

## DO ANALÓGICO AO DIGITAL: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO DO DISPOSITIVO DIGITAL SONMOL VERSUS MANOVACUOMETRIA TRADICIONAL NO FORTALECIMENTO DA MUSCULATURA RESPIRATÓRIA EM ADULTOS SAUDÁVEIS

### FROM ANALOG TO DIGITAL: A RANDOMIZED CLINICAL TRIAL COMPARING THE SONMOL DIGITAL DEVICE AND TRADITIONAL MANOVACUOMETRY FOR RESPIRATORY MUSCLE STRENGTHENING IN HEALTHY ADULTS

Ana Flávia Dutra Campos Neves<sup>1</sup>, Bionda Aparecida dos Santos<sup>2</sup>, Emily Elize de Freitas  
Caproni<sup>3</sup>, Rafaella Rocha Figueiredo<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>UNIS, Varginha, MG, ana.neves4@alunos.unis.edu.br, 0009-0007-0085-3766

<sup>2</sup>UNIS, Varginha, MG, bionda.santos@alunos.unis.edu.br, 0009-0003-1310-9531

<sup>3</sup>UNIS, Varginha, MG, emily.caproni@alunos.unis.edu.br, 0009-0009-7583-3238

<sup>4</sup>UNIS, Varginha, MG, rafaella.figueiredo@professor.unis.edu.br, 0000-0003-4190-6207

## 1 INTRODUÇÃO

A respiração tem um papel fundamental para a manutenção da vida e influencia diretamente o desempenho físico, a capacidade de suportar esforços e a qualidade de vida em diferentes grupos de pessoas. Os músculos respiratórios desempenham papel fundamental não apenas na ventilação, mas também no suporte hemodinâmico e no desempenho funcional durante atividades cotidianas ou esportivas (FERREIRA et al., 2016). Segundo Fortes et al. (2019), alterações em sua função, seja por inatividade, condições crônicas ou pós-operatório podem comprometer a independência do indivíduo e aumentar o risco de complicações clínicas.

Nesse contexto, o treinamento muscular respiratório (TMR) tem sido apontado como uma estratégia eficaz tanto para a reabilitação quanto para melhora do desempenho esportivo. O TMR, promove fortalecimento da musculatura inspiratória e expiratória, resultando em adaptações morfofuncionais importantes, como hipertrofia do diafragma, mudanças no tipo de fibras musculares, melhora do controle neural, redução da dispneia e maior economia ventilatória (SHEI et al., 2018). Fernández et al. (2021) mostram que esses benefícios têm levado à expansão de seu uso não apenas em pacientes com limitações respiratórias, como também em atletas e adultos saudáveis, onde pode ser explorado como recurso ergogênico.

Entre os métodos de avaliação da força respiratória, destacam-se a pressão inspiratória máxima (PI<sub>máx</sub>) e a pressão expiratória máxima (PE<sub>máx</sub>), parâmetros amplamente utilizados como índices da força muscular, preditores de complicações e ferramentas diagnósticas e prognósticas (BESSA; LOPES; RUFINO, 2015). De forma tradicional, a PI<sub>max</sub> e a PE<sub>max</sub> são avaliadas pela manovacuometria analógica, que é um método considerado referência, porém apesar de suas vantagens, a técnica apresenta restrições, pois é dependente do avaliador, exigindo registro manual e não oferece feedback imediato, podendo comprometer tanto a confiabilidade quanto a adesão durante protocolos de treinamento e acompanhamento (HOLLEBEKE, 2021; PESSOA, 2014; PIRES, 2025; SILVEIRA, 2024).

A chegada da tecnologia digital trouxe mudanças significativas no cenário da avaliação e treinamento muscular respiratório. Dispositivos eletrônicos como POWERbreathe, Airofit, tecnologias de telerreabilitação baseadas em *Internet of Things* (IoT) e aplicativos móveis, possibilitam recursos como ajuste automático e preciso de carga, registro automatizado de dados, monitoramento remoto e, sobretudo, fornecem feedback em tempo real tanto ao paciente quanto ao fisioterapeuta (CHEN et al., 2023; HOLLEBEKE et al., 2021; KIRSTEN et al., 2023).

Embora o uso de dispositivos digitais esteja em crescimento, faltam estudos com indivíduos saudáveis que comparem respostas entre manovacuometria analógica e dispositivos modernos como o Sonmol. Compreender essa comparação é essencial para validar o Sonmol, avaliar adesão, precisão das medidas e motivação dos usuários. Este estudo investigará, em adultos saudáveis, os efeitos do TMR com o Sonmol em comparação à manovacuometria analógica, por meio de um ensaio clínico randomizado, abordando validade concorrente, adesão e engajamento, e oferecendo subsídios para a prática clínica, esportiva e tecnológica em fisioterapia respiratória.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

A função respiratória representa um componente central da homeostase corporal e quando essa função está comprometida, todo o metabolismo celular e os sistemas orgânicos podem sofrer consequências prejudiciais (HALL, 2017). Para Romani et al. (2017), a avaliação da função dos músculos respiratórios é indispensável, pois permite identificar alterações precoces, quantificar sua gravidade e acompanhar a resposta terapêutica em diferentes populações.

Um dos métodos mais utilizados na avaliação da função respiratória é a mensuração das pressões respiratórias máximas (PI<sub>máx</sub> e PE<sub>máx</sub>), que avalia diretamente a força dos músculos inspiratórios e expiratórios respectivamente, sendo considerada um teste simples, rápido, não invasivo, e amplamente aplicável na prática clínica (BESSA; LOPES; RUFINO, 2015). Segundo

Montemezzo et al. (2010), a mensuração das pressões respiratórias máximas possui utilidade tanto no diagnóstico quanto no acompanhamento terapêutico.

A força dos músculos respiratórios é um fator essencial em diferentes contextos clínicos, como no processo de desmame da ventilação mecânica, conforme evidenciado nos estudos revisados por Romani et al., (2017) e no desempenho funcional global do indivíduo, onde Simões et al. (2010) relataram associações positivas entre a força dos músculos respiratórios e dos membros inferiores, o que evidencia que déficits no sistema ventilatório podem repercutir no desempenho motor geral. Em indivíduos submetidos a cirurgias cardíacas, o TMI com dispositivos eletrônicos mostrou-se eficaz na preservação da força inspiratória, reduzindo complicações pulmonares no pós-operatório imediato (FORTES et al., 2019).

Do ponto de vista esportivo, o TMR tem sido estudado como recurso ergogênico. Pesquisas evidenciam que o treino respiratório pode diminuir a fadiga dos músculos respiratórios, reduzir a resposta exagerada do corpo ao esforço (metaborreflexo) e melhorar a eficiência da respiração, o que contribui para um melhor desempenho em esportes de resistência, como corrida, ciclismo e natação. (SHEI, 2018). Entre pessoas jovens e saudáveis, o TMI tem se mostrado eficaz ao potencializar a aptidão física relacionada à saúde e otimizar o padrão respiratório durante o esforço físico, reforçando a aplicabilidade do treinamento respiratório em contextos preventivos e de desempenho esportivo (FERNÁNDEZ et al., 2021).

Avanços tecnológicos vêm incorporando dispositivos digitais e eletrônicos capazes de registrar e armazenar dados automaticamente, além de mensurar variáveis adicionais, como trabalho respiratório e potência muscular (HOLLEBEKE et al., 2021). Segundo Torres et al. (2020), em muitos casos, o alto custo e a disponibilidade limitada dos equipamentos levam ao uso de manômetros digitais mais acessíveis, que apresentam resultados semelhantes aos de referência, mas ainda precisam de validação para uso clínico.

No treinamento dos músculos respiratórios, aparelhos eletrônicos como o POWERbreathe se destacam porque conseguem ajustar automaticamente a resistência de acordo com a inspiração do usuário, tornando o treino mais confortável e eficaz. (FORTES et al., 2019). Além disso, o uso de dispositivos digitais modernos possibilita a avaliação em tempo real de parâmetros como trabalho respiratório e potência muscular, oferecendo dados automatizados tanto para o fisioterapeuta quanto para o paciente, otimizando a prescrição e o acompanhamento do TMI (HOLLEBEKE et al., 2021).

As inovações também avançaram para o ambiente domiciliar, com programas de reabilitação respiratória monitorados por Internet das Coisas (IoT). Chen et al. (2023) realizaram um estudo onde pacientes com DPOC fizeram TMR domiciliar com dispositivos conectados e

apresentaram melhora da função pulmonar, força respiratória e capacidade de exercício, além de menor dispneia, ansiedade e readmissões, demonstrando que a telerreabilitação é segura e eficaz.

Outro avanço recente é a integração de aplicativos móveis com dispositivos de treinamento respiratório, permitindo guiar, monitorar e adaptar o treino remotamente. Um estudo com o dispositivo Airofit Pro mostrou alta adesão dos pacientes, devido à simplicidade de uso e à orientação pelo aplicativo, representando uma estratégia promissora para reabilitação (KIRSTEN et al., 2023).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Tipo de Estudo**

Ensaio clínico randomizado, paralelo, 1:1, controlado, com avaliador e estatístico cegos.

#### **3.2 Local de Estudo**

A pesquisa será realizada no Laboratório/ambulatório universitário do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS

#### **3.3 Critérios de Inclusão e Exclusão**

Os critérios de inclusão serão:

- Idade 18–45 anos;
- Ausência de doença crônica autodeclarada e sem uso regular de medicamentos respiratórios;
- Capacidade para realizar testes respiratórios e exercício leve;
- Assinatura do TCLE.

Os critérios de exclusão serão:

- História de DPOC, asma, doenças neuromusculares, insuficiência cardíaca ou cirurgia torácica/abdominal recente (<3 meses);
- Uso de medicamentos que interfiram na função respiratória (corticóides sistêmicos recentes, etc.);
- Gravidez;
- Incapacidade cognitiva para seguir protocolos.

### **3.4 Amostra**

Serão selecionados 60 adultos saudáveis, 18–45 anos, sem doença respiratória, neuromuscular ou cardiovascular conhecida, não fumantes ou ex-fumantes com <10 anos de tabagismo acumulado e sem sintomas respiratórios.

### **3.5 Aspectos éticos e esclarecimentos sobre o estudo**

Os participantes do estudo serão convidados a participar voluntariamente da pesquisa. Para isso, serão submetidos ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) seguindo a normatização lei 466/12, no qual constará que não haverá nenhum risco para a realização do teste, contudo se houver o risco de desconforto leve, dor de cabeça, tontura, cansaço ou falta de ar durante a execução dos testes ou do treinamento respiratório, será solucionado com a interrupção imediata da atividade, repouso supervisionado e acompanhamento pelo pesquisador responsável até completa recuperação.

Ainda, quanto ao benefício ao participante, se houver benefício direto será de melhora da força e resistência da musculatura respiratória, favorecendo o condicionamento físico e ventilatório, e indireto de contribuir para o avanço científico da fisioterapia respiratória e validação de novas tecnologias digitais aplicadas à avaliação e ao treinamento muscular respiratório. Assinando este termo, o voluntário concordará com sua participação voluntária na pesquisa.

### **3.6 Avaliações**

Será utilizado uma Ficha de Avaliação dos Participantes, contendo dados de identificação, histórico de saúde e parâmetros fisiológicos coletados antes e após o período de treinamento.

Realizar-se-á em ambiente controlado no Laboratório/ambulatório universitário do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, e será realizada a avaliação inicial e reavaliação final.

Todos os dados serão registrados individualmente na ficha de avaliação e utilizados apenas para fins científicos, garantindo o sigilo das informações dos participantes.

#### **3.6.1 Protocolo de Avaliação e Treinamento Respiratório**

##### **A) Avaliação com manovacuômetro analógico**

A avaliação da força muscular respiratória será realizada por meio da manovacuometria analógica, utilizando manovacuômetro devidamente calibrado, com escala em cmH<sub>2</sub>O e bocal anatômico descartável. O participante será avaliado em posição sentada, com tronco ereto e pés

apoiados no chão, utilizando clipe nasal para evitar fuga de ar. Antes do teste, será explicado o procedimento e realizada uma breve familiarização com o equipamento.

Pressão inspiratória máxima:

1. O participante expira até o volume residual e, em seguida, realiza uma inspiração máxima sustentada contra o bocal ocluído.
2. O esforço deve ser mantido por pelo menos 1,5 a 2 segundos.
3. São realizadas três manobras válidas e reprodutíveis, com intervalo de 1 minuto entre elas.
4. O maior valor obtido é considerado para análise.

Pressão expiratória máxima:

1. O participante inspira até a capacidade pulmonar total e, em seguida, realiza uma expiração máxima contra o bocal ocluído.
2. Mantém o esforço por 1,5–2 segundos.
3. Também são realizadas três medidas válidas e o maior valor é registrado.

Todos os valores de PImáx e PEmáx serão anotados na ficha de avaliação individual, identificando se estão dentro dos valores previstos para idade e sexo segundo as equações de referência (Pessoa et al., 2014).

## B) Avaliação com o dispositivo digital Sonmol

A aferição digital da força muscular respiratória será realizada com o dispositivo eletrônico Sonmol, que possui manômetro digital interno, seis níveis de resistência ajustáveis e conectividade com aplicativo móvel, eRMT App, para registro das medidas. Cada participante utilizará bocal individual descartável e filtro bacteriano/viral universal acoplado entre o bocal e o aparelho. O dispositivo será higienizado externamente com pano úmido e álcool 70%, sem imersão em líquidos. Antes de cada sessão, o dispositivo será ligado e calibrado conforme instruções do manual do fabricante. No aplicativo eRMT, será criado um perfil de usuário para cada participante, permitindo registrar as medidas de MIP (PImáx) e MEP (PEmáx) e acompanhar o histórico.

Execução do teste

1. O participante permanece sentado, com clipe nasal.
2. O avaliador seleciona no app o modo de “medição de força”.

3. Para a P<sub>Imáx</sub>, o participante expira até o volume residual e realiza uma inspiração máxima através do bocal; o valor é exibido automaticamente no visor e no aplicativo.
4. Para a P<sub>Emáx</sub>, o participante inspira até a capacidade pulmonar total e realiza uma expiração máxima.
5. São realizadas três tentativas válidas para cada medida, com intervalo de 1 minuto entre elas; o maior valor é armazenado pelo sistema.

O aplicativo apresenta os resultados em tempo real e fornece gráficos de pressão, tempo e volume. Todas as medidas digitais serão posteriormente comparadas com os valores obtidos na avaliação analógica, para verificar validade concorrente entre os métodos.

### C) Protocolo de Treinamento da Força Inspiratória

O treinamento muscular inspiratório (TMI) será realizado durante 8 semanas.

A carga de treinamento será ajustada para 40% da P<sub>Imáx</sub> obtida na avaliação inicial, podendo ser aumentada gradualmente, até 60%, conforme a tolerância e a evolução do participante.

Estrutura de cada sessão:

1. Aquecimento respiratório: 2–3 minutos de respiração diafragmática e expansões torácicas leves.
2. Treinamento principal: 30 incursões inspiratórias, divididas em 3 séries de 10, com intervalo de 1 minuto entre as séries.
3. Monitoramento: ao término de cada série, o participante classifica o esforço na Escala de Borg (0–10).

### Grupo sonmol

- O treino será guiado pelo aplicativo eRMT, que ajusta automaticamente a resistência e fornece feedback visual em tempo real.
- O dispositivo registra o número de repetições, tempo total e carga aplicada, armazenando os dados no histórico do usuário.
- O avaliador supervisiona a execução e confere as informações no app após cada sessão.

### Grupo manovacuômetro analógico

- O treino será realizado utilizando o manovacuômetro analógico com válvula de resistência ajustável manualmente.

- O avaliador ajustará a carga de forma proporcional à P<sub>Imáx</sub> inicial (40–60%), utilizando o mesmo número de repetições e séries do grupo digital.
- As medidas de esforço e adesão serão registradas manualmente em planilha.

#### Adesão e segurança

A adesão será expressa pelo percentual de sessões concluídas. Durante o treino, caso o participante apresente tontura, dispneia intensa, dor torácica ou cefaleia, a sessão será interrompida e reavaliada após repouso.

#### Reavaliação pós-intervenção

Ao término das 8 semanas, todos os participantes serão reavaliados com os mesmos procedimentos descritos anteriormente (P<sub>Imáx</sub>, P<sub>Emáx</sub>, Borg, TC6, SUS). Os valores de pré e pós-intervenção serão comparados estatisticamente entre os grupos.

## **4 RESULTADOS ESPERADOS**

Espera-se que ambos os grupos, sonmol e manovacuometria analógica, apresentem ganhos na força muscular respiratória, especialmente na P<sub>Imáx</sub>, após oito semanas de TMR. Espera-se também que os grupos apresentem melhora na capacidade funcional e redução da percepção de esforço ao longo das.

Com feedback em tempo real, registro automático e ajuste preciso da carga, espera-se que o grupo Sonmol apresente maior adesão, controle do esforço e usabilidade em relação ao método analógico.

Do ponto de vista da mensuração, prevê-se que as medidas de P<sub>Imáx</sub> e P<sub>Emáx</sub> pelo Sonmol apresentem boa concordância com a manovacuometria tradicional, alinhando-se a estudos que mostram equivalência entre manômetros digitais, analógicos e dispositivos de TMR.

Por fim, espera-se que o dispositivo digital demonstre vantagem em aspectos de engajamento, facilidade de uso, registro automatizado e motivação, podendo, no futuro, representar uma alternativa acessível e eficiente para programas de treinamento muscular respiratório em adultos saudáveis.

## REFERÊNCIAS

BESSA, Elizabeth Jauhar Cardoso; LOPES, Agnaldo José; RUFINO, Rogério. A importância da medida da força muscular respiratória na prática da pneumologia. Pulmão RJ: Revista de Pneumologia e Tisiologia do Estado do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-764339>. Acesso em: 28 set. 2025

CHEN, Y. et al. Effectiveness of an Internet of Things-based inspiratory muscle training program for patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38800522/>. Acesso em: 28 set. 2025.

FERNÁNDEZ, D. et al. Inspiratory Muscle Training Program Using the PowerBreath: Does It Have Ergogenic Potential for Respiratory and/or Athletic Performance? A Systematic Review with Meta-Analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/13/6703>. Acesso em: 13 set. 2025.

FERREIRA, A. G. et al. Comparação entre a pressão inspiratória máxima aferida pelo manovacuômetro digital e pelo dispositivo eletrônico de TMI. Scientia Medica (PUCRS), 2016. Disponível em: <https://revistaseletronicas.pucrs.br/scientiamedica/article/view/22678/14212>. Acesso em: 28 set. 2025.

FORTES, J. V. S. et al. Efeitos do treinamento muscular inspiratório usando um dispositivo eletrônico em pacientes submetidos à cirurgia cardíaca: um ensaio clínico randomizado. International Journal of Cardiovascular Sciences, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/ijcs/a/vNPX5xM8jbGxfscHZHcpjy/>. Acesso em: 13 set. 2025.

HALL, John E. Guyton e Hall: tratado de fisiologia médica. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

HOLLEBEKE, M. et al. Measurement validity of an electronic training device to assess breathing characteristics during inspiratory muscle training in patients with weaning difficulties. PLOS ONE, 2021 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34437582/>. Acesso em: 28 set. 2025.

KIRSTEN, J. et al. Respiratory muscle training with an app-based device improves persistent shortness of breath in patients after SARS-CoV-2 infection: a randomized controlled trial. Disponível em: <https://www.germanjournalsportsmedicine.com/archive/archive-2023/issue/respiratory-muscle-training-with-an-app-based-device-improves-persistent-shortness-of-breath-in-patients-after-sars-cov-2-infection-a-randomized-controlled-trial>. Acesso em: 13 set. 2025.

MONTEMEZZO, D. et al. Pressões respiratórias máximas: equipamentos e procedimentos usados por fisioterapeutas brasileiros. Fisioterapia e Pesquisa, 2010 Disponível em: <https://www.scielo.br/jfp/a/QBGtwyztRCGYdtGbbxbL34L/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2025.

PESSOA, I. et al. Equações preditivas para força muscular respiratória segundo diretrizes internacionais e brasileiras. Revista Brasileira de Fisioterapia, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfis/a/8cMsnDRDnYBcwXWXPhgtnBh/?format=html&lang=en>. Acesso em: 29 set. 2025.

PIRES, T. et al. Propriedades psicométricas de testes volitivos usados para medir a força e a resistência dos músculos respiratórios: uma revisão sistemática. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11890114/>. Acesso em: 29 set. 2025.

ROMANI, J. C. P.; MIARA, N.; CARREDORE, M. J. K. Avaliação clínica da função dos músculos respiratórios em adultos: Revisão da literatura. Caderno Da Escola De Saúde, 2017. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.unibrazil.com.br/index.php/cadernossaude/article/view/2398>. Acesso em: 28 set. 2025.

SHEI, Ren-Jay. Recent advancements in our understanding of the ergogenic effect of respiratory muscle training in healthy humans: a systematic review. Journal of Sports Science & Medicine, 2018. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6105530/>. Acesso em: 28 set. 2025.

SILVEIRA, B. et al. Confiabilidade e validade das pressões respiratórias máximas. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38688546/>. Acesso em: 29 set. 2025.

SIMÕES, L. et al. Relação da função muscular respiratória e de membros inferiores de idosos comunitários com a capacidade funcional avaliada por teste de caminhada. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfis/a/JQgc9dnZktdmhsXgBnSJfnF/?lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2025.

TORRES, R. et al. Concordância entre manômetro digital clínico e não clínico para avaliação de pressões respiratórias máximas em indivíduos saudáveis. *PLOS ONE*, 2019. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6812781/>. Acesso em: 13 set. 2025.