORY EFFICIENCY IN COMPARISON OF INCREMENTAL MAXIMUM EXERCISE AND CONSTANT SUPRAMAXIMUM EXERCISE TESTS. Campo Grande – MS, 2023. [Masters dissertation - Federal University of Mato Grosso do Sul].

Ventilatory efficiency (VE) is measured through the level of minute ventilation related to CO₂ removal during cardiopulmonary exercise testing (CPET). A new method was developed to measure EV ($\eta\dot{V}E - CO_2CR$), presumably insensitive to ventilatory restrictions, which may reveal different patterns among athletes, in correspondence with aerobic fitness. Thus, the objective of the study was to analyze the ventilatory efficiency obtained in the incremental and supramaximal tests in physically active individuals. This was an observational, cross-sectional retrospective study, based on secondary data with the usual variables $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir, slope and intercept and the new method $\eta\dot{V}E$ through the incremental and supramaximal test. The study consisted of 27 athletes, from the Medalha project, who were selected in a non-probabilistic way and for convenience, who performed both a supramaximal test and an incremental test, totaling 54 tests. The $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope, intercept and nadir rate, $\eta\dot{V}E$ and CO_2CR were the variables analyzed in the study. As for demographic variables, 89% of individuals were male and the mean age was 36.3 ± 8.1 years. Regarding the EV index, greater significance was identified in the $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope rate ($p<0.001$), $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ intercept ($p=0.007$), $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir ($p<0.001$), CO_2CR removal rate ($p<0.001$), as well as $\eta\dot{V}E$ ($p<0.001$). With this, it is concluded that the present study demonstrated in an unprecedented way that ventilatory efficiency presented a higher CO₂ removal rate, and a more significant ventilatory efficiency in relation to the supramaximal verification test compared to the incremental test.

Keywords: ventilatory efficiency; Incremental test; Supramaximal test.

LISTA DE ABREVIATURAS

CO ₂	Dióxido de carbono
TECP	Teste de exercício cardiopulmonar
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
VE	Ventilação minuto expirado
VC _{O₂}	Liberação de dióxido de carbono
VO ₂	Consumo de oxigênio
VC	Volume corrente
EM	Espaço morto
VEM	Volume de espaço morto
VT	Volume corrente
VVM	Ventilação voluntária máxima
ηVE	Novo índice de eficiência ventilatória
PaCO ₂	Pressão arterial de dióxido de carbono
PaO ₂	Pressão arterial de oxigênio
pH	Potencial de hidrogênio
EV	Eficiência ventilatória
FC	Frequência cardíaca
fR	Frequência respiratória
HAS	Hipertensão arterial sistêmica
IMC	Índice de massa corpórea
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
CO ₂ CR	Taxa real constante de remoção de CO ₂
CO ₂ -MCR	CO ₂ calculado á partir da VVM predita
LAFIR	Laboratório de Fisiopatologia Respiratória

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Comparação das variáveis do teste de exercício máximo incremental e supramáximo constante.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de dispersão exemplificando o ponto mais baixo (nadir) da relação de $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ por tempo.

Figura 2 - Gráfico de dispersão com linha de tendência e exemplo de equação de regressão linear para determinação do slope da relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$.

Figura 3 - Representação gráfica para exemplificar o cálculo para eficiência ventilatória $\eta\dot{V}E$.

Figura 4 - Gráfico da inclinação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope, intercepto, nadir, taxa real de remoção de CO_2 (CO_2 -CR) no teste incremental e supramáximo. Na qual todas as variáveis foram significativas no teste supramáximo (valor de $p < 0,001$ e p valor $p = 0,007$).

Figura 5 - Gráfico da taxa de inclinação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ foi igual a 31 l/min no teste supramáximo e a taxa de inclinação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ no teste incremental foi igual a 26 l/min.

Figura 6 – Demonstração gráfica da taxa nadir $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ também foi significativamente maior no teste supramáximo, com média \pm desvio padrão de $33,0 \pm 3,6$, diferente do teste incremental, que não foi significativo, com média \pm padrão desvio de $25,4 \pm 2,2$.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 DEFINIÇÃO DE EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA.....	13
2.2 DETERMINANTES FISIOLÓGICOS DA EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA	14
2.2.1 Integridade cardiopulmonar na remoção de CO ₂	14
2.2.2 Integridade Neuromuscular na resposta ventilatória.....	15
2.2.3 Comando central e resposta ventilatória	16
2.2.4 Integridade Quimiossensorial e resposta ventilatória.....	16
2.3 PROTOCOLO DE EXERCÍCIO E EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA.....	17
2.3.1 Teste incremental de exercício	17
2.3.2 Teste Supramáximo.....	18
2.3.3 Comparação entre os protocolos	18
2.4 IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA	18
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 GERAL	19
3.2 ESPECÍFICO	19
4. METODOLOGIA	19
4.1 DESENHO DO ESTUDO E AMOSTRA	19
4.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	20
4.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	20
4.4 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS	20
4.5 TESTES DE EXERCÍCIO.....	20
4.5.1 Protocolo Teste de Exercício Cardiopulmonar Incremental (TECPi).....	20

4.5.2 Teste Supramáximo.....	21
4.6 Determinação da Eficiência Ventilatória (Método Usual)	21
4.6.1 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir.....	22
4.6.2. $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope total	22
4.6.3. $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ intercepto.....	23
4.7 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA (NOVO MÉTODO).....	23
4.7.1 Taxa Constante de remoção de CO ₂ (CO ₂ -ACR)	23
4.7.2 $\eta\dot{V}E$ (Eficiência Ventilatória, %).....	24
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E ESTATÍSTICA	25
6. RESULTADOS.....	26
7. DISCUSSÃO.....	29
8. CONCLUSÃO	32
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
ANEXO A – SUBMISSÃO DA REVISTA.....	37

1. INTRODUÇÃO

A eficiência ventilatória é uma medida importante para o prognóstico e avaliação da dispnéia, e está relacionada a vários determinantes fisiológicos subjacentes aos ajustes ventilatórios/metabólicos, como quimiorrecepção, aferentes neurais periféricos, homeostase cardiovascular e relação ventilação-perfusão pulmonar, entre outros (McARDLE; KATCH; KATCH, 2011). Vários autores realizam as métricas de eficiência ventilatória testes incrementais quanto testes supramáximo. Em atletas, alguns estudos apontaram para resultados muito semelhantes, independente da modalidade do protocolo (PONIKOWSKI *et.al.*, 2001; Scott *et.al.*, 2000; NEDER, 2015).

Teste supramáximo de alta intensidade é uma modalidade estressora muito diferente, cujo teste de exercício mais curto e um limiar de lactato precoce podem influenciar marcadores de eficiência ventilatória, especialmente a relação ventilação minuto/dióxido de carbono ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) no valor mínimo (nadir) (ARENA *et.al.*, 2007). Além disso, as restrições ventilatórias em exercícios de alta intensidade (por exemplo, taxa de trabalho constante de alta intensidade) podem limitar o aumento da inclinação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$. Assim, o aumento da resistência das vias aéreas e a redução da complacência pulmonar poderiam atuar como um fator limitante, enviesando os resultados com base nos métodos usuais ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope) (SUN *et.al.*, 2002; RAMOS *et.al.*, 2013).

Para explorar as diferenças nos marcadores de eficiência ventilatória em atletas, alguns autores conseguiram aplicar um novo conceito de eficiência ventilatória, elucidando melhor as diferenças entre as duas modalidades de exercício (MULLER; SARAIVA, 2021).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DEFINIÇÃO DE EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA

Em 1982, Whipp *et.al.* relataram que se tratando de exercício moderado, existe uma relação linear entre a ventilação minuto (VE) e a produção de $\dot{V}CO_2$. Portanto, a ventilação pulmonar e o metabolismo durante o esforço físico são medidos através do índice de eficiência ventilatória (EV) (WHIPP *et.al.*, 1982).

A EV é determinada através do cálculo do slope da relação entre $\dot{V}E$ e produção de $\dot{V}CO_2$, utilizando o início do Teste de Exercícios Cardiopulmonar (TECP) até o limiar

ventilatório (LV), o ponto de compensação respiratória (PCR) e $\dot{V}O_2$ máx/pico, ou seja, através da razão $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ em pontos do TECP que incluem o LV, o PCR e o $\dot{V}O_2$ máx/pico (ARENA *et.al.*, 2007).

O volume de gás alveolar efetivo, que é depurado de CO_2 por minuto, foi definido por Harris em 1956 como $\eta\dot{V}E$, a qual deve ser considerada EV a quantidade de gás removido por unidade de ventilação total (HARRIS, 1956).

Para eliminar o CO_2 durante a hiperpnéia de exercício, $\eta\dot{V}E$ foi apresentada como taxa constante em um novo método, durante o aumento das demandas metabólicas no exercício gradual. Esta abordagem tem como objetivo medir o volume crescente de CO_2 exalado por unidade de ventilação total e utilizado como marcador da troca gasosa ineficiente durante a hiperpnéia do exercício (RAMOS *et.al.*, 2013).

Sendo assim, calculava-se anteriormente o quanto a respiração estava aumentada ou diminuída para um determinado nível de produção de CO_2 , já com o novo método é aplicado um logaritmo apto a identificar o quanto de CO_2 é removido em um determinado aumento da ventilação pulmonar, capaz de produzir uma taxa de metabolismo para um nível de ventilação (MULLER; SARAIVA, 2021).

2.2 DETERMINANTES FISIOLÓGICOS DA EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA

2.2.1 Integridade cardiopulmonar na remoção de CO_2

O sistema respiratório tem como função principal manter a homeostase sanguínea, apesar do O_2 ser mais sensível e fundamental para a respiração celular, o CO_2 é o gás mais controlado pelo organismo (WHIPP, WARD, WASSERMAN; 1984 NEDER e NERY, 2002).

Convertido em bicarbonato nas hemácias, juntamente com a enzima anidrase carbônica, o CO_2 é transportado pelo sangue ligado à hemoglobina em torno de 20%, CO_2 dissolvido, cerca de 10% e através do bicarbonato (HCO_3), cerca de 70%; com isso nota-se que a maior concentração de CO_2 no corpo é de bicarbonato (GUYTON E HALL, 2011).

A ventilação aumenta proporcionalmente a demanda metabólica no exercício, ou seja, o dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$), para manter o equilíbrio ácido-base. Associado com ferramenta fisiológica comum juntamente e com variáveis como volume pulmonar e classificação subjetiva de dispneia, a resposta do $\dot{V}E$ em relação ao $\dot{V}CO_2$ reflete na eficiência ventilatória (NEDER e NERY, 2002).

O CO₂ possui grandes depósitos corporais, ou seja, é muito mais difusível que o O₂, portanto demorará mais tempo para apresentar mudanças em $\dot{V}CO_2$, quando se trata de alterações na concentração de CO₂ comparada com variações na concentração de O₂ em relação ao $\dot{V}O_2$ (FUNDAÇÃO VALE 2013).

2.2.2 Integridade Neuromuscular na resposta ventilatória

O Sistema Nervoso Central (SNC) controla e regula os movimentos do corpo humano e está intimamente relacionado com a contração de fibras musculares associadas com os impulsos neurais inibitórios e excitatórios, estimulando os neurônios e determinando seu potencial de ação (MAIOR; ALVES, 2003; WILMORE; COSTILL, 2001). Com isso, as fibras musculares sofrem impulsos excitatórios indo além dos impulsos inibitórios, dando início à contração muscular e consequente recrutamentos de unidades motoras (FUNDAÇÃO VALE 2013).

O centro respiratório ventral de neurônios fica situado no bulbo, anterior e lateral ao grupo dorsal de neurônios. As regiões dorsal e ventral se diferem em algumas funções como na inspiração e expiração. Alguns neurônios, do grupo ventral, através da estimulação elétrica, provocam inspiração, enquanto outros levam a expiração, sendo que muitas vezes, ao longo de uma intensa expiração, eles são importantes para os músculos abdominais. Portanto, esta área atua como mecanismo supra-regulatório, ou seja, quando o organismo é exposto a um alto nível de ventilação pulmonar, sobretudo em uma intensa atividade física (NEDER; NERY, 2002; GUYTON E HALL, 2011).

A intensidade da ventilação alveolar perante as exigências corpóreas, de modo que pressões de oxigênio e dióxido de carbono (PaO₂ e PaCO₂ respectivamente) pouco se alteram, mesmo quando expostas a atividades físicas intensas, é controlada pelo sistema nervoso (GUYTON E HALL, 2011).

A sincronização das unidades motoras está relacionada com o aumento da solicitação de fibras musculares durante os exercícios, pois ocorre maior velocidade de contração, aumentando consequentemente a capacidade dos músculos se contraírem. No entanto, a seleção dessas fibras motoras depende do tipo de exercício, ao qual o músculo será exposto, pois nem todas as fibras são solicitadas ao mesmo tempo (STEWART *et.al.*, 2011). Logo, o agrupamento e o estímulo das fibras musculares, sejam fibras do tipo I, IIa e IIb, para que ocorra a contração, decorrem do tamanho do seu motoneurônio por meio do

recrutamento das unidades motoras (INGLE *et.al.*, 2007; WILMORE; COSTILL, 2001; FUNDAÇÃO VALE, 2013).

Deste modo, o somatório dos impulsos nervosos recebidos pelas unidades motoras faz com que ocorra tanto a contração quanto o relaxamento muscular a partir de estímulos externos. Sendo assim, quanto maior for o impulso nervoso, maior será a quantidade de fibras recrutadas diante do estímulo aplicado (FOLLAND; WILLIAMS, 2007, FUNDAÇÃO VALE, 2013).

2.2.3 Comando central e resposta ventilatória

O controle da respiração acontece através de mecanismos neurais, ou seja, pelo SNC e neurônios motores e sensitivos e por meio de mecanismos humorais, como: pressão de oxigênio (PaO_2), pressão de gás carbônico (PaCO_2) e o potencial de hidrogênio (pH) (NEDER E NERY, 2002).

O centro respiratório age, quando o indivíduo está em repouso, por meio de fatores químicos, como CO_2 e de PaCO_2 , ou modifica por meio de uma atividade reflexa, resultada da atividade dos neurônios do bulbo, controlando a ventilação alveolar e a acidez, assim como o oxigênio, que também pode alterar a resposta ventilatória (WILMORE; COSTILL, 2001).

O córtex motor, centro cerebral superior, os pulmões e outros sensores do organismo são responsáveis por controlar a ventilação (McARDLE; KATCH; KATCH, 2011). A resposta ventilatória acontece por meio da regulação da ventilação pulmonar (GUYTON E HALL, 2011).

2.2.4 Integridade Quimiossensorial e resposta ventilatória

A respiração tem como principal objetivo o controle adequado de concentrações de O_2 , PCO_2 e H^+ no corpo, sendo os quimiorreceptores responsáveis por suas variações (GUYTON E HALL, 2011). Os quimiorreceptores podem ser centrais, localizados no bulbo, ou periféricos, localizados nos corpos carotídeos e aórticos, sendo o estado químico e gasoso do sangue que os envolve para o controle da resposta ventilatória (McARDLE; KATCH; KATCH, 2011).

Indivíduos com comorbidades, como insuficiência cardíaca congestiva (ICC), por exemplo, apresentam resposta ventilatória elevada ao exercício, sendo um dos fatores para a intolerância e dispneia de esforço. A inclinação e o nadir, ou seja, $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ elevado, normalmente estão atribuídos à hiperventilação e ao aumento dos quimiorreceptores, barorreceptores e ergorreceptores (PONIKOWSKI *et.al.*, 2001; SCOTT *et.al.*, 2000).

O controle da ventilação durante o exercício depende da associação de fatores neurogênicos, químicos e da temperatura corporal. Portanto, para que ocorra ajuste da resposta ventilatória durante o exercício, um conjunto de estímulos químicos e neurais, agindo simultaneamente, deve existir.

Com isso, entende-se que o controle da resposta ventilatória se dá através de estímulos centrais e químicos, sobretudo pela temperatura corporal, CO_2 e H^+ , respectivamente (McARDLE; KATCH; KATCH, 2011; FUNDAÇÃO VALE 2013).

2.3 PROTOCOLO DE EXERCÍCIO E EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA

2.3.1 Teste incremental de exercício

Ao longo do exercício incremental, uma variável utilizada para expressar a capacidade funcional do indivíduo é considerada o maior valor atingido, sendo ele o $\dot{V}O_2$ pico (ALMEIDA, 2018). Durante o exercício, limitando TECP, a relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, pode ser estabelecida plotando $\dot{V}E$ no eixo y e relativa à $\dot{V}CO_2$ no eixo x e determinada pela análise da inclinação (slope) dessa relação por meio de regressão linear (PHILLIPS; COLLINS; STICKLAND, 2020). Pesquisas prévias têm demonstrado que os limites de normalidade inferior e superior variam entre aproximadamente 21 a 31, respectivamente (SUN *et.al.*, 2002).

Utilizado para medir três parâmetros, o teste de exercício incremental mede o ponto de transição do metabolismo aeróbico para o anaeróbico, o início da hiperventilação induzida por acidemia metabólica e o pico de captação de O_2 , ou seja, é indicador utilizado para mensurar a aptidão cardiorrespiratória, consumo de O_2 , do indivíduo no pico do exercício e o limiar ventilatório (ALGUL, *et.al.*, 2017).

Quando se tem um aumento da intensidade do exercício, o organismo apresenta consequente aumento das trocas gasosas de O_2 e de CO_2 , fazendo com que o organismo intensifique seu funcionamento se ajustando para suprir os gases entre as respirações celular e pulmonar, caso esse aumento seja inesperado, e o sistema não consiga suprir a

demanda de energia, ocorrerá à produção anaeróbia, com tendência à produção de ácido láctico até a interrupção do exercício (ALGUL, *et.al*, 2017; FUNDAÇÃO VALE 2013).

2.3.2 Teste Supramáximo

As demandas metabólicas podem estabelecer uma determinada carga, por meio de teste supramáximo, o qual possibilita a avaliação das respostas pós-intervenção ou treino com as mesmas cargas, podendo ser ajustadas conforme a capacidade de sustentar uma determinada intensidade de exercício ou carga igual (ALGUL, *et.al*, 2017).

A transição repouso-exercício é considerada um importante indicador da aptidão ao exercício, pois o mesmo pode ser utilizado na avaliação das respostas, podendo ser utilizadas também para aferir a necessidade de oxigenioterapia em diferentes demandas metabólicas.

O protocolo supramáximo está incluindo: fase de repouso, onde o indivíduo repousa de 2-3 minutos ou mais; um período de exercício e um período de exercício na carga previamente definida (no mínimo 3-6 minutos ou até o limite da tolerância) e um período de recuperação ativa na carga zero (3-6 minutos, se possível) (NEDER E NERY, 2002).

2.3.3 Comparação entre os protocolos

Existem dois protocolos básicos com particularização nas respostas ao TECP: o incremental, onde se tem aumento de carga progressiva em períodos predeterminados, e o supramáximo, onde a carga se mantém estável por um tempo fixo também pré-determinado ou sustentado até o *endurance* do indivíduo fisicamente ativo (ALGUL *et.al*, 2017; WEATHERALD *et.al*. 2018).

2.4 IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA

A EV é definida como a medida da inclinação da ventilação em relação à saída de $\dot{V}CO_2$ durante o exercício incremental, abaixo do ponto de compensação respiratória (PCR) ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) (HOSHIMOTO – IWAMOTO *et.al.*, 2008).

A importância em medir a EV é que $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ é um marcador de prognósticos de inúmeras doenças, independente dos prognósticos relacionados ao exercício, como pico de captação de O_2 ($\dot{V}O_2$) (WEATHERALD, *et.al*, 2018).

A respiração passa por estresse metabólico, portanto quanto maior for o esforço imposto, mais real a EV. A ventilação pulmonar e o metabolismo durante o esforço físico são índices relevantes na EV.

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

Analisar a eficiência ventilatória obtida nos testes incrementais e supramáximo em atletas.

3.2 ESPECÍFICO

- Comparar $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope, nadir e intercepto no teste incremental X supramáximo;
- Comparar o novo método de calcular Eficiência Ventilatória ($\eta\dot{V}E$) nos dois protocolos.

4. METODOLOGIA

4.1 DESENHO DO ESTUDO E AMOSTRA

Os sujeitos deste estudo foram atletas, com prática desportiva regular em várias modalidades e foram recrutados prospectivamente a partir de desportos multimodalidades durante avaliação clínica, de desempenho físico e cognitivo longitudinal.

Os sujeitos foram convidados para três visitas durante o estudo. Na primeira visita, foi obtida uma explicação detalhada do estudo e termo de consentimento. Na segunda, um teste de esforço incremental gradual foi realizado e, no máximo em uma semana, um teste supramáximo foi aplicado.

Todos os indivíduos assinaram o termo de consentimento e foram avaliados em conformidade com a declaração de Helsink, e o estudo foi aprovado pelo comitê de ética local (número CAAE 63213122.4.0000.0021).

4.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

- Indivíduos com idade entre 18 a 60 anos;
- Indivíduos do sexo masculino e feminino;
- Que realizavam treino regular, no mínimo 4x por semana, em algum esporte ou competição específica.
- Indivíduos que realizam treinamento físico dedicando horas diariamente e ou semanalmente.

4.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

- Indivíduos com doenças prévias;
- Uso/abuso de medicamentos
- Não adesão ao protocolo do estudo.

4.4 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados entre setembro de 2018 a abril de 2019. Os atletas participaram de questionário *online*, elaborado previamente e testado pelo grupo de pesquisa, para levantamento de dados socioeconômicos, sociodemográficos, histórico clínico, histórico familiar de doenças, estilo de vida e comportamentos de saúde (sono, uso de álcool, tabaco, medicamentos, drogas, exames preventivos) e dados de treinamento (tipo de modalidade, especialidade, frequência, intensidade e duração dos treinos). Os questionários foram aplicados via sistema eletrônico do projeto Medalha ou no laboratório PENSARE.

Os participantes foram comunicados dos procedimentos do estudo e assinaram termo de consentimento aprovado pelo comitê de ética da UFMS.

4.5 TESTES DE EXERCÍCIO

4.5.1 Protocolo Teste de Exercício Cardiopulmonar Incremental (TECPi)

Um Teste de Exercício Cardiopulmonar Incremental (TCPEi) limitado por sintomas foi realizado em sala climatizada ($21\pm 1,2^{\circ}\text{C}$) no Laboratório de Fisiopatologia Respiratória – LAFIR do Departamento de Pneumologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), em uma esteira ABL Imbrasport para determinação dos Limiares Aeróbico e Anaeróbico, Consumo Máximo de Oxigênio e comportamento dos parâmetros de pressão arterial e eletrocardiograma durante o repouso e durante o exercício.

Adotou-se um protocolo incremental, iniciando com uma fase de aquecimento de 5 min a 8 km/h e repouso de 5-10 minutos (homens e mulheres), seguida da fase de exercício, na qual os homens iniciaram com 8 km/h até 15 km/h e mulheres com 6-7 a 13 km/h (1% de inclinação) com incrementos fixos de 1,5 km/h a cada 2 minutos até exaustão voluntária ou escala de esforço percebido=20 e/ou frequência cardíaca máxima (definida pela fórmula $220 - \text{envelhecer}$ ou atingir um platô no consumo de oxigênio).

Dados metabólicos e ventilatórios, como consumo de oxigênio ($\dot{V}\text{O}_2$), dióxido de carbono exalado ($\dot{V}\text{CO}_2$), volume minuto ($\dot{V}\text{E}$), seus componentes de frequência respiratória (FR) e volume corrente (VT) foram medidos por um sistema metabólico Cosmed (Cosmed, Itália), calibrado com duas concentrações sucessivas (High Precision Gases, GAMA GASES™, São Paulo, Brasil). A frequência cardíaca (FC) foi monitorada por meio de um sistema de ECG (Cardiosoft®, EUA, 2012), integrado ao sistema metabólico. A monitorização periférica contínua da oximetria digital (SpO_2) foi realizada por um sistema DIXTAL DX2010 (DIXTAL, Manaus, Brasil, 2010).

4.5.2 Teste Supramáximo

Dentro de uma semana após o TECPI, um teste de exercício supramáximo constante foi realizado. O teste consistiu em um *sprint* a 110% da velocidade máxima atingida durante o TECPI. A mesma monitoração metabólica cardiopulmonar, ventilatória e de troca gasosa não invasiva foi registrada neste teste fora da medida da pressão arterial.

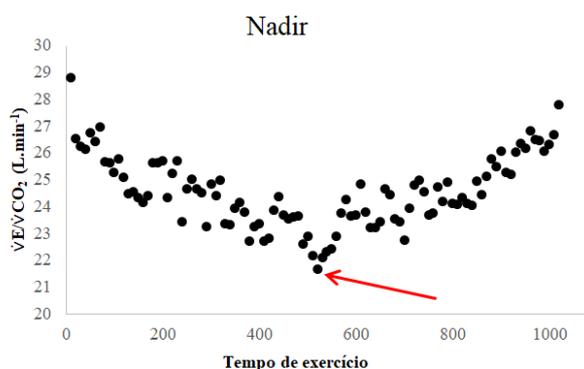
4.6 Determinação da Eficiência Ventilatória (Método Usual)

São três os critérios usuais para medir a EV: $\dot{V}\text{E}/\dot{V}\text{CO}_2$ nadir, $\dot{V}\text{E}/\dot{V}\text{CO}_2$ slope e $\dot{V}\text{E}/\dot{V}\text{CO}_2$ intercepto.

4.6.1 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir

Por ocorrer de forma independente da eficiência ventilatória e do excesso de resposta de $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ao exercício de baixa intensidade, o $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir é considerada a avaliação mais precisa da EV (WHIPP e WARD, 1982), sendo medido no ponto mais baixo da curva (HOSHIMOTO – IWAMOTO *et.al.*, 2008). Nadir é o ponto mais baixo da relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ao longo do TECP. $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ é elevada durante exercícios leves ao início do teste e diminui progressivamente, simultaneamente com VD/VT, ao seu menor valor, antes do ponto de compensação respiratória (WHIPP; WARD, 1982). Em indivíduos saudáveis, o $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir e o $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ correspondente ao limiar anaeróbio são frequentemente similares (SUN *et al.*, 2002) .

Figura 1 - Gráfico de dispersão do ponto mais baixo (nadir) da relação de $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ x tempo do exercício.



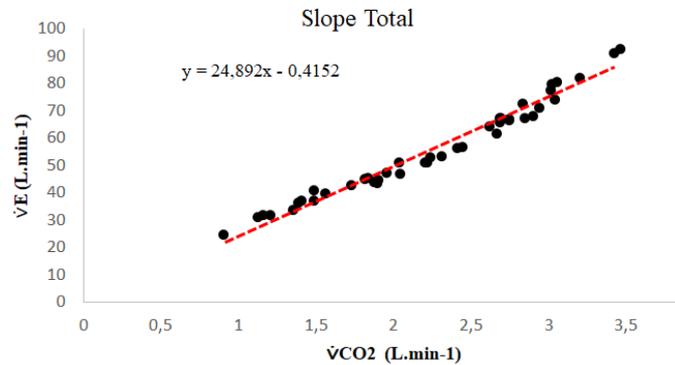
Fonte: elaborado pela autora, 2022.

4.6.2. $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope total

A relação linear entre a ventilação e a produção de gás carbônico é conhecida com slope de $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, ou seja, inclinação na relação $\Delta \dot{V}E/\Delta \dot{V}CO_2$ (ALMEIDA, 2018). O slope é considerado o indicador mais resistente da eficiência ventilatória, no qual assume respostas ventilatórias que não são prejudicadas por uma mecânica respiratória anormal (NEDER *et.al.*, 2017; PHILLIPS, COLINS E STICHLAND, 2020).

Durante o teste supramáximo incremental, a relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, pode ser estabelecida plotando $\dot{V}E$ (eixo y) relativa à $\dot{V}CO_2$ (eixo x) e determinada pela análise da inclinação (slope) dessa relação por meio de regressão linear (PHILLIPS; COLLINS; STICKLAND, 2020).

Figura 2 - Gráfico de dispersão com linha de tendência e exemplo de equação de regressão linear para determinação do slope da relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ no teste supramáximo incremental.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

4.6.3. $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ intercepto

Neder *et.al.*, 2015, relataram que a interceptação em y do $\dot{V}E$ para $\dot{V}CO_2$, ou seja, quando a relação for igual a zero ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2=0$) pode ser determinada análise de regressão, no entanto uma interceptação elevada de y é indicativo de deslocamento ascendente em $\dot{V}E$ para $\dot{V}CO_2$, sendo considerado também um critério de eficiência ventilatória em repouso ou durante exercícios de baixa intensidade, ou seja, início do TECP. Essa interceptação é também um importante critério na ineficiência ventilatória, pois é uma ferramenta que pode ser utilizada em casos onde o teste é interrompido prematuramente, já que não é necessário o esforço máximo (NEDER *et.al.*, 2015; SMITH *et al.*, 2019).

4.7 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA VENTILATÓRIA (NOVO MÉTODO)

4.7.1 Taxa Constante de remoção de CO₂ (CO₂-ACR)

A $\eta\dot{V}E$ se apresenta como taxa constante para remover o CO₂ dos pulmões durante a hiperpneia do exercício, tendo em vista o aumento das demandas metabólicas durante o exercício gradual. A força dessa abordagem é a de ser hipoteticamente independente de fatores de confusão ou limitantes, como ventilação desperdiçada, restrições ventilatórias mecânicas, hiperventilação primária ou alterações do ponto de ajuste de CO₂

(quimiorreflexo), pois se mede o volume crescente de CO₂ exalado por unidade de ventilação total, como marcador da ineficiência da troca gasosa durante a hiperpneia do exercício (NEDER, 2020; GUYTON E HALL, 2011). Com base neste princípio, adota-se a saída de CO₂ como variável dependente (eixo y) e $\dot{V}E$ como variável independente (eixo x) e para atingir uma taxa semiconstante de emissão de CO₂ toma-se o log₁₀ do $\dot{V}E$.

Durante essa construção semilogarítmica, o sinal $\dot{V}CO_2/\dot{V}E$ é descrito por uma função quadrática com o componente final da equação descrita com confiança por uma função linear verdadeira, esse coeficiente de inclinação é denominado como taxa constante de saída de CO₂ real (CO₂-ACR). Essa inclinação descreve a taxa de emissão de CO₂ durante o exercício gradual, para cada aumento de dez vezes na $\dot{V}E$ (MULLER; SARAIVA, 2020).

O $\eta\dot{V}E=100\%$ pode ser calculado de forma prática usando a ventilação voluntária máxima (VVM) predita, da seguinte forma $CO_2-CR=MVV*\max.FECO_2*0.863$, ou $CO_2-MCR=VVM*0.22*0.863$, em que as constantes 0,22 e 0,863 correspondem à fração de nitrogênio e fator de conversão em condições normais de pressão e temperatura para condições de pressão, temperatura e vapor de água saturados nos pulmões respectivamente. Pode-se então medir a taxa constante real da saída de CO₂ durante o exercício incremental (CO₂-CR) e representá-lo como uma proporção deste máximo teórico para obter a $\eta\dot{V}E = (CO_2-CR / CO_2-MCR) *100$ (MULLER; SARAIVA, 2020).

4.7.2 $\eta\dot{V}E$ (Eficiência Ventilatória, %)

A equação $\eta\dot{V}E$ é apresentada como um conceito de taxa constante para eliminar o CO₂ dos pulmões durante a hiperpneia na fase do exercício, sendo nesta fase que ocorre o aumento das demandas metabólicas.

A equação em questão é uma relevante abordagem, que pode ser considerada independente de fatores de confusão ou fatores limitantes, como: ventilação desperdiçada, restrições mecânicas, hiperventilação primária ou ainda alterações no ajuste de CO₂ (MULLER; SARAIVA, 2020).

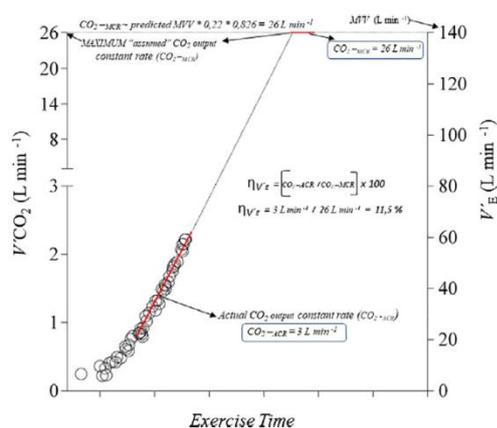
Por meio deste princípio, a variável dependente, ou seja, eixo y é a saída do CO₂ e o $\dot{V}E$, variável independente, eixo x e para se obter uma taxa semiconstante de exalação de CO₂, foi adotado o log₁₀ do $\dot{V}E$, como descrito por Baba *et.al.* (BABA *et.al.* 1996).

O sinal de $\dot{V}CO_2/\dot{V}E$ foi descrito por uma função quadrática $\dot{V}CO_2=a*\dot{V}E^2+b*\dot{V}E+c$ como equação final, durante a elaboração do semilog, e como equação final descrita como uma função linear verdadeira $b*\dot{V}E+c$.

Para chegar nessa equação, foi desenvolvido um *software* altamente confiável para realizar a inclinação, além de ser um programa personalizado no sistema de programação R® gratuito (<http://www.R-project.org/>). Porém, ele é semelhante à inclinação de eficiência de O_2 , o qual descreve a taxa de exalação do CO_2 durante o exercício gradual, para cada aumento de dez vezes de $\dot{V}E$. Este valor foi comparado diversas vezes, onde $\eta\dot{V}E = 100\%$ (MULLER *et al.*, 2018).

Com isso, $\eta\dot{V}E$ pode ser alcançado durante o exercício incremental se a captação completa de O_2 dos pulmões expirasse 0% e a de PCO_2 de 22%, embora seja inviável fisiologicamente, essa situação consegue fornecer limite superior teórico para a produção de dióxido de CO_2 (MULLER *et al.*, 2018; NEDER *et al.*, 2015; RAMOS *et al.*, 2013).

Figura 3 - Representação gráfica para exemplificar o cálculo para eficiência ventilatória $\eta\dot{V}E$.



Fonte: MULLER; SARAIVA, 2020. Neste gráfico de três eixos, a ventilação minuto foi exibida sem escala logarítmica e à direita para melhor exemplificar. A regressão linear da porção linear da função quadrática está retratada em vermelho, e o coeficiente linear ou a taxa real constante de remoção de CO_2 (CO_2 -ACR) é igual a 3L/min para esse sujeito em específico. A VVM prevista para esse sujeito é de 140L/min e a remoção teórica máxima possível de CO_2 predita baseada na VVM (CO_2 -MCR) seria de 26L/min. Assim, $(CO_2$ -ACR/ CO_2 -MCR)*100= 11,5%.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E ESTATÍSTICA

Os dados foram armazenados em Excel após download do gráfico metabólico, para testes *offline*. Os resultados foram apresentados como média \pm desvio padrão (DP) para

caracterização do grupo total. Comparações entre os testes foram utilizados testes t-Student pareados, após confirmação da distribuição paramétrica utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk. O nível de significância foi de 5% e todos os procedimentos estatísticos foram realizados com o auxílio do software GraphPad 6.0.

6. RESULTADOS

Participaram do estudo 27 indivíduos fisicamente ativos, que realizaram tanto teste de exercício incremental (TI) como teste supramáximo constante (TSC), totalizando 54 testes.

Quanto as variáveis demográficas, em relação ao sexo 89% dos indivíduos eram do sexo masculino e 11% do sexo feminino. Quanto à idade obtivemos uma média de $36,3 \pm 8,1$ anos (média \pm desvio padrão), já se tratando da massa corporal a média foi de $74,7 \pm 12,4$ kg e o índice de massa corporal foi de $25 \pm 2,4$ kg/m². A média da altura, medida em centímetros, encontrada dos participantes foi de $173 \pm 8,1$ centímetros. E quanto à VVM, medida em litros, obtivemos uma média de $168,4 \pm 23,3$.

Em relação à variável incremental e supramáximo observou-se nível de significância na FR com média de 50 ± 6 irpm no teste incremental e 55 ± 8 irpm no supramáximo (p-valor < 0,001). Outro dado significativo encontrado foi o volume corrente (VT) onde obtivemos média \pm desvio padrão de $2,6 \pm 0,5$ l/min no teste incremental e $2,4 \pm 0,5$ l/min no supramáximo (p-valor = 0,001). Quanto à frequência cardíaca (FC bpm) encontrou-se média \pm desvio padrão de 185 ± 8 bpm no teste incremental e 174 ± 12 bpm no teste supramáximo (p-valor < 0,001). Também foi estatisticamente significativo a relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, onde obtivemos média \pm desvio padrão de $30,4 \pm 2,3$ no teste incremental e $32,5 \pm 3,5$ no supramáximo (p-valor < 0,001) (TABELA 1).

Em relação às demais variáveis, não se obteve valores significativos tanto no teste incremental como no supramáximo (TABELA 1).

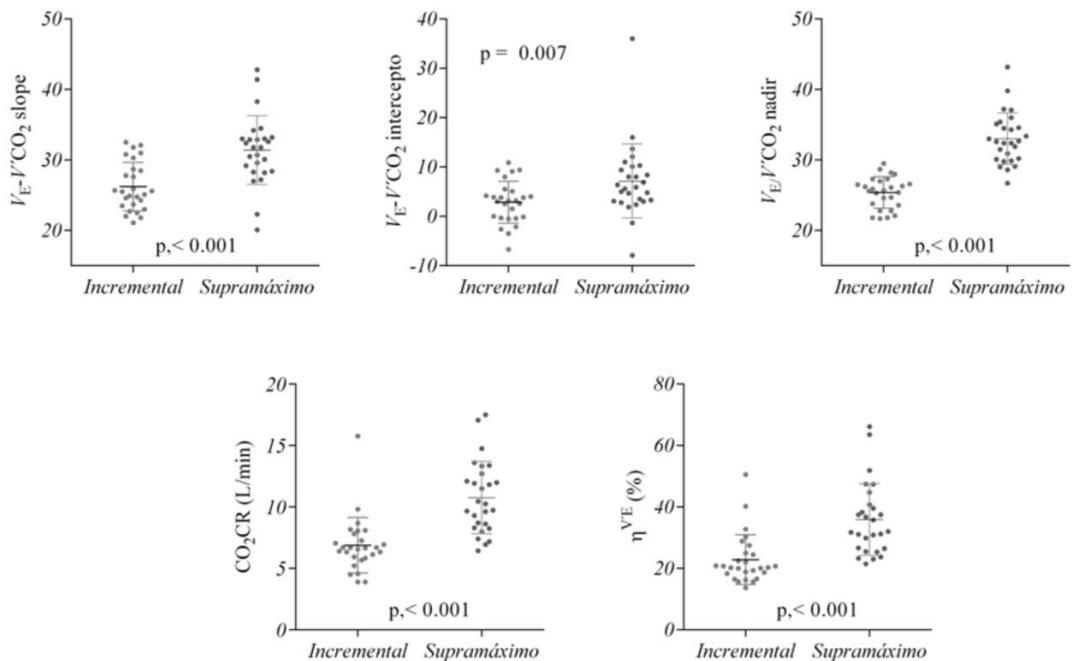
Tabela 1 Comparando variáveis selecionadas de TI e TSC.

Variáveis	Incremental (n=27)	Supramáximo (n=27)	p-valor
$\dot{V}O_2$, L*min	3.9±0.6	3.8±0.6	0.296
$\dot{V}O_2$, mL*Kg*min	52.3±7.7	52.9±7.5	0.956
V'_E , L*min ⁻¹	132±23	133±22	0.735
<i>fR</i> , irpm	50±6	55±8	<0.001
V_T , L*min ⁻¹	2.6±0.5	2.4±0.5	0.001
$\dot{V}O_2/FC$ bpm	21.8±3.6	22.3±3.6	0.100
FC, bpm	185±8	174±12	<0.001
$V'_{E_s}/V'CO_2$	30.4±2.3	32.5±3.5	<0.001
$V'_{E_s}/\dot{V}O_2$	34.1±4.0	34.5±4.3	0.408

FC: Frequência cardíaca; FR: Frequência respiratória; VT: Volume corrente; $\dot{V}O_2$: Consumo de oxigênio; V'_E : Volume minuto expirado; $V'CO_2$: Liberação de dióxido de carbono. Estatisticamente significativo se p-valor < 0,05.

Tratando-se do índice de eficiência ventilatória, foi identificada maior significância na relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope $p < 0,001$, $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ intercepto $p = 0,007$, $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir $p < 0,001$, na taxa de remoção de CO_2CR $p < 0,001$, assim como η_{VE} com $p < 0,001$, em relação ao teste supramáximo (figura 4).

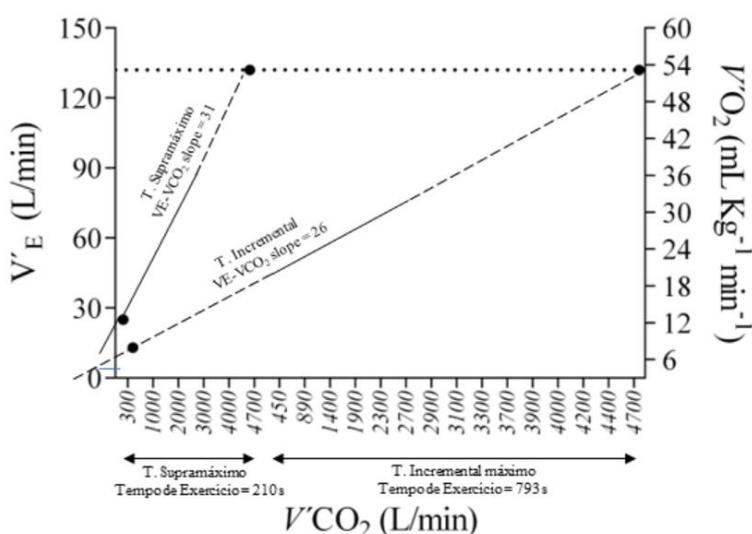
Figura 4 - Índice de Eficiência Ventilatória no teste Incremental e Supramáximo.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Na figura 5, conseguimos observar que a relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope foi igual a 31 l/min no teste supramáximo e a relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope no teste incremental foi igual a 26 l/min. Para melhor compreender a figura, na tabela 1 podemos ainda identificar que a $\dot{V}E$ obteve um valor de 132 l/min no teste incremental e 133 l/min no teste supramáximo, assim como $\dot{V}O_2$ Kg que foi identificado um valor de 52,3 mL/Kg/min e 52,9 mL/Kg/min tanto no teste incremental como no supramáximo respectivamente, justificando a finalização dos pontos em uma mesma linha, ou seja, ambos finalizam na mesma capacidade máxima do exercício (FIGURA 5).

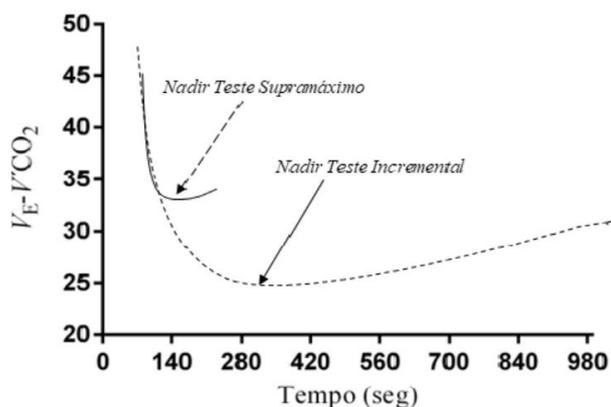
Figura 5 – Representação gráfica da relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ no teste incremental e supramáximo.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

A média do nadir foi significativamente maior no teste supramáximo, pois o teste foi mais curto, o qual durou somente 210 segundos, entrando em anaerobiose, ou seja, atingindo o ponto de compensação ventilatória precocemente, diferente do teste incremental, pois o tempo de exercício foi maior deixando o ponto mais baixo na curva. Com isso, a relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir também foi maior significativamente no teste supramáximo obtendo uma média±desvio padrão 33,0±3,6, diferente do teste incremental que não foi significativo, com média±desvio padrão 25,4±2,2 (FIGURA 6).

Figura 6 – Representação gráfica da relação \dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2} nadir no teste incremental e supramáximo.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

7. DISCUSSÃO

Na literatura, são poucos os estudos encontrados que analisam a eficiência ventilatória em testes incrementais e supramáximo em atletas. Neste estudo, conseguimos identificar um dado altamente importante e significativo em relação a este índice.

Fisiologicamente falando, o índice de eficiência ventilatória se atenta à ventilação pulmonar e o metabolismo durante o esforço físico em doentes. Por meio de pesquisas, o método atualmente utilizado para se medir esse índice, não conseguia especificar corretamente a real eficiência ventilatória, ou seja, expor como a respiração é estressada, durante o esforço físico, em um determinado nível de metabolismo (SAUER, PEREZ e CARLETTI, 2014).

No método clássico para se medir a eficiência ventilatória, que utiliza o slope, nadir e intercepto, se calculava quanto à respiração estava aumentada ou diminuída para um nível de metabolismo, ou seja, produção de CO_2 (ARENA et.al., 2007). No novo método ($\eta\dot{V}_E$) a métrica é realizada de quanto o organismo, para um determinado incremento de ventilação pulmonar, é capaz de eliminar o CO_2 , produto do metabolismo, através da aplicabilidade do logaritmo, nos permitindo produzir uma taxa de metabolismo para um nível de ventilação pulmonar (MULLER; SARAIVA, 2020).

A nova abordagem de medir EV em atletas, não está relacionada ao estado de condicionamento físico. Todavia, a eficiência da remoção de CO_2 ajustada para escala logarítmica e, ao que tudo indica uma taxa efetiva de remoção de CO_2 , está associada ao desempenho cardiometabólico para $\dot{V}O_2$ em atletas. A medida usual para EV, tanto

$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope, calculada desde o início ao final do exercício (total) e até o ponto de compensação respiratória, ou seja, slope 1, e $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ nadir, confirmam sua grande independência do estado de aptidão, pois indivíduos fisicamente ativos possuem maior resistência ventilatória que indivíduos não ativos (MULLER; SARAIVA, 2020).

Atualmente, o CO_2CR é um novo índice de eficiência ventilatória que expressa à capacidade dos pulmões em remover CO_2 durante o exercício, ou seja, a vantagem deste índice sobre o método usual é a insensibilidade do método a restrições ventilatórias, quimiossensibilidade ou atividade de ergorreceptores.

No presente estudo, conseguimos observar que os valores medidos foram significativamente maiores no teste supramáximo em relação às variáveis $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope, nadir e intercepto, assim como no estudo de Petek *et.al.* (2022), no qual eles trazem que se referindo a eficiência ventilatória em indivíduos saudáveis e que são submetidos ao TECP, excedem o limite de $\dot{V}CO_2$ total devido ao aumento que foram exposto no exercício tardio (PETEK *et.al.*, 2022).

No entanto Muller e Saraiva, ao comparar os resultados da eficiência ventilatória, o slope do $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ e o nadir do $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, não diferiram entre os participantes, entretanto o protocolo utilizado foi em pacientes com algum comprometimento pulmonar (MULLER e SARAIVA, 2020).

Alguns estudos já publicados também não obtiveram valores significativos de p, mostrando uma fraca correlação entre $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope e o $\dot{V}O_2$ máximo sugerindo uma limitação entre a EV e o desempenho físico, dado também encontrado no atual estudo, onde o p-valor não foi significativo (WASSERMAN, *et.al.*, 2012; ALGUL *et.al.*, 2017; SIETSEMA *et.al.*, 2020).

O $\dot{V}O_2$ máximo pode ser definido como o maior valor atingido, apesar do aumento progressivo da carga no teste de exercício incremental (NEDER & NERY, 2002; HERDY *et. al.*, 2016), no entanto a capacidade aeróbica, ou seja, a capacidade que o corpo tem de permanecer realizando esforço físico por um longo período de tempo, é considerada o melhor índice para avaliar a capacidade cardiorrespiratória, representando o nível máximo que se pode alcançar no metabolismo oxidativo envolvendo grandes grupos musculares (ATS, 2003; BALADY *et al.*, 2010).

A resposta da capacidade aeróbia é influenciada por mecanismo central e periférica, ou seja, cardiovascular e pulmonar e músculo esquelético, respectivamente (NEDER & NERY, 2002; ATS, 2003; HERDY *et al.*, 2016).

Em relação aos efeitos do treinamento sobre o $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope em indivíduos saudáveis, ainda são poucos os estudos e com poucas alterações neste sentido (SAUER *et.al.*, 2014). Entretanto quando a relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope no teste supramáximo for significativamente maior, ou seja, mais inclinado, ele apresenta um excesso de ventilação, o que significa maior ineficiência ventilatória, no entanto apesar dele apresentar excesso de ventilação, ele também apresenta uma extração maior de remoção de CO_2 , através da taxa de remoção de CO_2CR , nos mostrando ser um marcador de eficiência ventilatória ao invés de ineficiência. Portanto ele ventila em excesso no teste supramáximo, no entanto ele remove muito mais CO_2 e isso pode ocorrer devido o curto tempo de exercício, em média 210 segundos.

Similarmente já foi demonstrado em indivíduos um aumento da EV após protocolos de treinamento, atribuindo melhora do metabolismo oxidativo dos músculos (GUAZZI *et.al.*, 2004; CLARK *et.al.*, 1994; SAUER *et.al.*, 2014). Alguns estudos ainda identificaram que não existe alteração no $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope em indivíduos saudáveis e que foram expostos a protocolos de treinamento (SAUER, PEREZ e CARLETTI, 2014; CLARK *et.al.*, 1994).

Durante um esforço submáximo realizado em condições de equilíbrio, a relação $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ pode mostrar o tipo de substrato energético predominantemente oxidativo por efeito da atividade muscular sistemática realizada em condições aeróbias. O aumento da ventilação resulta em uma participação da glicólise na produção energética e aumento da concentração de lactato. O dióxido de carbono deve ser expulso pela expiração, dando origem a um aumento da ventilação, ou seja, maior eliminação de CO_2 , portanto o ponto de rotura da ventilação é a resposta fisiológica a um aumento de CO_2 metabólico (PEREIRA, 2017) dado esse que se liga ao nosso estudo através do excesso de ventilação e consequente remoção do CO_2 por meio do CO_2CR .

Sauer *et.al.*, 2014, conseguiram comprovar em seu estudo que um programa de treinamento pode sim melhorar a capacidade aeróbia refletida pelo $\dot{V}O_2$ pico e limiar ventilatório, acompanhado de alterações na EV. Ainda eles encontraram um aumento no $\dot{V}O_2$ pico e $\dot{V}O_2$ no LV, concomitante com o decréscimo no $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope. Durante o TECP, ou seja, após o treinamento, houve uma redução do impulso ventilatório requerido para eliminar uma dada quantidade de CO_2 . No entanto, Clark *et.al.*, 1994, não encontraram alterações na EV em seu estudo com indivíduos saudáveis e sedentários. (SAUER, PEREZ e CARLETTI, 2014; CLARK *et.al.*, 1994).

Hoshimoto *et.al.*, 2008, aplicaram os dois testes e identificaram que $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope não diferiu significativamente, sendo que a inclinação obtida no teste supramáximo foi

correlacionada de forma positiva no teste de exercício incremental (HOSHIMOTO *et.al.*, 2008), no entanto com um protocolo diferente. Assim como Algul *et.al.*, já em 2017, que também compararam os dois protocolos, com o objetivo de identificar a confiabilidade da relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ obtida por meio dos testes, e concluíram que também não foi estatisticamente diferente um protocolo do outro, indicando, portanto, que a relação entre a ventilação e a emissão de CO_2 é consistente, independente do teste proposto (HOSHIMOTO *et.al.*, 2008; ALGUL, *et.al.*, 2017).

A alta performance e aptidão cardiorrespiratória fazem com que os atletas consigam sustentar um esforço de exercício graduado superior ao segundo LV, e assim ocorre uma regressão linear, onde $\dot{V}E$ aumenta em relação ao $\dot{V}CO_2$ no exercício tardio, mesmo quando não apresentar alguma doença cardiopulmonar, no entanto essa elevação, quando medida até o final do exercício, pode confundir o prognóstico da doença (PETEK *et.al.*, 2018). Ainda alguns estudos descrevem que para indivíduos saudáveis, a inclinação é representada pela relação $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ e é registrada dentro de uma faixa entre 23 e 34, e ainda uma variação de 20 a 30 em VE/VCO_2 em ambos os pontos de exercício, sendo que valores acima de 34 podem ser um indicador de ineficiência ventilatória (WASSERMAN, *et.al.*, 2012; ALGUL *et.al.*, 2017) contrapondo o atual estudo.

8. CONCLUSÃO

Em conclusão, o presente estudo mostrou que o teste supramáximo de verificação de capacidade aeróbica apresenta “excesso ventilatório” para o método usual (nadir, slope e intercepto) comparado ao teste incremental.

O novo método de calcular eficiência ventilatória mostrou uma taxa de remoção de gás carbônico acelerada, e uma eficiência ventilatória maior para os testes supramáximo de verificação comparados aos testes incrementais.

Assim, o “excesso ventilatório” dos métodos usuais para o teste supramáximo está associado a uma taxa acelerada de remoção de gás carbônico, o que desafia o conceito de ineficiência ventilatória pelo método usual para os atletas no teste supramáximo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGUL, S.; UGUR, F.A.; AYAR, A.; OZCELIK, O. Comparative determination of ventilatory efficiency from constant load and incremental exercise testing. **Cellular and Molecular Biology**. E-ISSN : 1165-158X / P-ISSN : 0145-5680, 2017.

ALMEIDA, F.R. O valor prognóstico da eficiência ventilatória em pacientes com miocardiopatia dilatada. 2018. Tese (**Doutorado em Infectologia e Medicina Tropical**) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG.

ARENA, R. et al. The Minute Ventilation/Carbon Dioxide Production Slope is Prognostically Superior to the Oxygen Uptake Efficiency Slope. **Journal of Cardiac Failure**, v. 13, n. 6, p. 462–469, 2007.

ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. American Thoracic Society/ American College of Chest Physicians. **Am J Respir Crit Care Med** Vol 167. pp 211–277, 2003.

BALADY, GJ. Clinician’s Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults. **Circulation**. 2010;122:191-225.

CLARK AL, SKYPALA I, COATS AJ. Ventilatory efficiency is unchanged after physical training in healthy persons despite an increase exercise tolerance. **J Cardiovasc Risk**. 1994;1(4):347-51.

FOLLAND, J. P.; WILLIAMS, A. G. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. **Sports Med.**, v. 37, n. 2, p. 145-168, 2007.

FUNDAÇÃO VALE (BRASIL). Fisiologia do exercício. **Cadernos de referência de esporte**. Volume 2. Brasília, 2013.

GUAZZI M, et.al., Clinical Recommendations for 17 Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. **Circulation** 18 2012; 126(18):2261-2274.

GUYTON, A.; HALL, J. **Fisiologia médica**. [s.l: s.n.]v. 37, 2011.

HARRIS, E. A. (1956) Some Aspects of Pulmonary Ventilation During the Exercise Thesis. **Retrieved from era.lib.ed.ac.uk**.

<https://doi.org/10.1164/arrd.1984.129.2P2.S17>.

HERDY, AH et al. Cardiopulmonary Exercise Testing: Fundamentals, Applicability and Interpretation. **Arq Bras. Cardiol**. 2016; 107(5):467-481.

HOSHIMOTO-IWAMOTO, M.; KOIKE, A.; NAGAYAMA, O.; TAJIMA, A.; UEJIMA, T.; ADACHI, H.; AIZAWA, T.; WASSERMAN, K. Determination of the V.E/V.CO2 Slope from a Constant Work-Rate Exercise Test in Cardiac Patients. Masayo. **J. Physiol. Sci**. Vol. 58, No. 4; Aug. 2008; pp. 291–295. Online Jul. 24, 2008;

<https://doi.org/10.2170/physiolsci.RP006108>

INGLE, L.; GOODE, K.; CARROLL, S.; SLOAN, R.; BOYES, C. CLELAND, J.G. Prognostic value of the VE/VCO2 slope calculated from different time intervals in patients with suspected heart failure. **Int J Cardiol**. 2007; 118:350-5

MAIOR, A. S.; ALVÊZ, A. A contribuição dos fatores neurais em fases iniciais do treinamento de força muscular: uma revisão bibliográfica. **Motriz, Rio Claro**, v. 9, n. 3, p. 61-168, 2003.

McARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. Exercise physiology: energy, nutrition and human performance. 7.ed. Rio de Janeiro: **Editora Guanabara Koogan**, 2011.

MULLER, P. T.; UTIDA, K. A. M.; AUGUSTO, T. R. L.; SPREAFICO, M. V. P.; MUSTAFA, R. C.; XAVIER, A. W.; SARAIVA, E. F. (2018). Left ventricular diastolic dysfunction and exertional ventilatory inefficiency in COPD. **Respiratory Medicine**, 145, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2018.10.014>

MULLER, P. T.; SARAIVA, E. F. Ventilatory inefficiency during graded exercise in COPD: A pragmatic approach. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 41, n. 1, p. 103–109, 2020.

NEDER, J. A. et al. Exercise ventilatory inefficiency in mild to end-stage COPD. **European Respiratory Journal**, v. 45, n. 2, p. 377–387, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00135514>.

NEDER, J.A; NERY, L.E. Fisiologia clínica do exercício: teoria e prática. São Paulo: Artes Médicas, 2002. **J. Pneumol** 28 (Supl 3) – Outubro de 2002.

PEREIRA, J.G. Training physiology. Trainers Course Manual. Grade III. **Portuguese Institute of Sport**. 2017.

PETEK, B.J, WASFY, M.M. Cardiac adaption to exercise training: the female athlete. **Curr Treat Options Cardiovasc Med**. 2018;20(8):68

PHILLIPS, D.B.; COLLINS, S.É.; STICKLAND, M.K. Measurement and Interpretation of Exercise Ventilatory Efficiency. **Frontiers in Physiology**; Volume 11. Article 659.1 June 2020.

PONIKOWSKI, P.; CHUA, T.P.; FRANCIS, D.P.; CAPUCCI, A.; COATS, A.J.S.; PIEPOLI, M.F. Muscle ergoreceptor overactivity reflects deterioration in clinical status and cardiorespiratory reflex control in chronic heart failure. **Circulation**. 2001; 104 (19): 2324-30.

RAMOS, R.P.; ALENCAR, M.C.; TREPTOW, E.; ARBEX, F.; FERREIRA, E.M.; NEDER, J.A. Clinical usefulness of response profiles to rapidly incremental cardiopulmonary exercise testing. **Pulmonary Medicine**, 2013, 359021. <https://doi.org/10.1155/2013/359021>.

SAUER, D.; PEREZ, A.J.; CARLETTI, L. Effect of training on the Ventilatory Efficiency of healthy individuals. **Brazilian Journal of Sports Medicine** – Vol. 20, No 6 – Nov/Dec, 2014.

SCOTT, A.C.; FRANCIS, D.P.; DAVIES, L.C.; PONIKOWSKI, P.; COATS, A.J.; PIEPOLI, M.F. Contribution of skeletal muscle 'ergoreceptors' in the human leg to respiratory control in chronic heart failure. **J Physiol**. 2000 Dec 15;529 Pt 3(Pt 3):863-70. doi: 10.1111/j.1469-7793.2000.00863.x.

STEWART, D. et al. Muscle fiber conduction velocity during a 30-s Wingate anaerobic test. **J Electromyogr Kinesiol.**, v. 21, n. 3, p 418-422, Jun. 2011. [1 Epub].

SIETSEMA, K.E.; STRINGER, W.W.; SUE, D.Y.; WARD, S. Wasserman & Whipp's: principles of 30 exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications: 31 **Lippincott Williams & Wilkins**; 2020.

SUN, X.G. et al. Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 166, n. 11, p. 1443–1448, 2002.

WASSERMAN, K. et al. Exercise Test Principles and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications, **Lippincott Williams & Wilkins, Filadélfia, PA, USA, 5th edition**, 2012.

WEATHERALD, J.; SATTLER, C.; GARCIA, G.; LAVENEZIANA, P. Ventilatory response to exercise in cardiopulmonary disease: the role of chemosensitivity and dead space. **European Respiratory Journal**; 2018 Feb 7;51(2):1700860. <https://doi.org/10.1183/13993003.00860-2017>.

WHIPP, B.J.; WARD, S.A.; LAMARRA, N.; DAVIS, J.A.; WASSERMAN, K. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. **Journal of Applied Physiology**, 1982. 52(6), 1506–1513. <https://doi.org/10.1152/jappl.1982.52.6.1506>.

WHIPP, B.J.; WARD, S.A.; DAVIS, J.A.; WASSERMAN, K. Ventilatory responses to exercise and their control in man. **American Review of Disease**, 1984;129(2 Pt 2):S17-S20.

ANEXO A – SUBMISSÃO DA REVISTA



Dear Wandriane Vargas,

Thank you for your submission.

Submission ID	230058460
Manuscript Title	Ventilatory Efficiency in the Comparison of the Incremental Maximal and Constant Supramaximal Exercise Tests
Journal	Measurement in Physical Education and Exercise Science

You can check the progress of your submission, and make any requested revisions, on the [Author Portal](#).

Thank you for submitting your work to our journal.

If you have any queries, please get in touch with journalshelpdesk@taylorandfrancis.com.

Kind Regards,

Measurement in Physical Education and Exercise Science Editorial Office

