



**PROGRAMA**  
DE CIÊNCIAS  
DA REABILITAÇÃO

CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências da Reabilitação

Mestrado Acadêmico em Ciências da Reabilitação

LAURO DOS SANTOS FERNANDES

**PARÂMETROS ULTRASSONOGRÁFICOS MUSCULARES COMO  
PREDITORES INDEPENDENTES DE COMPROMETIMENTO  
FUNCIONAL NA DPOC: VALIDAÇÃO DE PONTOS DE CORTE E SUA  
CORRELAÇÃO COM A CLASSIFICAÇÃO COM A CLASSIFICAÇÃO  
ABE**

RIO DE JANEIRO

2026

LAURO DOS SANTOS FERNANDES

**PARÂMETROS ULTRASSONOGRÁFICOS MUSCULARES COMO  
PREDITORES INDEPENDENTES DE COMPROMETIMENTO  
FUNCIONAL NA DPOC: VALIDAÇÃO DE PONTOS DE CORTE E SUA  
CORRELAÇÃO COM A CLASSIFICAÇÃO ABE.**

**Dissertação** apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação, do Centro Universitário Augusto Motta, como parte dos requisitos para obtenção do título de **Mestre** em Ciências da Reabilitação.

Linha de Pesquisa: Avaliação Funcional em Reabilitação

Orientador: Luis Felipe Fonseca Reis

RIO DE JANEIRO

2026

Autorizo a reprodução e a divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio, convencional ou eletrônico, para fins de estudo e de pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA  
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e  
Informação – SBI – UNISUAM

615.8 Fernandes, Lauro dos Santos  
F363p Parâmetros ultrassonográficos musculares como preditores independentes de comprometimento funcional da DPOC: validação de pontos de corte e sua correlação com a classificação ABE / Lauro dos Santos Fernandes – Rio de Janeiro, 2026.  
115p.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Reabilitação) - Centro  
Universitário Augusto Motta, 2026.

1. DPOC. 2. Músculos respiratórios. 3. Avaliação ultrassonográfica. I.  
Título.

CDD [22.ed.](#)

LAURO DOS SANTOS FERNANDES

**PARÂMETROS ULTRASSONOGRÁFICOS MUSCULARES  
COMO PREDITORES INDEPENDENTES DE  
COMPROMETIMENTO FUNCIONAL NA DPOC: VALIDAÇÃO DE  
PONTOS DE CORTE E SUA CORRELAÇÃO COM A  
CLASSIFICAÇÃO ABE.**

Examinada em: 24/03/2026

---

Luis Felipe da Fonseca Reis  
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM

---

Agnaldo José Lopes  
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM

---

Bruno Curty Bergamini  
HU-Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

RIO DE JANEIRO

2026

Ao esforço incansável de cada profissional envolvido neste projeto, que contribuiu de forma dedicada para o crescimento e a valorização da ciência por meio de práticas baseadas em evidências, às quais um dia foram apenas teoria e hoje se traduz em resultados concretos.

A cada paciente que se dispôs a participar como objeto de estudo possibilitando avanços que refletem não apenas em benefícios individuais, mas também para a comunidade científica e assistencial.

Aos alunos e colaboradores que fizeram parte deste percurso, atuando como peças fundamentais da pesquisa e reforçando que o investimento em conhecimento é sempre um caminho válido e necessário

## **Agradecimentos**

A Deus sempre, pela força e direção em todos os momentos, especialmente nos dias de adversidades conforme expresso nas Escrituras: *“Invoca-me no dia da angústia; eu te livrarei, e tu me glorificarás”* (Salmos 50:15)

Aos meus pais, meu alicerce e maior fonte de incentivo que tornaram esta conquista possível.

Ao meu orientador, que, com sua vasta experiência, orientou e conduziu esta tarefa árdua e recompensadora.

## Resumo

**Introdução:** A Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) é uma condição clínica caracterizada pela limitação, usualmente, progressiva do fluxo aéreo, inflamação das vias respiratórias e comprometimento da função pulmonar. Além dos danos no sistema respiratório, a DPOC apresenta diversos impactos sistêmicos, incluindo a disfunção muscular esquelética (ventilatória e periférica) o que parece resultar em uma redução significativa da capacidade funcional, aumento da dispneia e piora da qualidade de vida. **Objetivos:** Estabelecer e validar pontos de corte ideais para parâmetros de ultrassonografia cinesiológica na predição de limitação funcional em pacientes estáveis com DPOC e examinar seu desempenho nos estágios GOLD e classificações ABE. **Métodos:** Foi conduzido um estudo transversal com 124 voluntários convivendo com DPOC (idade média  $61,5 \pm 9,5$  anos). Todos os participantes foram submetidos a uma avaliação clínica abrangente, incluindo espirometria, Teste de Caminhada de Seis Minutos (TC6M), força de preensão manual e avaliação ultrassonográfica muscular padronizada do quadríceps (espessura, área de secção transversal, índice de contratilidade) e do diafragma (fração de espessamento). A limitação funcional foi definida como TC6M < 65% do previsto. A análise da curva ROC (característica de operação do receptor) determinou os pontos de corte ideais. O desempenho foi avaliado de acordo com os estágios GOLD e classificações ABE. **Resultados:** Oitenta e um pacientes (65,3%) apresentaram limitação funcional. O índice de contratilidade demonstrou excelente capacidade discriminativa (AUC 0,910, IC 95%: 0,854 - 0,966), com ponto de corte ideal <34,5%, resultando em sensibilidade de 71,6% e especificidade de 100%. A área de secção transversal do quadríceps <6,85 cm<sup>2</sup> demonstrou AUC 0,864 (sensibilidade de 72,8%, especificidade de 97,7%). Todos os parâmetros musculares apresentaram declínio progressivo ao longo dos estágios GOLD ( $p < 0,001$ ) e fortes correlações com a capacidade funcional ( $r = 0,68 - 0,82$ ). Notavelmente, os parâmetros musculares periféricos e respiratórios apresentaram alta correlação ( $r = 0,78 - 0,82$ ), sugerindo envolvimento sistêmico. Na análise multivariada, os parâmetros musculares permaneceram preditores independentes significativos após ajuste para VEF1 ( $p < 0,05$ ). A análise da classificação ABE revelou deterioração muscular progressiva da classe A para a E, com a prevalência de limitação funcional aumentando de 32,1% para 81,2%. **Conclusões:** Os parâmetros ultrassonográficos musculares, particularmente o índice de contratilidade e a área de secção transversal do quadríceps, são excelentes preditores independentes de limitação funcional na DPOC. Os pontos de corte validados fornecem limiares clinicamente acionáveis para estratificação de risco e definição do momento ideal para intervenção. As fortes correlações entre a musculatura periférica e a respiratória corroboram abordagens terapêuticas sistêmicas em vez de localizadas. A classificação ABE adiciona informações prognósticas complementares além da classificação GOLD tradicional.

**Palavras-chave:** DPOC, músculos respiratórios, músculos periféricos, funcionalidade, avaliação ultrassonográfica, funcionalidade.

## Abstract

**Introduction:** Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is a clinical condition characterized by usually progressive airflow limitation, airway inflammation, and impaired pulmonary function. In addition to respiratory system damage, COPD presents several systemic effects, including skeletal muscle dysfunction (ventilatory and peripheral), which appears to result in a significant reduction in functional capacity, increased dyspnea, and worsening quality of life. **Objectives:** To establish and validate optimal cutoff points for kinesiological ultrasound parameters in predicting functional limitation in stable patients with COPD and to examine their performance across GOLD stages and ABE classifications. **Methods:** A cross-sectional study was conducted with 124 volunteers living with COPD (mean age  $61.5 \pm 9.5$  years). All participants underwent a comprehensive clinical assessment, including spirometry, the six-minute walk test (6MWT), handgrip strength, and standardized muscle ultrasound evaluation of the quadriceps (thickness, cross-sectional area, contractility index) and diaphragm (thickening fraction). Functional limitation was defined as 6MWT < 65% of the predicted value. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis determined optimal cutoff points. Performance was evaluated according to GOLD stages and ABE classifications. **Results:** Eighty-one patients (65.3%) presented functional limitation. The contractility index demonstrated excellent discriminatory ability (AUC 0.910, 95% CI: 0.854–0.966), with an optimal cutoff < 34.5%, resulting in 71.6% sensitivity and 100% specificity. Quadriceps cross-sectional area < 6.85 cm<sup>2</sup> showed an AUC of 0.864 (72.8% sensitivity, 97.7% specificity). All muscle parameters showed progressive decline across GOLD stages ( $p < 0.001$ ) and strong correlations with functional capacity ( $r = 0.68$ – $0.82$ ). Notably, peripheral and respiratory muscle parameters demonstrated high correlation ( $r = 0.78$ – $0.82$ ), suggesting systemic involvement. In multivariate analysis, muscle parameters remained significant independent predictors after adjustment for FEV<sub>1</sub> ( $p < 0.05$ ). ABE classification analysis revealed progressive muscle deterioration from class A to E, with the prevalence of functional limitation increasing from 32.1% to 81.2%. **Conclusions:** Muscle ultrasound parameters, particularly the contractility index and quadriceps cross-sectional area, are excellent independent predictors of functional limitation in COPD. The validated cutoff points provide clinically actionable thresholds for risk stratification and optimal timing of intervention. Strong correlations between peripheral and respiratory musculature support systemic rather than localized therapeutic approaches. The ABE classification adds complementary prognostic information beyond the traditional GOLD classification.

**Keywords:** COPD, respiratory muscles, peripheral muscles, functionality, ultrasound assessment, functional capacity.

## Sumário

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b><u>PARTE I – PROJETO DE PESQUISA .....</u></b>	<b><u>11</u></b>
<b>CAPÍTULO 1 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.1 DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA (DPOC): FISIOPATOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.2 DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA (DPOC): MANIFESTAÇÕES SISTÊMICAS E COMORBIDADES.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.3 DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA (DPOC): CLASSIFICAÇÃO E PROGNÓSTICO.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.4 DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA (DPOC): DISFUNÇÃO MUSCULAR RESPIRATÓRIA E PERIFÉRICA.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2 ULTRASSONOGRAFIA MUSCULAR RESPIRATÓRIA E PERIFÉRICA.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.1 ULTRASSONOGRAFIA MUSCULOESQUELÉTICA NA DPOC .....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.2 REFERENCIAL TEÓRICO HISTÓRICO .....</b>	<b>27</b>
<b>1.2.3 PRINCÍPIOS BIOFÍSICOS E CONCEITOS BÁSICOS DE ULTRASSONOGRAFIA.....</b>	<b>28</b>
<b>1.2.4 TRANSDUTORES .....</b>	<b>31</b>
<b>1.2.5 MODALIDADES DE ECOGRAFIA .....</b>	<b>33</b>
<b>1.2.6 PLANOS ANATÔMICOS DE AVALIAÇÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>1.2.7 AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA DA MUSCULATURA .....</b>	<b>37</b>
<b>1.3 JUSTIFICATIVAS.....</b>	<b>42</b>
<b>1.3.1 RELEVÂNCIA PARA AS CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>1.3.2 RELEVÂNCIA PARA AS PRIORIDADES ESTRATÉGICAS DA ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE .....</b>	<b>43</b>
<b>1.3.3 RELEVÂNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>44</b>
<b>1.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>44</b>
<b>1.4.1 PRIMÁRIO.....</b>	<b>44</b>
<b>1.4.2 SECUNDÁRIOS.....</b>	<b>44</b>
<b>1.5 HIPÓTESES.....</b>	<b>44</b>
<b>1.5.1 HIPÓTESE NULA (H0) .....</b>	<b>44</b>
<b>1.5.2 HIPÓTESE ALTERNATIVA (H1).....</b>	<b>45</b>
<b>CAPÍTULO 2 PARTICIPANTES E MÉTODOS.....</b>	<b>46</b>
<b>2.1 ASPECTOS ÉTICOS.....</b>	<b>46</b>
<b>2.1.1 RISCOS E BENEFÍCIOS.....</b>	<b>46</b>
<b>2.2 DELINEAMENTO DO ESTUDO .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO .....</b>	<b>47</b>
<b>2.3 AMOSTRA .....</b>	<b>47</b>

2.3.1	LOCAL DE RECRUTAMENTO DO ESTUDO.....	47
2.3.2	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO .....	48
2.3.3	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO .....	48
2.4	PROCEDIMENTOS/METODOLOGIA PROPOSTA.....	<b>48</b>
2.4.1	ESPIROMETRIA .....	48
2.4.2	DINAMOMETRIA DE PREENSÃO PALMAR.....	49
2.4.3	TESTE DE CAMINHADA DE 6 MINUTOS (TC6M).....	50
2.4.4	AVALIAÇÃO POR ULTRASSOM DA MUSCULATURA RESPIRATÓRIA E PERIFÉRICA .....	50
2.5	ANÁLISE DOS DADOS .....	<b>54</b>
2.5.1	TAMANHO AMOSTRAL (CÁLCULO OU JUSTIFICATIVA) .....	54
2.5.2	VARIÁVEIS DO ESTUDO .....	54
2.5.3	PLANO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	55
2.5.4	ANÁLISES COMPLEMENTARES INCLUÍRAM:.....	57
2.6	FINANCIAMENTO .....	<b>58</b>
2.7	ORÇAMENTO .....	<b>59</b>
2.8	CRONOGRAMA .....	<b>59</b>
	REFERÊNCIAS .....	<b>60</b>
	APÊNDICE 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO .....	<b>67</b>
	ANEXO 1 – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	<b>70</b>
	<b><u>PARTE II – PRODUÇÃO INTELECTUAL.....</u></b>	<b><u>71</u></b>
	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO .....	<b>72</b>
	RESULTADOS .....	<b>73</b>
	DISCUSSÃO.....	<b>89</b>
	CONCLUSÕES .....	<b>99</b>

## **PARTE I – PROJETO DE PESQUISA**

---

# Capítulo 1 Revisão de Literatura

---

## 1.1 Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

A doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é uma condição pulmonar heterogênea caracterizada por sintomas respiratórios crônicos (dispneia, tosse, produção de escarro e/ou exacerbações) devido a anormalidades das vias aéreas (bronquite, bronquiolite) e/ou dos alvéolos (enfisema) que causam uma obstrução persistente, muitas vezes progressiva, do fluxo de ar (*GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2025*).

É sabido que a limitação crônica ao fluxo expiratório é resultado da combinação de lesões nas pequenas (bronquiolite obstrutiva) e médias vias aéreas (bronquite crônica) e destruição do parênquima pulmonar que variam em gravidade de paciente para paciente. Esta inflamação crônica induz à mudanças estruturais das pequenas vias aéreas, gerando instabilidade delas, hipertrofia da mucosa, proliferação de células caliciforme e ineficiência do sistema mucociliar enquanto a resposta inflamatória no parênquima pulmonar produz um desequilíbrio enzimático proteico elastase – anti-elastase com prevalência do mecanismo de degradação com destruição do septo alveolar e perda do recolhimento elástico pulmonar. Estas alterações (perda do recolhimento elástico e incapacidade de manter a via aérea distal aberta durante a expiração) contribuem para a obstrução ao fluxo aéreo expiratório, mensurada através do exame de espirometria, que é o teste de função pulmonar mais amplamente disponível e de boa reprodutibilidade (*LANGE et al., 2015*).

Muitas definições anteriores da DPOC têm enfatizado termos como “enfisema” ou “bronquite crônica” que não estão incluídas nos critérios de definição estabelecidos atualmente (*GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2025*). O “enfisema” ou destruição da superfície alveolar de troca gasosa (parênquima pulmonar) com degradação e rearranjo da matriz extracelular pulmonar é um termo frequentemente utilizado (embora de forma incorreta) na prática clínica e que se limitam a descrever apenas uma das diversas anormalidades sistêmicas reconhecidamente presentes na DPOC.

A “bronquite crônica” ou presença de tosse persistente e produtiva por no mínimo 3 meses em cada um dos dois anos consecutivos, também relembram termos usualmente utilizados na prática clínica. No entanto, é primordial reconhecer que a tosse e produção crônica de expectoração (bronquite crônica) é uma doença independente que pode preceder ou acompanhar a limitação do fluxo expiratório e pode estar associada com o desenvolvimento e perpetuação da limitação do fluxo expiratório. A bronquite crônica e o enfisema são frequentemente vistos em pacientes com espirometria normal e sem critérios para o diagnóstico formal de DPOC (KIM *et al.*, 2015).

Segundo dados oficiais, a população mundial atingiu aproximadamente 8,2 bilhões de indivíduos em 2025, com tendência de crescimento associada, sobretudo, ao aumento da expectativa de vida e à transição demográfica observada nas últimas décadas (UNITED NATIONS, 2024). Entretanto o envelhecimento populacional evidencia aspectos epidêmicos de doenças crônicas, em especial as ligadas ao processo natural de envelhecimento e ao tabagismo, como por exemplo, a DPOC (LOPEZ-CAMPOS *et al.*, 2016). A prevalência da DPOC aumenta progressivamente com a idade e pode variar muito em função dos diferentes métodos de levantamento, já que a maior parte dos estudos sobre prevalência da DPOC é baseada primariamente nas estatísticas de mortalidade, o que por si só configura um subdiagnóstico (GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2025). Apesar de alguns estudos de diagnóstico auto-referido demonstrarem que menos de 6% da população afirma ter a doença, corroborando a hipótese do subdiagnóstico da doença (VAN DEN BOOM *et al.*, 1998; RYCROFT *et al.*, 2012), os estudos padronizados, utilizando dados espirométricos, evidenciam que em indivíduos com mais de 40 anos a prevalência pode ultrapassar os 20% (RABE *et al.*, 2007).

Segundo dados do *Projeto Latino-Americano de Investigação em Obstrução Pulmonar* (PLATINO, *Latin-American Pulmonary Obstruction Investigation Project*) a prevalência da DPOC no Brasil é de 15,8% a qual foi estimada a partir da população de São Paulo com idade superior a 40 anos.

É consenso que dentre as doenças respiratórias crônicas, a DPOC é a mais comum, afetando cerca de 210 milhões (SORIANO; RODRIGUEZ-ROISIN, 2011), 328 milhões (VOS *et al.*, 2012) ou até 600 milhões (LOPEZ-CAMPOS *et al.*, 2016) de pessoas, sendo a quarta causa de morte, e responsável por 4,8% dos óbitos no

mundo. Estes números distintos demonstram clara divergência na literatura sobre a prevalência mundial da DPOC, fruto principalmente de diferentes critérios de classificação e diagnóstico. O *Global Burden of Disease Studies* estima que a DPOC cause a morte de 3 milhões de pessoas no mundo anualmente (GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2025). Em 1990 a DPOC era a 6ª causa de morte (MURRAY; LOPEZ, 1997), passando para a 4ª causa em 2000 (JENSEN *et al.*, 2006) e, atualmente, já é a 3ª causa de morte no mundo (MATHERS; LONCAR, 2006; LOPEZ-CAMPOS *et al.*, 2016), ficando abaixo apenas das doenças cardiovasculares e neoplásicas. Entre os fumantes a prevalência era de 25%, estimando-se assim um total de 7,5 milhões de pacientes com DPOC no Brasil (MENEZES *et al.*, 2005; PLATINO, 2006). A taxa de mortalidade variou de 7,8 a 19,5 para cada 100 mil habitantes entre 1980 e 1990, ficando entre a 4ª e a 6ª principal causa de morte país.

Em 2008 a DPOC foi responsável por 170 mil admissões no Sistema Único de Saúde (SUS) representando 1,5% do total das internações com média de permanência de seis dias. Desta forma, esta condição clínica vem sendo considerada um problema de saúde pública, em virtude dos altos custos envolvidos em seu cuidado (BRASIL, 2010).

Entre 2023 e 2025 houve um aumento nas internações pelo SUS, e entre 2023 e 2025 (em torno de 11,89% ao ano) (Tabela 1).

**Tabela 1: - Internações no SUS por DPOC entre 2023 e 2025 / Morbidade Hospitalar do SUS - por local de internação – Brasil / Internações por Ano processamento / Capítulo CID-10: X. Doenças do aparelho respiratório / Lista Morb CID-10: Bronquite, enfisema e outra doença pulmonar obstrutiva crônica / Período:2023-2025**

<b>Ano processamento</b>	<b>Internações</b>
2023	198.837
2024	121.735
2025	222.479
Total	543.051

Fonte: Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)

**Notas: Situação da base de dados nacional em 25/01/2026. / \*Dados de janeiro de 2023 até dez 2025 sujeitos a retificação.**

Apesar dos avanços das terapias farmacológicas (corticoesteróides inalatórios, broncodilatadores de longa duração, antidepressivos e suporte hormonal) e não farmacológica (reabilitação pulmonar), os pacientes portadores de DPOC apresentam frequentemente piora dos sintomas. Isto acarreta um prejuízo do status de saúde e da QV, necessitando frequentemente de cuidados médicos – hospitalares e afastamento prolongado ou definitivo das atividades laborativas, o que aumenta muito os custos dos sistemas de saúde (MAN *et al.*, 2009; RYCROFT *et al.*, 2012; GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2014).

Além do elevado custo financeiro dos sistemas de saúde, a DPOC apresenta impactos globais. Lopez-Campos e colaboradores, em 2016, verificaram que adultos com DPOC se afastam mais do trabalho por conta da doença (24%) do que adultos sem DPOC (5%); metade dos adultos com DPOC apresenta limitações por problemas ligados à evolução da doença, comparando com 17% dos adultos sem DPOC; 38% dos pacientes adultos com DPOC relatam dificuldades em caminhar ou subir escadas, comparando com 11% dos adultos sem DPOC; 22% dos adultos com DPOC requerem equipamentos e cuidados especiais com sua condição clínica, comparado com 7% dos adultos sem DPOC (LOPEZ-CAMPOS *et al.*, 2016).

### **1.1.1 Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC): fisiopatologia**

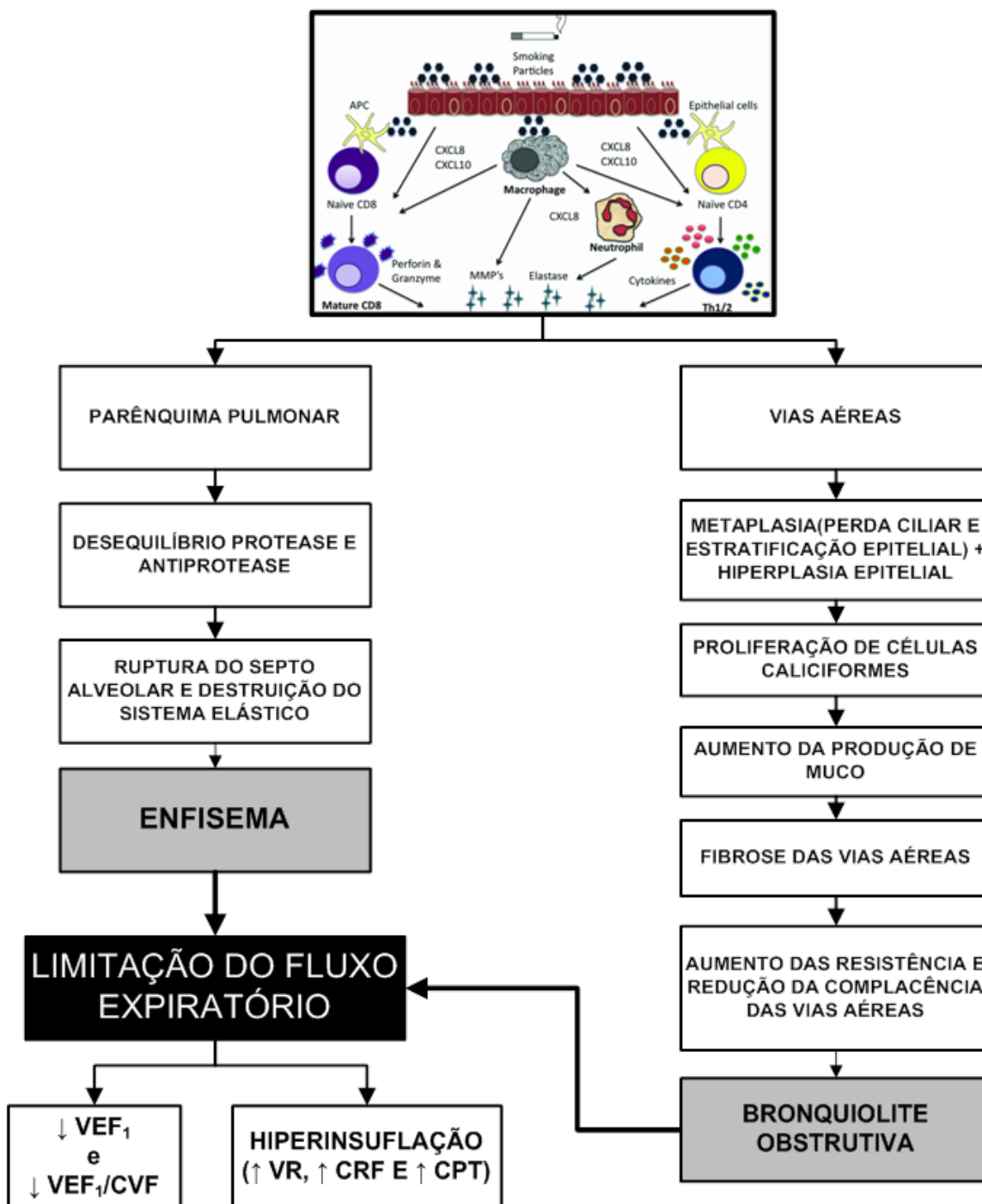
A inflamação é uma resposta essencial do organismo frente a diferentes condições nocivas com o objetivo de manutenção da homeostasia tissular. Esta resposta tem papel chave tanto na defesa do organismo como na gênese de diferentes desordens patológicas (KUMAR; ABBAS; ASTER, 2021).

A inflamação das vias aéreas e do parênquima pulmonar são achados comuns não só na DPOC como em outras enfermidades obstrutivas de grande prevalência como a asma e a bronquiectasia. Entretanto, o padrão da resposta inflamatória e seus mecanismos desencadeantes são completamente diferentes. Na asma, por exemplo os eosinófilos, os mastócitos e os linfócitos T CD4+ são as células-chave desta resposta inflamatória. Por outro, na DPOC são os neutrófilos, os macrófagos e os linfócitos T CD8+ as células protagonistas da resposta inflamatória nas vias aéreas e nos pulmões, que iniciam muito antes do paciente apresentar os primeiros sintomas (BIDAN et al., 2015).

A obstrução ao fluxo aéreo expiratório, por exemplo, é causada por uma combinação destes fatores, incluindo inflamação pulmonar dos brônquios e bronquíolos associada a uma hipersecretividade de muco, remodelamento das vias aéreas e enfisema pulmonar em diferentes combinações, proporções e gravidade (BIDAN et al., 2015).

A resposta inflamatória crônica produz de maneira lenta e gradual um conjunto de alterações morfológicas permanentes das vias aéreas (metaplasia mais hiperplasia da mucosa com proliferação de células caliciformes e aumento da produção de muco) que, associadas à destruição do parênquima pulmonar decorrentes também da persistência da resposta inflamatória, induzem a ruptura da ligação entre os alvéolos e as pequenas vias aéreas. Como resultado, há diminuição do recolhimento elástico pulmonar (Pel) e da complacência das vias aéreas de pequeno e médio calibre (BARNES, 2010; BIDAN et al., 2015) (Figura 1).

Figura 1 - Mecanismos da limitação do fluxo expiratório na DPOC



Mecanismos da limitação do fluxo expiratório na DPOC, envolvendo destruição do parênquima (enfisema) e alterações das vias aéreas (inflamação, muco e fibrose), resultando em aumento da resistência, hiperinsuflação e redução dos fluxos expiratórios

Fonte: Adaptado de BARNES (2010)

Essas alterações fisiopatológicas características dos pacientes com DPOC alteram a capacidade das vias aéreas de permanecerem abertas durante a expiração,

resultando em hiperinsuflação pulmonar. Acredita-se que a hiperinsuflação se desenvolve no início da doença, reduzindo a Capacidade Inspiratória (CI) e aumentando a Capacidade Residual Funcional (CRF), particularmente durante a realização de exercício, anormalidade conhecida como hiperinsuflação dinâmica (O'DONNELL; REVILL; WEBB, 2001) que tem sido considerada a principal responsável pela dispneia durante o esforço, além de estar relacionada à limitação da capacidade de exercício (FERGUSON, 2006). A hiperinsuflação pulmonar também afeta a função dos músculos inspiratórios nos pacientes com DPOC (DECRAMER, 1997; MACINTYRE, 2006), além de comprometer a força (ROCHESTER; BRAUN, 1985) e a endurance (PEREZ et al., 1996) dos músculos inspiratórios, particularmente do diafragma, impondo uma sobrecarga a esta musculatura inspiratória (GIBSON, 1996; FERGUSON, 2006), reforçando a desvantagem mecânica destes músculos, aumentando sua ineficiência durante o exercício, o que contribui para limitação da tolerância ao exercício destes pacientes.

### **1.1.2 Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC): manifestações sistêmicas e comorbidades**

Cabe ressaltar que o processo inflamatório desencadeado na DPOC é amplificado não se limitando as manifestações loco regionais, apresentando respostas sistêmicas importantes (evidente estresse oxidativo por aumento das espécies reativas de oxigênio, com aumento da liberação de citocinas pró-inflamatórias (TNF- $\alpha$  e IL-6), adipocinas, fatores de coagulação e da proteína C – reativa (AGUSTI; BARNES, 2012; AGUSTI; FANER, 2012; PUENTE-MAESTU et al., 2012).

Estas respostas inflamatórias que contribuem para o estado catabólico, com consequente perda de peso e redução do Índice de Massa Corporal (IMC) (BARBU; IORDACHE; MAN, 2011), fraqueza muscular periférica (ANSARI et al., 2012; DONALDSON et al., 2012; SHRIKRISHNA et al., 2012), fraqueza muscular respiratória (DECRAMER; STAS, 1992; HAMILTON et al., 1995; POLKEY et al., 1996; CARON et al., 2011; GOSSELINK et al., 2011), comorbidades cardíacas (FALK et al., 2008; CATALUÑA; GARCIA, 2009; BARNES, 2010; DE MIGUEL DIEZ; GARCIA; MAESTU, 2010; IZQUIERDO et al., 2010; SELCUK et al., 2010; PATEL; HURST, 2011; PATEL et al., 2012), doença arterial periférica (PECCI et al., 2012) e assim

reforçam a alça negativa de piora progressiva da dispneia (MARCINIUK et al., 2011) e da QV (JONES et al., 2011) com persistência de altas taxas de morbi – mortalidade (CAO et al., 2012; RYCROFT et al., 2012).

Todas essas alterações locais e sistêmicas levam ao aparecimento de sintomas, sendo que a tosse é o sintoma mais prevalente na DPOC, podendo ser diária ou intermitente e pode preceder a dispneia ou aparecer simultaneamente a ela. Porém, o principal sintoma associado à incapacidade do DPOC é a dispneia que leva a redução da QV e pior prognóstico, sendo geralmente progressiva com a evolução da doença, apresentando uma boa correlação com o prognóstico da DPOC. Entretanto, muitos pacientes só referem dispneia nas fases mais avançadas da doença, pois atribuem erroneamente parte da incapacidade física ao envelhecimento e à falta de condicionamento físico (GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2024).

### **1.1.3 Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC): classificação e prognóstico**

Com a evolução da doença acontece a redução do Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF1) da Capacidade Vital Forçada (CVF, comprovando assim a obstrução ao fluxo de ar, sem que a mesma seja revertida, mesmo com uso de broncodilatador (GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2024). A avaliação do VEF1 é uma das formas mais consagradas e aceitas de avaliação da limitação do fluxo aéreo, pois consegue fornecer uma significativa descrição das alterações pulmonares da DPOC (Tabela 2).

A utilização de variáveis espirométricas para predição de mortalidade da DPOC vem sendo atribuída desde os estudos de Fletcher & Peto em 1977 que sugerem uma pequena deterioração da função pulmonar com o tempo. Desde então, a redução do VEF1 vem sendo relacionada ao aumento do risco de exacerbações, o que sabidamente aumenta a mortalidade na doença. O GOLD 2001, utiliza a porcentagem da VEF1 para fazer o estadiamento da DPOC e predizer a mortalidade.

**Tabela 2 - Classificação da DPOC Segundo os critérios do GOLD**

<b>ESTADIAMENTO DA DPOC BASEADA NA GRAVIDADE DA LIMITAÇÃO DO FLUXO AÉREO EXPIRATÓRIO</b>		
<b>(pós prova com broncodilatador de curta duração)</b>		
<b>VEF<sub>1</sub>/CVF &lt; 0,7</b>		
<b>GOLD I</b>	LEVE	VEF <sub>1</sub> ≥ 80% PRED
<b>GOLD II</b>	MODERADO	50% ≤ VEF <sub>1</sub> < 70% PRED
<b>GOLD III</b>	GRAVE	30% ≤ VEF <sub>1</sub> < 50% PRED
<b>GOLD IV</b>	MUITO GRAVE	VEF <sub>1</sub> < 30% PRED

Modificado do Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2025). VEF<sub>1</sub> : Volume Expiratório Forçado no 1º segundo e CVF: Capacidade Vital Forçada

É sabido que a classificação do GOLD é uma classificação de gravidade da obstrução do fluxo aéreo expiratório, devendo levar em conta os valores expirométricos pós o uso do broncodilatador de curta duração. Curiosamente em 2004, Celli e colaboradores, descreveram um escore prognóstico para os pacientes com DPOC denominado BODE (B – body mass index; O – airflow obstruction; D – dyspnea; E – exercise capacity) que avaliava o grau de mortalidade dos indivíduos com DPOC de forma sistêmica. A vantagem deste índice é que ele não inclui somente a avaliação do grau de obstrução, mas também fatores como tolerância ao exercício, índice de massa corpórea e dispneia dos indivíduos.

O BODE integra na análise o IMC (kg/m<sup>2</sup>), a avaliação espirométrica (VEF<sub>1</sub>), uma escala de dispneia (MRC) e a capacidade de exercício avaliada pelo Teste da Caminhada de 6 Minutos (tabela 3). Este índice tem uma pontuação que varia de 0 (ótimo) a 10 (pior) e tem melhor correlação com sobrevida do que os parâmetros isolados, possivelmente por levar em conta o impacto da doença na vida do paciente e por incluir as manifestações sistêmicas da DPOC (índice de massa corporal e tolerância ao exercício) no estabelecimento do prognóstico do paciente, vide Tabela 3 (CELLI et al. 2004).

Na tabela 3 é possível observar que o resultado do BODE agrupa os pacientes em 4 quartis: quartil 1 para os escores apurados de 0-2, quartil 2 para os escores de 3-4, quartil 3 para escores de 5-6 e quartil 4 para escores maiores ou iguais a 7. No

estudo Celli e colaboradores de 2004, verificou-se que a habilidade do BODE para prever risco de morte em 52 meses foi de 0,74, enquanto que o VEF1 analisado isoladamente fornecia um valor de 0,65, obtidos pela estatística C, que é um modelo matemático para aferição de sensibilidade e especificidade. Para os desfechos de mortalidade os autores analisaram através dos modelos semi-paramétricos de Cox.

**Tabela 3 - Índice BODE**

VARIÁVEIS	PONTOS			
	0	1	2	3
VEF1(%)	≥ 65	50 - 60	36 - 49	≤ 35
Distância percorrida no TC6M (m)	≥ 350	250 - 349	159 - 249	<159
mMRC	0 - 1	2	3	4
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	< 21	≥ 21		

Fonte: Celli *et al.*, 2004. VEF<sub>1</sub> - Volume Expiratório Forçado no 1º segundo – TC6M: Teste de Caminhada de 6 minutos – mMRC - *Modified Medical Research Council Dyspnea Scale*, isto é, Escala de Dispneia Modificada do Medical Research Council e IMC - Índice de Massa Corporal.

Além do VEF1, e do BODE, outros preditores de mortalidade na DPOC são idade, manutenção do tabagismo, hipoxemia, hipersecreção crônica, dispneia, capacidade de exercício e atividade física na vida diária reduzidas, massa e força muscular reduzidas, baixo índice de massa corpórea e perda de peso excessiva. (LANGER et al., 2009).

Na última década, um novo componente preditor do risco de exacerbações e mortalidade na DPOC tem sido advogado, que é a avaliação combinada entre a função pulmonar, os sintomas avaliados pelo CAT test (COPD Assessment Test), o grau da dispneia avaliada pelo mMRC e a história de hospitalizações prévias, que possibilitam classificar os pacientes em 4 quadrantes (A, B, C, e D), sendo “A” os pacientes menos sintomáticos, com melhor função pulmonar, sem histórico de

hospitalizações prévias e assim menores risco de exacerbações e os pacientes classificados com “D” os de pior função pulmonar, mais sintomático, com história de hospitalizações prévias e assim maiores risco de exacerbações (MALTAIS et al., 2000b; CASABURI, 2001; MAN et al., 2009; DONALDSON et al., 2012).

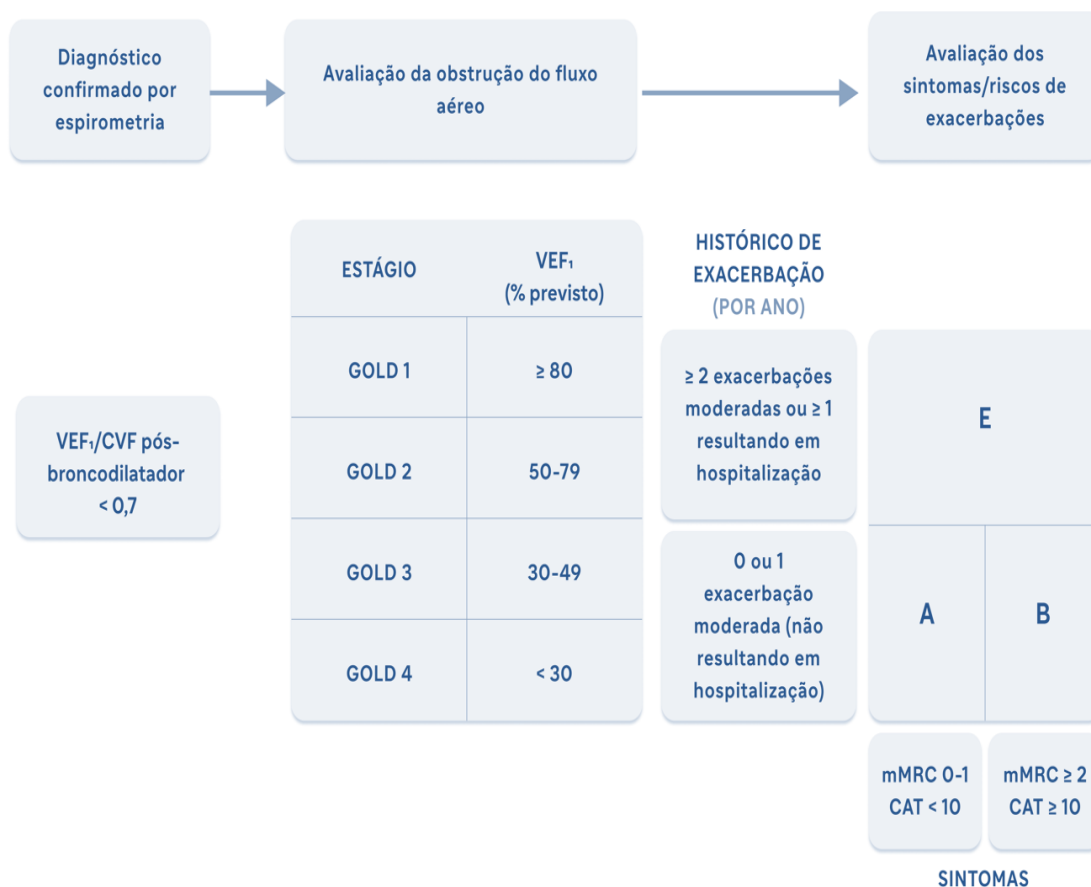
Recentemente, a classificação A–B–E da DPOC foi introduzida pelo GOLD 2023 e mantida no GOLD 2024. Ela substituiu o antigo sistema A–B–C–D e é usada para estratificar sintomas e risco de exacerbações, orientando o tratamento inicial (FIGURA 2).

A classificação de pacientes com DPOC em grupos A, B e E foi recentemente proposta pela GOLD com o objetivo de aprimorar a estratificação clínica e direcionar o tratamento inicial. Esse sistema utiliza dois eixos principais: a magnitude dos sintomas, avaliada por instrumentos validados como o CAT e a escala mMRC, e o risco de exacerbações, determinado pelo número e gravidade dos eventos no último ano.

Pacientes com poucos sintomas e baixo risco de exacerbação são classificados no grupo A, enquanto aqueles com sintomas mais intensos, porém com baixo risco, são incluídos no grupo B. Já o grupo E contempla indivíduos com alto risco de exacerbações, definido pela ocorrência de duas ou mais exacerbações ou de uma exacerbação que resultou em hospitalização, independentemente do nível de sintomas. Essa abordagem permite uma avaliação mais precisa do fenótipo clínico e sustenta decisões terapêuticas mais individualizadas, refletindo a heterogeneidade da DPOC (GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE – GOLD, 2014).

As hospitalizações e re-hospitalizações por exacerbação da DPOC estão associadas ao pior prognóstico dos pacientes (SOLER-CATALUÑA et al., 2005). Um trabalho publicado sobre a história natural da DPOC em uma coorte de 15 anos de acompanhamento sugere que uma segunda internação é decisiva no prognóstico dos pacientes e que o risco de morte nos primeiros 7 dias após a segunda hospitalização aumenta muito e que partir desta, cada exacerbação subsequente, potencializa o risco de morte. Desta forma, medidas terapêuticas que busquem retardar ou evitar novas exacerbações podem contribuir e muito para a evolução natural da doença (SUISSA; DELL'ANIELLO; ERNST, 2012).

**Figura 2- Classificação da DPOC baseada em sintomas e histórico de exacerbações**



Sistema de classificação que estratifica pacientes conforme carga sintomática e risco de exacerbações.

**Fonte: Adaptado de GOLD (2023)**

### 1.1.4 Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC): disfunção muscular respiratória e periférica

Dentre os efeitos do DPOC, a diminuição da Mobilidade Diafragmática (DM) é um dos sinais frequentemente encontrados nesses pacientes (IWASAWA et al., 2002), assim como a doença também apresenta efeitos extrapulmonares significativos que resultam e impactam na condição desses pacientes, sendo estes a inflamação sistêmica, perda de massa muscular, desnutrição, depressão, descondicionamento

físico e conseqüentemente redução do estado de saúde (BOSSENBROEK et al., 2011; WATZ et al., 2008).

A disfunção diafragmática está associada a dispnéia, intolerância ao exercício, distúrbios do sono e hipersonia, ambas com potencial impacto na sobrevivência destes indivíduos. O diagnóstico da disfunção do diafragma é baseado em exames de imagem estáticos e dinâmicos (especialmente por ultrassonografia), além dos testes de função pulmonar e de estimulação do nervo frênico (RICOY et al., 2019; ROCHA et al., 2017).

Outra questão a ser considerada reforça que a disfunção muscular periférica na DPOC não ocorre somente nos membros inferiores, mas também nos membros superiores. Dois possíveis mecanismos que podem explicar os sintomas importantes de dispnéia e fadiga relatados pelos pacientes ao executar tarefas com membros superiores não sustentados são a disfunção neuromecânica dos músculos respiratórios e a alteração nos volumes pulmonares durante as atividades realizadas com membros superiores (MIRANDA; MALAGUTI; CORSO, 2011).

A hiperinsuflação pulmonar ou aprisionamento aéreo ocorre com frequência em pacientes com DPOC e resulta das alterações no recuo elástico pulmonar e no colapso precoce de vias aéreas vias aéreas, que como resultado, aumentam o volume residual, a capacidade residual funcional e põem fim a capacidade pulmonar total. Este aumento dos volumes pulmonares estáticos comprometem a capacidade mecânica dos músculos respiratórios, em especial do diafragma. Nestas condições de hiperinsuflação, o diafragma é aplainado e possui redução da zona de aposição, o que reduz a relação comprimento-tensão, diminuído a mobilidade e a função diafragmática, portanto, a capacidade do diafragma em variar as pressões intratorácicas fica reduzida (DE TROYER, 1997; DEMOULE et al., 2020).

A disfunção muscular esquelética é uma das complicações extrapulmonares mais reconhecidas nos pacientes com DPOC, sendo os músculos do quadríceps os mais afetados da musculatura periférica (MAN, 2003). Estudos já realizados confirmaram que aproximadamente um terço de todos os pacientes com DPOC apresentam fraqueza muscular esquelética (SEYMOUR et al., 2010). A fraqueza do músculo do quadríceps ocorre em 76,5% dos pacientes com DPOC leve (KHARBANDA; KRISHNAN; RAMAKRISHNA, 2015). A disfunção do quadríceps resulta em uma série de conseqüências, como agravamento dos sintomas de

dispneia, redução da capacidade e resistência muscular (ABDULAI et al., 2018; DEGENS; GAYAN-RAMIREZ; VAN HEES, 2015).

## **1.2 Ultrassonografia muscular respiratória e periférica**

### **1.2.1 Ultrassonografia Musculoesquelética na DPOC**

Disfunção/fraqueza muscular periférica e sarcopenia são complicações bem reconhecidas da DPOC (REMELS *et al.*, 2013; GOSELINK *et al.*, 1996; DECRAMER *et al.*, 1997; GOSELINK *et al.*, 2000) e estão associadas à maior gravidade da doença, à intolerância ao exercício e ao prognóstico vital (MALTAIS *et al.*, 2014; YIN *et al.*, 2017). Assim, a avaliação da integridade muscular periférica é um marcador atraente da gravidade de doença em pacientes com DPOC. No entanto, a avaliação direta rotineira desse marcador é difícil devido à necessidade de recorrer a técnicas de imagem como a tomografia computadorizada (MARQUIS *et al.*, 2002) ou a absorciometria de raios X de dupla energia, que são caras, ionizantes, demoradas e não prontamente disponíveis à beira do leito.

Um recurso disponível para visualização da dinâmica do principal músculo ventilatório é o uso da ultrassonografia (USG) diafragmática, que é uma ferramenta disponível capaz de avaliar a mobilidade e a espessura do músculo. Alterações morfológicas podem ocorrer no quadríceps de pacientes com DPOC e podem ser refletidos por parâmetros de ultrassom (US), como a Espessura do Reto Femoral (*RFthick*) e Área Transversal do Reto Femoral (*RFcsa*). Além das mudanças morfológicas, seria altamente valioso verificar se podemos adquirir mais informações sobre o quadríceps em pacientes com DPOC (RAMÍREZ-FUENTES *et al.*, 2019).

O US pode ser usado para medir a direção do movimento diafragmático e a magnitude da sua excursão (GERSCOVICH *et al.*, 2001). Além disso, também pode ser usado para medir mudanças na Espessura Diafragmática durante a Inspiração (Tdi) na área onde o músculo diafragma encosta na caixa torácica, conhecida como zona de aposição (COHN *et al.*, 1997; GERSCOVICH *et al.*, 2001). No entanto, a USG pulmonar tem algumas limitações, entre elas o fato de ser totalmente operador dependente e requer expertise técnica, já que o campo de visão é muitas vezes pequeno e pode sofrer com a intervenção do ar pulmonar ou intestinal. Esses órgãos

podem obscurecer o movimento diafragmático, dificultando a avaliação da função do diafragma (KHARMA, 2013).

Nos últimos anos, a USG surgiu como uma ferramenta de ponto de atendimento que permite o acesso a uma avaliação rápida, simples, amplamente disponível e não ionizante de muitas variáveis fisiológicas, incluindo a função e a integridade dos músculos periféricos e do diafragma (MATAMIS *et al.*, 2013; BARIA *et al.*, 2014). Ao considerar a força muscular periférica, a medição da área transversal do reto femoral (*RFcsa*) derivada da ultrassonografia demonstrou ser um estimador confiável da força muscular em pacientes com DPOC (SEYMOUR *et al.*, 2009) já a medição ultrassonográfica de um índice de contratilidade do músculo quadríceps (AGYAPONG-BADU *et al.*, 2014) demonstrou recentemente ser um preditor confiável, reprodutível e não volitivo de declínio funcional, hospitalização e morte em idosos. Isto sugere, que esses marcadores podem se provar como uma ferramenta simples para avaliar a gravidade da doença e o prognóstico na população com DPOC. No entanto, falta uma comparação formal dessas técnicas com outras variáveis geralmente associadas à gravidade da DPOC.

Nesse contexto, pode afirmar que a USG muscular emergiu como uma ferramenta confiável, acurada e viável para avaliação à beira do leito, devido à sua portabilidade e capacidade de realizar avaliações detalhadas da arquitetura muscular, incluindo medidas de espessura, área de secção transversa, ecointensidade, índice de contratilidade, ângulo de fascículo e comprimento do fascículo (PILLEN; VAN ALFEN, 2012).

Essas avaliações permitem dimensionar a perda de massa muscular, inferir diminuição da força muscular, detectar necrose e deposição de colágeno e gordura, além de contribuir na fundamentação de doenças neuromusculares (PARRY *et al.*, 2015). Logo, a avaliação ultrassonográfica muscular potencialmente possibilita a análise quantitativa e qualitativa da estrutura muscular, através da estimação da espessura ou área transversal muscular, e de sua ecogenicidade respectivamente (ISOBE *et al.*, 2019).

É sabido que a USG é um método não invasivo, sem emissão de radiação, que gera diagnósticos funcionais, sendo cada vez mais utilizado na prática clínica por fisioterapeutas especializados. Assim, por ser um método seguro, prático e sem custos adicionais, que pode ser realizado à beira do leito sem expor o paciente à radiação. De fato, devido à sua acurácia e facilidade de execução, o US tem ganhado

popularidade como uma modalidade de acompanhamento, especialmente em pacientes críticos, onde frequentemente é utilizado para avaliar o quadríceps femoral (PARRY; PUTHUCHEARY, 2015).

No entanto, o US enfrenta limitações, como a falta de valores normativos para diferentes populações e condições clínicas, além da escassez de protocolos replicáveis. O uso do US é mais consolidado na quantificação da massa muscular, mas a avaliação qualitativa, especialmente em pacientes com DPOC, ainda é incerta (PILLEN; VAN ALFEN, 2012).

## 1.2.2 Referencial teórico histórico

A avaliação da atrofia muscular esquelética geralmente requer equipamentos caros e técnicas de imagem complexas ou métodos invasivos, como biópsias musculares, que frequentemente não estão disponíveis em ambientes de terapia intensiva. Devido a essas limitações, há um crescente interesse no uso da USG para avaliar a arquitetura e a função musculares de maneira mais acessível e prática (Figura 3).

**Figura 3 - Equipamento Portátil de Ultrassonografia (Lumify® Philips)**



Exemplo de ultrassonografia musculoesquelética realizada com transdutor linear. À esquerda, imagem ultrassonográfica em modo B evidenciando a arquitetura muscular; à direita, diferentes vistas de um transdutor linear de alta frequência utilizado para avaliação de tecidos superficiais.

**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

A USG foi utilizada pela primeira vez para avaliação musculoesquelética em pacientes em estado crítico em 1995, mostrando-se um método viável para detecção de perda muscular (CAMPBELL et al., 1995). Desde então, o número de publicações sobre o tema vêm crescendo continuamente, refletindo o crescente interesse e avanço na aplicação desse método na prática clínica.

### **1.2.3 Princípios biofísicos e conceitos básicos de ultrassonografia**

Para compreender e interpretar adequadamente um exame ultrassonográfico, é essencial ter conhecimento básico dos princípios físicos envolvidos. A USG é baseada na emissão e recepção de ondas ultrassônicas, com as imagens sendo formadas pelo processamento eletrônico dos feixes de US refletidos de maneira específica pelas diferentes estruturas do corpo humano. Além disso, o conhecimento e ajuste de certos parâmetros durante a realização da USG são fundamentais para obter imagens de alta qualidade.

O som é a sensação percebida pelo ouvido provocada por ondas mecânicas geradas pela vibração de um corpo elástico e propagadas por meio material (gás, líquido ou sólido). (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016; GUYTON; HALL, 2017).

O US define-se, então, como uma série de ondas mecânicas geradas pela vibração de um corpo elástico (cristal piezoelétrico) e propagadas por diferentes meios da matéria (exemplo: tecido corporal), cuja frequência de oscilação da vibração excede a frequência de um som audível pelo ouvido humano — maior do que 20 kilohertz (20kHz) (KREMKAU, 2015).

Entre os parâmetros que são frequentemente usados na USG, estão:

- Frequência;
- Velocidade de propagação;
- Interação dos tecidos com o US;
- Ângulo de incidência;
- Atenuação;
- Frequência de repetição de pulso.

## **Frequência**

A frequência em USG é medida em ciclos por segundo, ou Hertz (Hz), e é determinada pela fonte de som que a emite e pelo número de oscilações ou vibrações que a fonte emissora do som e pelos meios pelos quais ela se propaga. As frequências utilizadas na USG diagnóstica variam de 2 a 28 mega-Hertz (MHz). Especificamente para a avaliação do tecido muscular, costuma-se utilizar uma frequência média de 7,5 MHz (KREMKAU, 2015).

## **Velocidade de propagação**

A velocidade de propagação é a velocidade com que o som desloca-se através de um meio. É sabido que a velocidade de propagação do som no ar é de 340 m por segundo (m/s) e em tecidos moles, essa velocidade é, em média, de 1540 (m/s). A velocidade de propagação do som varia conforme o tipo e as características do material, sendo influenciada pela densidade e compressibilidade do meio. Materiais mais densos e menos compressíveis transmitem o som mais rapidamente. Por exemplo, as ondas sonoras se movem mais lentamente no tecido adiposo do que no tecido ósseo, e em meios gasosos, a velocidade é tão baixa que as partículas não podem ser avaliadas pela USG (KREMKAU, 2015).

A velocidade de transmissão é inversamente proporcional à compressibilidade; assim, em tecidos em que as moléculas são mais compressíveis, o som é transmitido mais lentamente (BUSHBERG et al., 2012).

## **Interação dos tecidos com o ultrassom**

A energia acústica, ao interagir com os tecidos do corpo, se propaga através de ondas longitudinais, transmitindo-se de uma molécula para outra. Quando essas ondas ultrassonográficas encontram a interface entre dois materiais com diferentes impedâncias acústicas, parte da energia é refletida de volta ao transdutor, criando um eco (KREMKAU, 2015).

Por definição o termo impedância acústico representa a oposição de um meio a passagem da onda sonora, influenciando como ondas sonoras se propagam. A intensidade do eco depende da diferença de impedância: uma pequena diferença gera

ecos fracos, enquanto uma grande diferença gera ecos fortes. Na ultrassonografia, esses ecos são visualizados em uma escala de cinza, onde ecos intensos aparecem como áreas brancas (hiperecoicas), ecos fracos como áreas cinzas (hipoecoicas), e a ausência de reflexões como áreas pretas (anecoicas) (KREMKAU, 2015).

### **Ângulo de incidência (insonação)**

A intensidade com que o feixe de US é refletido também depende do ângulo de incidência – (insonação), que é ângulo de incidência entre o feixe de onda ultrassônica e a estrutura anatômica que está sendo avaliada. A reflexão é máxima quando a onda sonora incidente é perpendicular ( $90^\circ$ ) a interface entre dois tecidos (EDELMAN, 2012).

Caso o feixe de US se afaste apenas alguns graus a partir da perpendicular, o eco não volta para o centro da fonte emissora (tecido) e será detectado apenas parcialmente pela fonte receptora (transdutor) (KREMKAU, 2015).

### **Atenuação**

À medida que as ondas de US passam por diferentes interfaces de tecidos, sua energia diminui devido à atenuação, que ocorre por absorção ou dispersão. A absorção transforma a energia mecânica em calor, enquanto a dispersão desvia a direção de propagação dos feixes. Ambos os fenômenos fazem com que a intensidade do ultrassom diminua à medida que o feixe penetra em estruturas mais profundas (BUSHBERG et al., 2012). Os líquidos são considerados não atenuadores, enquanto o osso é um importante atenuador por absorção e dispersão da energia, pois absorve de forma potente a energia e dispersa em todas as direções (KREMKAU, 2015).

### **Frequência de repetição de pulso**

A energia elétrica que atinge o transdutor estimula os cristais piezoelétricos, que emitem pulsos ultrassônicos em grupos ou ciclos, alternando entre emissão e recepção dos ecos. A frequência com que o gerador produz pulsos elétricos por segundo, conhecida como frequência de repetição de pulso, determina o intervalo entre essas fases. Esse intervalo deve ser preciso para que os feixes de ultrassom

atinjam uma determinada profundidade e retornem como ecos antes que um novo pulso seja emitido. A frequência de repetição de pulso geralmente varia de 1.000 a 10.000 kHz (1-10 kHz) (EDELMAN, 2012).

### 1.2.4 Transdutores

O transdutor é um dispositivo que converte um fenômeno físico, como pressão ou temperatura em sinais elétricos. Os transdutores de US, a energia ultrassônica é gerada a partir de um sinal elétrico. Os cristais piezoelétricos no transdutor convertem a energia elétrica em energia acústica e, inversamente a energia acústica de volta em sinais elétricos (KREMKAU, 2015).

São quatro tipos básicos de transdutores (Figura 4):

- Setorial;
- Anular;
- Convexo;
- Linear.

**Figura 4 – Diferentes tipos de transdutores ultrassonográficos**



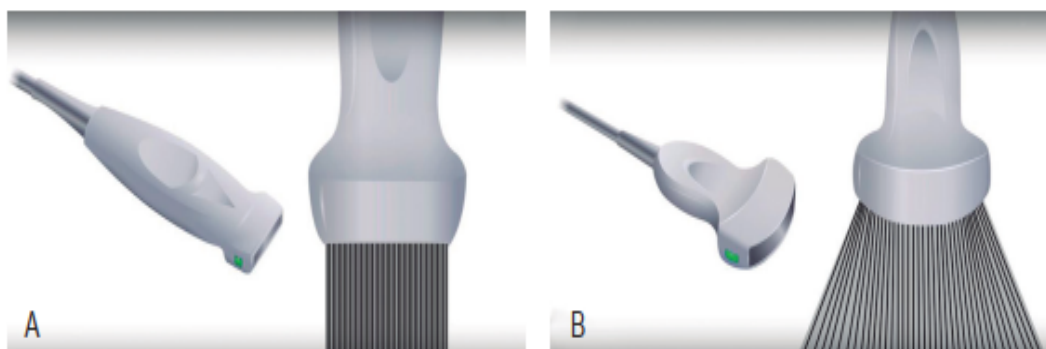
Classificação dos principais transdutores utilizados na ultrassonografia diagnóstica.

**Fonte: Adaptado de Hoskins, Martin e Thrush (2019).**

Os transdutores diferem na organização de seus componentes. Os transdutores lineares, frequentemente usados em USG musculoesquelética, com frequência média de 7.5MHz, possuem 64 a 256 cristais piezoelétricos retangulares dispostos em linha (EDELMAN, 2012). Eles emitem feixes ultrassônicos paralelos (Figura 5A) , resultando em imagens com alta resolução e sem distorções nas extremidades. Os transdutores convexos (Figura 5B), por outro lado, emitem feixes

que se espalham nas extremidades laterais, o que pode causar perda de resolução nas bordas da imagem. Ambos os tipos podem operar com frequências médias de 7,5 MHz (KREMKAU, 2015).

**Figura 5 - Tipos de Transdutores utilizados em ultrassonografia**



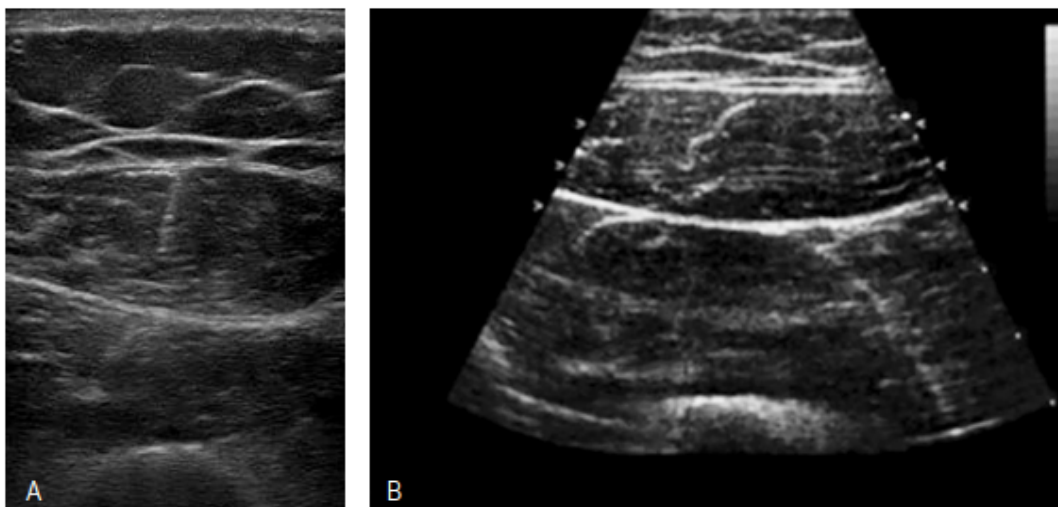
Tipos de transdutores utilizados em ultrassonografia. (A) Transdutor linear de alta frequência, indicado para avaliação de estruturas superficiais, como músculos e tecidos subcutâneos. (B) Transdutor convexo (curvilíneo), com maior profundidade de penetração, utilizado para avaliação de estruturas mais profundas.

**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

Sabe-se que o tecido pode ser observado com maior definição ultrassonográfica se os feixes de US apresentarem incidências perpendicularmente às interfaces de tecidos. Dessa forma, os transdutores lineares que apresentam essas características (Figura 6A) são recomendados para o estudo das estruturas retilíneas que formam o sistema músculo esquelético(KREMKAU, 2015).

O uso de transdutores convexo é mais adequado para determinadas áreas anatômicas, como axila ou zona poplíteia, por exemplo. Outra empregabilidade do transdutor convexo é no aumento do campo de visão passando de retangular para trapezoidal (Figura 6B) (EDELMAN, 2012).

**Figura 6 - Comparação de imagens ultrassonográficas com diferentes transdutores**



Comparação de imagens ultrassonográficas obtidas com diferentes tipos de transdutores. (A) Imagem em modo B obtida com transdutor linear, evidenciando estruturas superficiais com maior resolução. (B) Imagem em modo B obtida com transdutor convexo, com campo de visão ampliado e maior profundidade de penetração.

**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

### **1.2.5 Modalidades de ecografia**

Os equipamentos de USG podem operar em diferentes modalidades, incluindo os modos A, B, M e Doppler. Cada modalidade tem características específicas e aplicações distintas. Neste trabalho, os modos B e M serão abordados, pois são os utilizados na avaliação musculoesquelética. A seguir, serão descritas as características desses modos (JACOBSON, 2018; MCNALLY, 2014).

#### **Modo B**

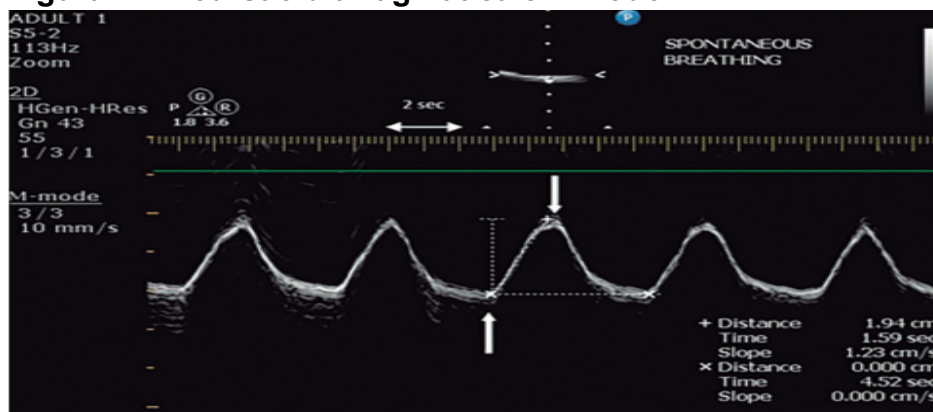
O modo B (B = brilho) ou 2D gera **imagens bidimensionais** na coloração da escala de cinza. É o mais utilizado para diagnóstico em geral, principalmente em função do grande número de regiões anatômicas que podem ser observadas. A Figura

6, apresentada anteriormente, exemplifica imagens nesse modo, que também é o mais utilizado para **avaliação da arquitetura muscular** (JACOBSON, 2018; MCNALLY, 2014).

### Modo M

O modo M (Figura 7) (M = movimento) mescla características dos modos A e B. O modo A (de Amplitude) no USG é a forma mais simples e primitiva de representação dos sinais de ultrassonografia. Embora atualmente seja pouco utilizado na prática clínica moderna, ele tem grande importância histórica e ainda pode ter aplicações específicas em algumas áreas. Essa configuração é utilizada para **analisar qualitativa e quantitativamente o movimento de estruturas**, como válvulas cardíacas. Para a avaliação dos músculos estriados esqueléticos, o modo M vem sendo empregado a fim de verificar a movimentação do diafragma. (JACOBSON, 2018; RUMACK; LEVINE, 2018).

**Figura 7- Excursão diafragmática em modo M**



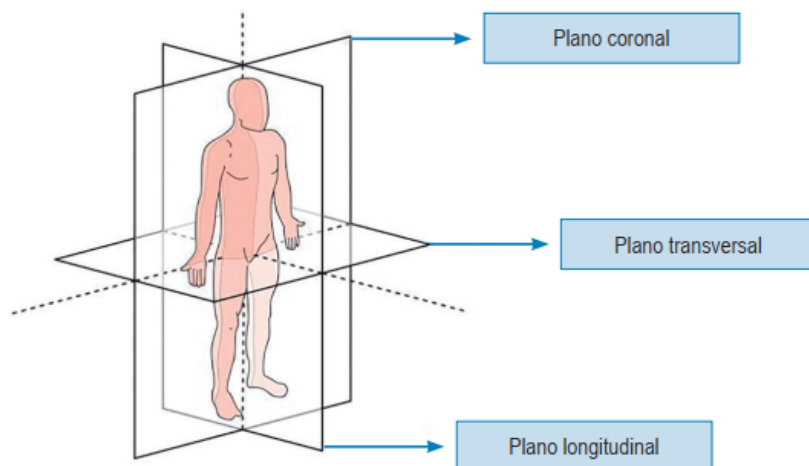
Avaliação ultrassonográfica do diafragma em modo M durante respiração espontânea. O traçado demonstra o deslocamento craniocaudal do diafragma ao longo do tempo, permitindo a mensuração da excursão diafragmática (setas) e análise da cinética respiratória.

**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

## 1.2.6 PLANOS ANATÔMICOS DE AVALIAÇÃO

A USG musculoesquelética é realizada em três planos anatômicos, que são o coronal, o transversal e o longitudinal (Figura 8).

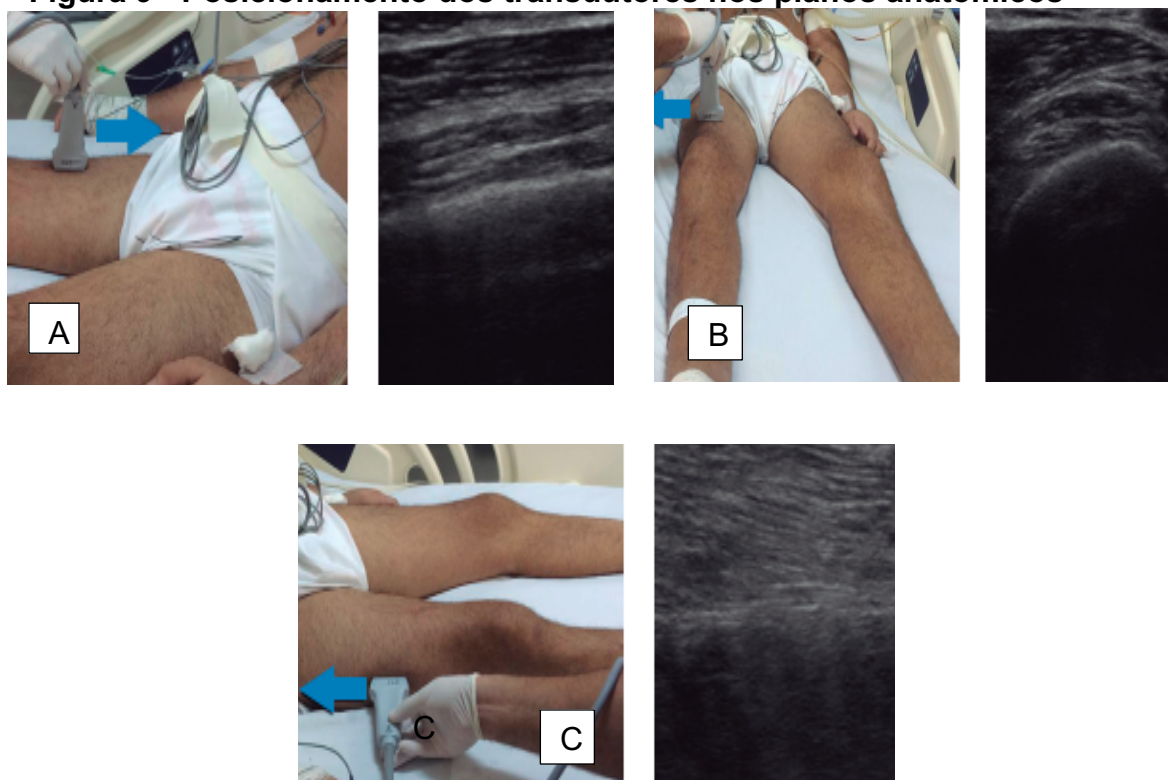
**Figura 8 - Planos anatômicos de avaliação ultrassonográfica**



Representação dos planos coronal, transversal e longitudinal utilizados na ultrassonografia musculoesquelética.

**Fonte: Adaptado de material didático de anatomia.**

Para avaliação da arquitetura muscular, os planos transversal e longitudinal são comumente os escolhidos. A espessura, a área de secção transversa e a eointensidade podem ser avaliadas tanto no plano transversal quanto no longitudinal (MCNALLY, 2014). Entretanto, o ângulo e o comprimento do fascículo não podem ser avaliados no plano transversal (Figuras 9 A B C) (JACOBSON, 2018).

**Figura 9 - Posicionamento dos transdutores nos planos anatômicos**

Demonstração da aplicação dos transdutores nos diferentes planos para avaliação da arquitetura muscular.

**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

Os transdutores apresentam uma marca de referência em alto-relevo na sua borda (Figura 10), a qual tem o objetivo de orientar o posicionamento do transdutor no plano anatômico. Por convecção, nos planos longitudinal e coronal, a marca deve ser apontada em direção cranial, já no plano transversal, deve ser orientada para a lateral do corpo (Figura 9B).

**Figura 10 - Referência de orientação em transdutores de ultrassonografia**



(A) Vista longitudinal com marcador de orientação (seta). (B) Vista frontal do transdutor. (C) Vista lateral com indicação do marcador (seta).

**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

## 1.2.7 Avaliação ultrassonografica da musculatura

### Músculos respiratórios

Os músculos respiratórios inspiratórios primários e acessório e expiratório são essenciais para a ventilação. O diafragma, principal músculo respiratório, tem uma estrutura em forma de cúpula dividida em duas partes: o tendão central e a porção muscular periférica, que se divide em porção crural (medial) e porção costal maior (lateral) (WEST, 2016). Durante a respiração tranquila, a contração do diafragma faz com que a cúpula central abaixe, reduzindo a pressão pleural e aumentando a pressão abdominal, o que provoca o movimento da parede abdominal para fora e eleva a caixa torácica inferior. Isso aumenta a dimensão da cavidade torácica e cria pressão negativa para insuflar os pulmões (GUYTON; HALL, 2017).

O diafragma é innervado pelos nervos frênicos, oriundos das raízes nervosas C3 – C5. Sua função depende da integridade dos centros cerebrais e do nervo frênico. A função diafragmática pode ser comprometida por doenças que afetam o próprio diafragma ou o eixo neuromuscular. Nos adultos as fibras musculares do diafragma

são predominantemente do tipo I, com alta resistência à fadiga, o que é crucial para uma respiração contínua (GUYTON; HALL, 2017; WEST, 2016).

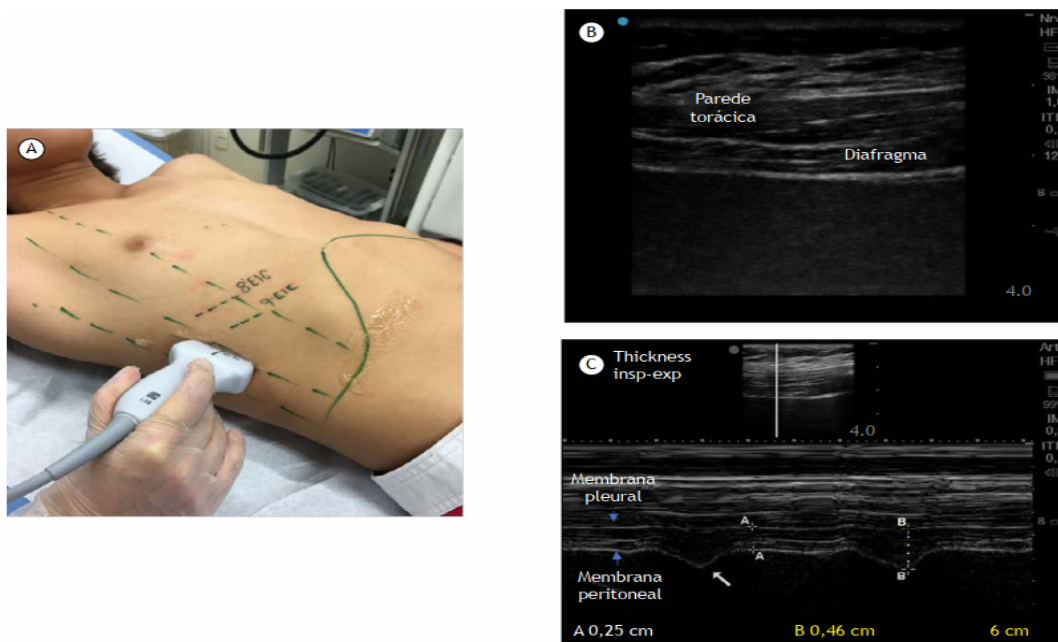
A disfunção diafragmática (DD), caracterizada por fraqueza ou paralisia do músculo, reduz a capacidade inspiratória e a resistência dos músculos respiratórios e é frequentemente subdiagnosticada devido à sua apresentação inespecífica (OTTENHEIJM *et al.*, 2007).

A DD unilateral muitas vezes é assintomática e detectada incidentalmente (KOO; WARE, 2018). Em casos raros, pode causar dispneia, especialmente na posição supina (DUBÉ; DRES, 2016). Pacientes com DD bilateral ou DD unilateral associada a doenças pulmonares podem experimentar dispneia ao esforço, distúrbios respiratórios do sono, pior desempenho durante exercícios e redução na qualidade de vida (FOGARTY; SIECK, 2019). A DD é frequentemente suspeitada quando há elevação do diafragma em uma radiografia de tórax, geralmente solicitada para investigar dispneia ou outros sintomas respiratórios. A confirmação da DD pode ser feita por diversos exames, dependendo de sua disponibilidade, utilidade e grau de invasão (OTTENHEIJM *et al.*, 2007).

Na USG, o diafragma pode ser examinado por duas janelas acústicas: a subcostal e a da Zona de Aposição (ZA) (SANTANA *et al.*, 2020). Pela janela subcostal, o diafragma aparece como uma estrutura curvada que separa o tórax do abdome. Pela janela da ZA, o diafragma é visualizado como uma estrutura de três camadas: uma camada muscular interna hipoeoica e duas membranas externas hiperecoicas (peritônio e pleura) (SANTANA *et al.*, 2020).

Durante a contração diafragmática saudável, o ultrassom subcostal mostra o diafragma movendo-se para baixo, enquanto a janela da ZA revela o encurtamento e espessamento do músculo (SANTANA *et al.*, 2020). A USG permite medir a mobilidade e a espessura do diafragma. Para uma avaliação objetiva, é necessário capturar pelo menos três imagens e calcular a média dos valores (SANTANA *et al.*, 2020). A mobilidade diafragmática é avaliada por meio de USG nas janelas subcostal anterior (preferida), subcostal posterior ou subxifoide, utilizando os modos bidimensional (B) ou unidimensional (M). A medição é realizada em três momentos: durante a respiração tranquila, na inspiração profunda máxima e durante a manobra de sniffing (fungada voluntária) (SANTANA *et al.*, 2020). (Figura 11).

**Figura 11 - Medição da espessura do hemidiafragma**



Medição da espessura do hemidiafragma direito por meio da colocação do transdutor linear sobre a zona de aposição (ZA) no nono espaço intercostal, entre as linhas axilar anterior e axilar média.

**Fonte: Adaptado de Santana et al. (2020).**

A USG diafragmática tem sido usada na avaliação de diversas doenças respiratórias, entre elas a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), sendo esta alvo do estudo desse trabalho.

Sabe-se que a DPOC, está associada a alterações na composição e função dos músculos periféricos e respiratórios, o que pode impactar negativamente a QV (PAULIN *et al.*, 2007). Nesse sentido a USG pode fornecer uma avaliação não invasiva da integridade dos músculos periféricos e do diafragma, mas seu uso em pacientes com DPOC ainda está sendo investigado. (MAYNARD-PAQUETTE *et al.*, 2020).

Estudos recentes usaram a USG para avaliar a função diafragmática em pacientes com DPOC:

1. Paulin *et al.* (2007): Encontraram que pacientes com DPOC apresentavam menor mobilidade diafragmática em comparação com controles saudáveis, e essa mobilidade correlacionava-se positivamente com a distância percorrida no

teste de caminhada de seis minutos e negativamente com a dispneia aos esforços.

2. Dos Santos Yamaguti *et al.* (2008): Observaram que a mobilidade diafragmática reduzida em pacientes com DPOC estava associada principalmente ao aprisionamento aéreo, e não à força inspiratória ou à hiperinsuflação pulmonar.
3. Baria *et al.* (2014): Compararam a espessura diafragmática em pacientes com DPOC com controles saudáveis e encontraram valores semelhantes de espessamento diafragmático.
4. Smargiassi *et al.* (2014): Demonstraram uma relação entre a massa magra e a espessura diafragmática, sugerindo que a USG pode auxiliar na avaliação da hiperinsuflação pulmonar e da perda de massa magra em pacientes com DPOC.
5. Antenora *et al.* (2014): Identificaram DD em 24,3% dos pacientes com DPOC em exacerbação submetidos à ventilação não invasiva (VNI). A DD esteve associada a piores desfechos clínicos, como falha na VNI, maior tempo de permanência na UTI e maior mortalidade.
6. Marchioni *et al.* (2014): Confirmaram que a disfunção diafragmática está associada a desfechos clínicos adversos semelhantes aos encontrados por Antenora *et al.* (2014).
7. Cammarota *et al.* (2014): Avaliaram a excursão diafragmática antes e após a VNI e verificaram que essa medida pode prever falha precoce da VNI durante exacerbações agudas da DPOC.

Esses estudos relacionados acima indicam que a ultrassonografia diafragmática é uma ferramenta útil para avaliar a função diafragmática e prever desfechos clínicos em pacientes com DPOC. A ultrassonografia diafragmática apresenta algumas limitações, incluindo: resolução do equipamento, pois os aparelhos de ultrassonografia possuem limites de resolução que podem afetar a precisão da medição da espessura do diafragma, correspondendo a 5–10% da espessura normal; dificuldade na avaliação do hemidiafragma esquerdo, que pode ser minimizada por meio do posicionamento adequado do paciente e do ajuste do transdutor; dependência do operador, uma vez que a precisão do exame depende do treinamento e habilidade do examinador; curva de aprendizado, pois a técnica exige

treinamento substancial, sendo relatadas como eficazes sessões práticas supervisionadas; e uso clínico ainda limitado, possivelmente devido à falta de conhecimento sobre suas aplicações, embora o aumento de estudos venha destacando sua utilidade, especialmente em cuidados intensivos. Em suma, embora apresente limitações, sua precisão pode ser aprimorada com treinamento adequado, e seu uso na prática clínica tende a aumentar conforme surgem novas evidências de sua eficácia.

### **Músculos periféricos**

A evolução da DPOC pode levar à atrofia/hipotrofia muscular, uma condição caracterizada pela perda de massa e função muscular devido ao desuso ou processo inflamatório crônico (MAYNARD-PAQUETTE *et al.*, 2020). Esta perda de massa muscular é um preditor de comprometimento funcional, estando associada a mortalidade e ao aumento da incapacidade funcional a curto e longo prazo.

As imagens ultrassonográficas descritas na literatura apontam para o aumento na ecointensidade muscular na DPOC grave e muito grave (MARQUIS *et al.*, 2002; BARIA *et al.*, 2014; MAYNARD-PAQUETTE *et al.*, 2020). Esse aumento está associado à diminuição da força muscular e da capacidade funcional durante o despertar de pacientes criticamente enfermos, por isso, é sugerido como marcador de prognóstico (MAYNARD-PAQUETTE *et al.*, 2020).

A análise do músculo quadríceps femoral por ultrassom é bem descrita na literatura, que aponta esse músculo como mais propenso a atrofia precoce comparativamente aos músculos do membro superior (PARRY; PUTHUCHEARY, 2015).

Estudos anteriores mostram que o compartimento anterior apresenta maiores reduções de massa muscular em menor tempo assim, você faz uma boa escolha para avaliação da massa muscular do reto femoral (RF) e vasto intermédio (VI), Figura 12, já que ocupam a maior parte do compartimento anterior da coxa e são importantes extensores de joelho e flexores de quadril simultaneamente no processo de sentar e levantar e marcha (PUTHUCHEARY *et al.*, 2013; TILLQUIST *et al.*, 2014).

**Figura 12 - Avaliação ultrassonográfica do quadríceps femoral**

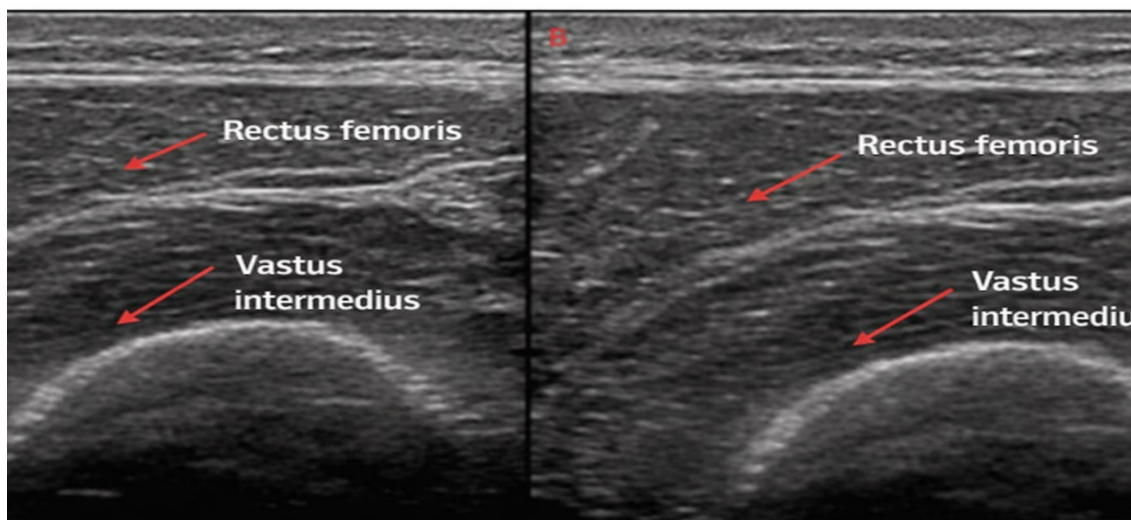


Imagem ultrassonográfica em modo B do compartimento anterior da coxa, sinalizando o músculo reto femoral (*rectus femoris*) e o músculo vasto intermédio (*vastus intermédios*), com delimitação das interfaces fasciais e avaliação da arquitetura muscular.

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2026).

### 1.3 Justificativas

A DPOC é uma condição progressiva e incapacitante que afeta milhões de pessoas no mundo, sendo caracterizada por obstrução persistente do fluxo aéreo e inflamação crônica das vias respiratórias. Além das limitações respiratórias, há uma crescente evidência de que a DPOC afeta negativamente a musculatura esquelética periférica e a musculatura ventilatória resultando em uma redução da força muscular resistência e QV (GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE, 2024).

Essas alterações musculares são associadas a pior prognóstico, aumento da sensação de dispneia e limitação das atividades diárias, influenciando diretamente a morbimortalidade dos pacientes. A avaliação da qualidade muscular, tanto ventilatória quanto periférica, é crucial para o entendimento da magnitude dessas alterações e para o desenvolvimento de intervenções terapêuticas mais eficazes como treinamento físico personalizado que pode melhorar a função muscular e consequentemente a capacidade funcional e qualidade de vida (BODE et al., 2004; SWALLOW et al., 2007).

No entanto ainda há uma lacuna na literatura em relação a análise integrada da musculatura ventilatória e periférica em pacientes com DPOC bem como na identificação de marcadores funcionais que possam direcionar estratégias de reabilitação. Desta forma este estudo justifica-se pela necessidade de uma avaliação aprofundada dessas duas dimensões musculares contribuindo para o aprimoramento das intervenções em reabilitação pulmonar e a individualização dos tratamentos. Além disso pode fornecer novos *insites* sobre o impacto sistêmico da DPOC e suas repercussões musculares fortalecendo a base da evidência científica na área (SPRUIT et al., 2013; SEYMOUR et al., 2010).

### **1.3.1 Relevância para as Ciências da Reabilitação**

A relevância deste trabalho para as Ciências da Reabilitação está em aprofundar o conhecimento sobre a função muscular ventilatória e periférica em pacientes com DPOC, permitindo o desenvolvimento de intervenções mais eficazes e personalizadas. Isso pode aprimorar os protocolos de reabilitação pulmonar, melhorar a QV dos pacientes, reduzir hospitalizações e contribuir para a formação de fisioterapeutas e outros profissionais ligados a reabilitação. Além disso, o presente trabalho tem forte impacto para a avaliar a musculatura respiratória e periférica através do USG cinesiológico em pacientes portadores de (DPOC).

### **1.3.2 Relevância para as Prioridades Estratégicas da Organização Pan-Americana de Saúde<sup>1</sup>**

O presente trabalho está inserido na agenda de prioridades de pesquisa do Ministério da Saúde através do eixo 6.

---

<sup>1</sup> [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/57798/OPASBRA230009\\_por.pdf](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/57798/OPASBRA230009_por.pdf)

### **1.3.3 Relevância para o Desenvolvimento Sustentável<sup>2</sup>**

O presente trabalho está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil através do ODS 3: saúde e bem-estar, garantido acesso à saúde de qualidade.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Primário**

Analisar a capacidade diagnóstica e preditiva da limitação da capacidade funcional, dos parâmetros ultrassonográficos dos músculos ventilatórios e periféricos, nos diferentes perfis de gravidade da DPOC.

### **1.4.2 Secundários**

1. Descrever a prevalência de limitação da capacidade funcional e do perfil agregado de sintomas e exacerbações nos voluntários com DPOC
2. Descrever a arquitetura muscular ventilatória e periférica nos diferentes perfis de gravidade e de limitação funcional da DPOC;
3. Correlacionar a capacidade funcional com a arquitetura muscular ventilatória e periférica obtida pela USG cinesiológica;

## **1.5 Hipóteses**

### **1.5.1 Hipótese nula (H0)**

As variáveis musculares ultrassonográficas não são capazes de predizer a limitação da capacidade funcional nos voluntários com DPOC estável.

---

<sup>2</sup> <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=3>

### **1.5.2 Hipótese alternativa (H1)**

As variáveis musculares ultrassonográficas predizem a limitação da capacidade funcional nos voluntários com DPOC estável.

## Capítulo 2 Participantes e Métodos

---

### 2.1 Aspectos éticos

O protocolo experimental foi submetido ao Comitê de Ética antes da execução do estudo, em consonância com a resolução 466/2012 e a Lei 14.874 de 28/05/2024 e aprovado pelo comitê de ética e pesquisa da UNISUAM, CAAE nº 83441124.9.0000.5235 (Anexo 1).

Todos os voluntários da pesquisa assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido após serem informados sobre a natureza do estudo e do protocolo a ser realizado (Anexo 2).

#### 2.1.1 Riscos e Benefícios

O projeto apresentou riscos mínimos, uma vez que o estudo foi observacional, utilizando como variáveis de interesse, exames de rotina na prática clínica, indolores, não invasivos, não radioativos e com eventos adversos mínimos ou desprezíveis na literatura. Além disso, todos os dados foram incluídos em banco de dados não identificado e não criptografado. Não houve qualquer registro fotográfico ou de imagem que permitisse a exposição dos voluntários.

Diversos foram os benefícios aos pacientes que tiveram um melhor rastreio clínico e funcional de sua condição de saúde, além de benefícios relacionados à produção de conhecimento científico que em última análise subsidia a construção de políticas públicas de saúde.

### 2.2 Delineamento do estudo

Estudo transversal com voluntários diagnosticados com DPOC.

### **2.2.1 Local de realização do estudo**

O estudo foi realizado no Laboratório de Avaliação Funcional Cardiorrespiratória, do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação do Centro Universitário Augusto Motta (PPGCR-UNISUAM), localizado na rua Dona Isabel, nº 94, 2º andar, Bonsucesso, Rio de Janeiro – Brasil.

## **2.3 Amostra**

Foram recrutados de forma aberta e aleatoriamente voluntários, adultos (idade >18 anos), de ambos os sexos com diagnóstico clínico e espirométrico de DPOC com manifestação clínica da doença em seus diversos níveis de classificação GOLD I, II, III e IV. O recrutamento ocorreu na Clínica-Escola Amarina Motta (CLESAM) em pacientes aguardando para início nos programas de reabilitação pulmonar e no ambulatório de DPOC do Hospital Central da Polícia Militar. Também foram recrutados pacientes nas clínicas de saúde da família da Maré, Complexo do Alemão e Manguinhos, bem como através das mídias digitais com posts convidando os voluntários e grupos de mensagem espontânea.

### **2.3.1 Local de recrutamento do estudo**

O recrutamento dos participantes ocorreu nas seguintes localidades:

1. Clínica-Escola Amarina Motta (CLESAM) em lista de pacientes aguardando para início nos programas de reabilitação pulmonar, neste local.
2. Ambulatório de DPOC do Hospital Central da Polícia Militar, situado na Rua estágio de Sá, 36, Estácio, Centro, Rio de Janeiro.
3. Clínicas de saúde da família da Maré, Complexo do Alemão e Manguinhos.
4. Recrutamento por livre demanda dos pacientes a partir da divulgação da proposta de estudo nas mídias digitais com posts convidando os voluntários e grupos de mensagem espontânea.

### 2.3.2 Critérios de inclusão

1. Idade superior a 18 anos;
2. Para critério de inclusão foram recrutados pacientes com DPOC em classificação GOLD I, II, III e IV.

### 2.3.3 Critérios de exclusão

1. Voluntários com condições neuromusculares, tais como doenças neuromusculares, doenças neurológicas, lesões nervosas periféricas e afecções ortopédicas dos membros inferiores que limitem a função muscular e que interfiram nas avaliações propostas;
2. Voluntários com outras condições pulmonares crônicas concomitantes como fibrose pulmonar, doença pulmonar ocupacional e overlap ASMA-DPOC;
3. Voluntários com DPOC que tenham apresentado episódio de internações ou exacerbações agudas nas últimas 4 semanas;
4. Voluntários com DPOC que participem ou tenham participado de programas de reabilitação pulmonar nos últimos 12 meses;
5. Impossibilidade de realizar ou concluir qualquer etapa avaliativa.

## 2.4 Procedimentos/Metodologia proposta

### 2.4.1 Espirometria

A função pulmonar dos participantes foi avaliada por meio de espirometria de acordo com as diretrizes da *American Thoracic Society/European Respiratory Society* (ATS/ERS, 2019). O exame foi realizado utilizando o espirômetro Koko, devidamente calibrado com uma superseringa de 5L antes de cada sessão.

Foram coletados os seguintes parâmetros(pós-broncodilatação):

- Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF1, L e o % previsto, pós-BD)
- Capacidade Vital Forçada (CVF, L e o % previsto, pós-BD )
- Relação VEF1/CVF (% absoluto, pós-BD)

A classificação da gravidade da obstrução ao fluxo aéreo seguiu os critérios estabelecidos pela *Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease* (GOLD, 2024).

Foram considerados os valores após três manobras aceitáveis, e após prova broncodilatadora, sendo analisados os valores absolutos e os % dos preditos para população brasileira baseados na equação prevista pelas novas recomendações de espirometria da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (PEREIRA et al., 2024). Os pacientes com  $VEF_1/CVF(\%) < 70\%$  e  $VEF_1(\%) < 50\%$  realizaram as medidas dos volumes pulmonares estáticos através da Plestimografia Corporal para determinação do VR, CRF e da CPT além das relações VR/CPT.

## 2.4.2 Dinamometria de preensão palmar

A Força de Preensão Manual dos músculos flexores das mãos e dos dedos do membro dominante (FPM,MSd) foi realizada por meio de um dinamômetro de preensão manual (*Hydraulic Hand Dynamometer*, modelo SH5001, Saehan Corporation, Coreia).

Como forma de padronização do teste, o posicionamento dos participantes seguiu às orientações da *American Society of Hand Therapist* (ASHT), na qual os indivíduos devem permanecer sentados confortavelmente, com o ombro levemente abduzido, o cotovelo apoiado e flexionado a 90° e o antebraço e punho em posição neutra. A alça do dinamômetro foi fixada na posição em que o primeiro quirodáctilo se sobrepunha a falange distal do segundo quirodáctilo. A força máxima foi avaliada após uma contração sustentada de 3 segundos na mão dominante; o maior valor de três tentativas com intervalo de 1 minuto foi considerado para análise.

Foram utilizados como fórmulas de predição (NOVAES et al., 2009):

- $FPM-D_{,kgf} = 39,996 - (0,382 \times idade_{,anos}) + (0,174 \times peso_{,kg}) + (13,628 \times sexo)$   
ref.: homens = 1; mulheres = 0
- $FPM-ND_{,kgf} = 44,968 - (0,420 \times idade_{,anos}) + (0,110 \times peso_{,kg}) + (9,274 \times sexo)$   
ref.: homens = 1; mulheres = 0

A presente avaliação caracterizou a presença de disfunção muscular difusa (sarcopenia) caracterizada por uma dinamometria do membro superior dominante <

50 % do predito ou < 32 kgs para homens e < 22 kgs para mulheres (BAHAT *et al.*, 2016).

### **2.4.3 Teste de Caminhada de 6 minutos (TC6M)**

O Teste de Caminhada de Seis Minutos (TC6M) foi realizado de acordo com as normas da ATS (2002), em um corredor plano, coberto e de pelo menos 30 metros de comprimento.

Procedimentos:

- Verificação da frequência cardíaca, pressão arterial, Saturação periférica de Oxigênio (SpO<sub>2</sub>) e percepção de dispneia (escala de Borg Modificada)
- Instrução para caminhar o máximo possível durante seis minutos
- Será feito o registro da:
  - Distância percorrida (D<sub>6min</sub>, em metros);
  - Saturação periférica de oxigênio antes, durante e ao final do teste;
  - Variação da SpO<sub>2</sub>;
  - Escala de dispneia/percepção de esforço pela escala de Borg modificada (0-10).

A Distância Percorrida no TC6M (DTC6M) foi comparada aos valores previstos para a população brasileira utilizando variáveis antropométricas/demográficas (idade, sexo, IMC) segundo Britto *et al.*, 2013.

$6MWD_{pred} = 890.46 - (6.11 \times idade) + (0.0345 \times idade^2) + (48.87 \times sexo) - (4.87 \times BMI)$  (sexo = 1 para homem; 0 para mulher)

### **2.4.4 Avaliação por ultrassom da musculatura respiratória e periférica**

**Avaliação da função diafragmática por ultrassonografia**

A avaliação da função diafragmática foi realizada por meio de USG, utilizando as modalidades de imagem em modo B e modo M. Os exames foram conduzidos por examinadores treinados, utilizando um aparelho de ultrassonografia portátil (LUMIFY® Philips) de alta resolução, acoplado a um transdutor linear ou convexo multifrequencial (7–15 MHz e 2–5 MHz, respectivamente).

### **Posição do Paciente**

Os participantes foram posicionados em decúbito dorsal com o tronco elevado a 30 – 45° (posição semissentada) para favorecer a visualização do diafragma. Foram orientados a manter a respiração tranquila, seguida de manobras respiratórias específicas sob orientação do examinador.

### **Identificação do Diafragma**

A avaliação foi realizada preferencialmente na região da zona de aposição do diafragma ao gradil costal, à direita, entre o 8º e o 10º espaço intercostal na linha axilar média a anterior. Quando necessário, a avaliação também foi realizada do lado esquerdo. O diafragma será identificado como uma estrutura hiperecogênica tripla (US no modo B) constituída por uma linha hiperecogênica superficial (pleura), uma camada hipocogênica central (músculo diafragmático) e uma linha hiperecogênica profunda (peritônio).

### **Espessura Diafragmática e Fração de Espessamento**

As medidas da espessura diafragmática foram obtidas com US no modo B e em dois momentos:

- No final da expiração espontânea passiva (Espessura Expiratória; EExp)
- No final da inspiração espontânea máxima (Espessura Inspiratória; EIns)

Foram realizados três registros consecutivos em cada momento respiratório, e a média dos valores foi utilizada para análise.

A Fração de Espessamento (Thickening Fraction, TF) foi calculada conforme descrito por Matamala et al. (2018) e Umbach et al. (2016).

$$\text{FED/TF} = ((E_{\text{Ins}} - E_{\text{Exp}}) / E_{\text{Exp}}) \times 100$$

Valores reduzidos de FED/TF (< 20 – 40%) foram interpretados como indicativos de DD.

### **Avaliação da Mobilidade Diafragmática**

Para a análise da mobilidade do diafragma, um transdutor convexo (C5-2; 2–5 MHz) foi posicionado no espaço subcostal na linha hemiclavicular direita. Para essa medida o US foi utilizado no modo M, que registrou o deslocamento diafragmático em tempo real.

O paciente foi instruído a realizar:

- Respiração tranquila (ventilação espontânea basal);
- Inspiração voluntária máxima e profunda (capacidade inspiratória);

A amplitude de deslocamento do diafragma foi medida da linha de base até o pico da inspiração. A média de três manobras consecutivas foi utilizada para análise.

### **Controle de Variabilidade**

Todas as medidas foram realizadas por dois avaliadores independentes, e a média das medidas foi considerada para análise final. Para minimizar viés interobservador, os avaliadores foram treinados em conjunto antes do início da coleta.

### **Equipamentos**

As avaliações foram realizadas com o equipamento de ultrassom portátil Philips Lumify® com transdutor linear(C5-1) e convexo(C5-2) multifrequencial de 5-10MHz e 2-5MHz, respectivamente, configurado para otimizar a resolução da imagem

em modo B e M, com ajustes de profundidade entre 2 e 12 cm e ganho de imagem padronizado para todos os pacientes.

### **Avaliação da massa muscular periférica**

As avaliações da massa muscular foram realizadas por um profissional com experiência em medições e análise ultrassonográficas. Foi utilizado o tecido espessura do compartimento anterior da coxa direita que será medido por USG no modo B. Imagens transversais foram obtidas com aparelho de US no modo B e um transdutor linear (5 – 10 MHz). As medições foram feitas com o paciente em posição supina, semi-fowler com os membros inferiores completamente em extensão. O transdutor foi posicionado perpendicularmente ao eixo do membro e localizado dois terços do caminho entre o íliaco ântero-superior coluna vertebral e o côndilo lateral do joelho. A espessura do reto femoral e do vasto intermédio foram medidas.

As medidas do reto femoral foram feitas colocando o transdutor perpendicular ao longo eixo da coxa (precisamente a 3/5 da distância do ântero-superior espinha ilíaca até a borda patelar superior), isolando assim o músculo.

Os indivíduos foram colocados em decúbito dorsal com a perna apoiada em extensão. Antes da imagem aquisição, foram realizadas manobras de contração-relaxamento para delinear os septos musculares que separam o músculo vasto intermediário e o reto femoral.

Foram realizadas três medidas comparativas, todas no estado de relaxamento:

1) A área transversal do reto femoral músculo (AST/Qcsa) (conforme adquirido na imagem congelada usando paquímetros eletrônicos);

2) A espessura total do quadríceps músculo (Qesp, definido como a adição da medida do músculo reto femoral + do músculo vasto intermédio);

3) Índice de contratilidade (Qci). O Qci será obtido pela divisão da Qesp (Reto + vasto intermédio) dividido pela espessura total anterior da coxa (distância da pele até a borda anterior do fêmur). Portanto,  $Qci = [100 * (Qesp / \text{total anterior da coxa grossura})]$ . Todas as medições foram realizadas no nível da parte mais anterior e central do osso do fêmur, em eixo perpendicular à pele. Para avaliar a confiabilidade, as medições foram realizadas 3 vezes sempre pelo mesmo operador.

## 2.5 Análise dos dados

### 2.5.1 Tamanho amostral (cálculo ou justificativa)

O tamanho amostral mínimo foi estimado para um estudo transversal com objetivo de avaliar a correlação entre medidas de ultrassonografia muscular (diafragma e quadríceps) e variáveis clínicas e funcionais em pacientes com DPOC. Considerando um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ), poder estatístico de 80% ( $1-\beta=0,80$ ), correlação moderada esperada de 0,40 baseada em referenciais teóricos e testes bicaudais, aplicou-se a fórmula de transformação Z de Fisher para correlações:  $n = ((Z\alpha/2 + Z\beta) / (0,5 \times \ln((1 + r)/(1 - r))))^2 + 3$ , onde  $Z\alpha/2 = 1,96$  e  $Z\beta = 0,84$ . Substituindo os valores na equação, obteve-se  $\ln((1 + 0,40)/(1 - 0,40)) = \ln(2,333) \approx 0,847$ , resultando em  $0,5 \times 0,847 = 0,4236$ , e consequentemente  $n = ((1,96 + 0,84) / 0,4236)^2 + 3 \approx 43,7 + 3 \approx 47$  voluntários como amostra mínima necessária.

Durante o processo de recrutamento, 212 voluntários adultos (idade >18 anos) de ambos os sexos foram recrutados de forma aberta e randomizada através da CLESAM, Ambulatório de DPOC do Hospital Central da Polícia Militar, clínicas de saúde da família da Maré, Complexo do Alemão e Mangueiras, além de divulgação em mídias digitais. Destes, 132 participantes apresentavam diagnóstico clínico e espirométrico confirmado de DPOC em diferentes estágios de gravidade (classificação GOLD I, II, III e IV) e foram incluídos no estudo. Após aplicação dos critérios de exclusão e execução completa do protocolo de avaliação, 124 voluntários concluíram todas as etapas avaliativas sem eventos adversos, compondo a amostra final analisada. Este número representa 163,8% da amostra mínima estimada (47 participantes), conferindo adequado poder estatístico superior a 99% para detecção das correlações de interesse e maior robustez às análises realizadas.

### 2.5.2 Variáveis do estudo

As variáveis de desfecho primário foram as medidas ultrassonográficas de função muscular respiratória diafragmática (espessura do diafragma e FED/TF) e de função periférica estimada no músculo quadríceps femoral (AST/Qcsa),(Qesp) e (Qci)

e suas relações com os níveis de gravidade da DPOC e com a limitação da capacidade funcional.

As variáveis de desfecho secundário foram as correlações entre as variáveis de função pulmonar, capacidade funcional pelo TC6min e de sintomas com as variáveis ultrassonográficas estudadas.

### **2.5.3 Plano de análise estatística**

Este plano de análise estatística foi desenvolvido para avaliar a relação entre parâmetros ultrassonográficos musculares (diafragma e quadríceps) e variáveis clínicas e funcionais em pacientes com DPOC, bem como determinar os pontos de corte ideais para predição de limitação funcional. Todas as análises foram realizadas utilizando o software SPSS versão 21 (IBM, Armonk, NY, EUA) e R Studio, com nível de significância estabelecido em  $p < 0,05$  e intervalos de confiança de 95%.

Os dados foram descritos de acordo com a distribuição das variáveis. Variáveis contínuas com distribuição normal foram expressas como média  $\pm$  desvio padrão, enquanto variáveis com distribuição não-normal foram apresentadas como mediana e intervalos interquartis (IQR). Variáveis categóricas foram relatadas como frequências absolutas e percentuais (n, %). A normalidade dos dados foi avaliada mediante teste de Shapiro-Wilk e análise visual de histogramas e gráficos Q-Q.

As comparações entre os grupos de pacientes com e sem limitação funcional (definida como DTC6M  $< 65\%$  do previsto) foram realizadas utilizando:

- Teste t de Student para amostras independentes, quando as variáveis contínuas apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variâncias;
- Teste de Mann-Whitney U para variáveis contínuas com distribuição não-normal ou variâncias heterogêneas;
- Teste qui-quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ) para variáveis categóricas, com aplicação de correção de continuidade de Yates quando apropriado.

O tamanho de efeito para as diferenças entre grupos foi calculado mediante d de Cohen, sendo considerado pequeno ( $d=0,2$ ), moderado ( $d=0,5$ ) ou grande ( $d \geq 0,8$ ) conforme convenções estabelecidas.

Curvas de característica de operação do receptor (ROC - Receiver Operating Characteristic) foram construídas para avaliar a acurácia diagnóstica dos parâmetros

ultrassonográficos musculares na predição de limitação funcional. A área sob a curva (AUC) foi calculada com intervalos de confiança de 95%, sendo interpretada segundo critérios estabelecidos: AUC 0,90-1,00 (excelente), 0,80-0,90 (boa), 0,70-0,80 (razoável), 0,60-0,70 (pobre) e  $<0,60$  (teste sem valor discriminativo). Os pontos de corte ideais foram determinados pelo índice de Youden ( $J = \text{sensibilidade} + \text{especificidade} - 1$ ), maximizando a soma da sensibilidade e especificidade. Para cada ponto de corte estabelecido, foram calculados:

1. Sensibilidade;
2. Especificidade;
3. Valores Preditivos Positivo (VPP) e negativo (VPN);
4. Razões de verossimilhança positiva e negativa, e
5. Acurácia diagnóstica global.

As relações entre variáveis ultrassonográficas musculares e marcadores clínicos de gravidade da doença (VEF1, VEF1/CVF, DTC6M, FPM) foram avaliadas mediante coeficientes de correlação de Pearson (para dados paramétricos) ou Spearman ( $\rho$ ) para dados não-paramétricos. A magnitude das correlações foi interpretada segundo Cohen:  $r < 0,30$  (fraca),  $0,30 \leq r < 0,50$  (moderada),  $0,50 \leq r < 0,70$  (forte) e  $r \geq 0,70$  (muito forte). Matrizes de correlação foram construídas para visualização das inter-relações entre múltiplas variáveis.

A progressão da disfunção muscular ao longo dos diferentes estágios de gravidade foi avaliada mediante:

- Análise de Variância (ANOVA) de uma via para comparações entre os estágios GOLD (I, II, III e IV) e entre as classificações ABE (A, B e E), quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias foram atendidos;
- Teste de Kruskal-Wallis para variáveis não-paramétricas;
- Testes pós-hoc de Bonferroni para comparações pareadas múltiplas, controlando a taxa de erro tipo I;
- Teste de tendência linear para avaliar a progressão gradual dos parâmetros musculares ao longo dos estágios de gravidade.

O teste qui-quadrado foi utilizado para comparar a prevalência de limitação funcional entre os diferentes estágios GOLD e classificações ABE. A análise de covariância (ANCOVA) foi aplicada quando apropriado para ajustar diferenças entre grupos por potenciais confundidores (idade, sexo, IMC).

Para identificar preditores independentes de limitação funcional, foi conduzida análise de regressão logística binária multivariada com método de entrada forçada (*forced entry*). Inicialmente, análises univariadas foram realizadas para selecionar variáveis candidatas ( $p < 0,20$ ). O modelo multivariado final incluiu parâmetros ultrassonográficos (área de secção transversal do quadríceps, índice de contratilidade do quadríceps, fração de espessamento do diafragma), variáveis clínicas (VEF1 % do previsto, idade, IMC) e força de preensão palmar. Os resultados foram expressos como razões de chances (OR - *odds ratio*) com intervalos de confiança de 95%. O desempenho do modelo foi avaliado mediante: (a) Pseudo  $R^2$  de McFadden para estimativa da variância explicada; (b) Teste de Hosmer-Lemeshow para avaliação da calibração do modelo ( $p > 0,05$  indica bom ajuste); (c) Estatística C (equivalente à AUC) para capacidade discriminativa; (d) Acurácia diagnóstica global. A multicolinearidade foi avaliada mediante fator de inflação da variância ( $VIF < 5$ ). Diagnósticos de resíduos foram examinados para identificar observações influentes.

A concordância intraobservador para as medidas ultrassonográficas (AST/Qcsa, Qesp, Qci, FED/TF) foi avaliada mediante coeficiente de correlação intraclassa (ICC) para concordância absoluta de medidas únicas, utilizando modelo misto bidirecional. A interpretação seguiu os seguintes critérios:  $ICC < 0,40$  (baixa concordância), 0,40-0,59 (concordância moderada), 0,60-0,74 (boa concordância) e 0,75-1,00 (excelente concordância). O Erro Padrão da Medida (SEM - *standard error of measurement*) e a Mínima Diferença Detectável (MDD) com 95% de confiança foram calculados para quantificar a precisão das medidas.

#### **2.5.4 Análises complementares incluíram:**

- Comparação de parâmetros ultrassonográficos entre pacientes com exacerbações frequentes ( $\geq 2$ /ano) versus exacerbações pouco frequentes (0-1/ano) mediante teste t de *Student* independente ou Mann-Whitney;

- Comparação entre pacientes com mais sintomas (mMRC $\geq$ 2) versus menos sintomas (mMRC $<$ 2) utilizando teste t de *Student* independente ou Mann-Whitney;
- Análise de regressão linear múltipla para identificar preditores do Qci, incluindo idade, sexo, FPM, VEF1 e FED/TF do diafragma;
- Ajuste de correlações entre FED/TF do diafragma e parâmetros do quadríceps para gravidade da doença (critérios GOLD) e VEF1, controlando o efeito potencial da hiperinsuflação pulmonar.

Dados ausentes foram tratados mediante exclusão por lista (*listwise deletion*), dado que representaram menos de 5% do total. Análises de sensibilidade foram conduzidas para verificar a robustez dos achados principais. Valores de p bicaudais  $<0,05$  foram considerados estatisticamente significativos. Todas as análises foram realizadas com intervalos de confiança de 95%. Os resultados foram reportados seguindo as diretrizes STROBE (*Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology*) para estudos observacionais transversais e as diretrizes STARD (*Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy*) para estudos de acurácia diagnóstica.

## 2.6 Financiamento

Este estudo é financiado pela Fundação Carlos Chagas Filho de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ, No. E-26/211.104/2021) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001, No. 88881.708719/2022-01, e No. 88887.708718/2022-00).

**Quadro 1: Apoio financeiro.**

CNPJ	Nome	Tipo de Apoio financeiro	E-mail	Telefone
00889834/0001-08	CAPES	Bolsa	prosup@capes.gov.br	(061) 2022-6250

## 2.7 Orçamento

Quadro 2: Detalhamento do orçamento.

Identificação do orçamento	Tipo	Valor (R\$)
	Custeio	0,00
	Material permanente	0,00
	<b>Total em R\$</b>	<b>0,00</b>

## 2.8 Cronograma

Quadro 3: Cronograma de execução.

	ETAPA	INÍCIO	FIM
<b>Pro jeto de Pes qui sa</b>	Elaboração do projeto de pesquisa	11/2024	11/2024
	Exame de Qualificação	05/2025	05/2025
	Apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa	11/2024	11/2024
	Registro do protocolo de pesquisa	11/2024	11/2024
	Elaboração de manuscrito (protocolo e/ou revisão)	01/2025	01/2025
	Submissão de manuscrito	03/2025	03/2025
<b>Col eta de Dad os</b>	Treinamento dos procedimentos e/ou estudo piloto	01/2025	01/2025
	Modelagem do bando de dados	01/2025	02/2025
	Coleta e tabulação de dados	02/2025	04/2025
	Análise dos dados	08/2025	08/2025
	Elaboração de manuscrito	10/2025	10/2025
	Depósito do banco de dados em repositório	10/2025	10/2025
<b>Pro duç ão</b>	Submissão de relatório para o Comitê de Ética	10/2025	10/2025
	Elaboração do trabalho de conclusão	10/2025	10/2025
	Exame de Defesa	03/2026	03/2026
	Submissão de manuscrito (resultados)	03/2026	03/2026
	Elaboração de mídias para disseminação	04/2026	04/2026
	Entrega da versão final do trabalho de conclusão	04/2026	04/2026

## Referências

---

- ABDULAI, R. M. et al. **Deterioration of limb muscle function during acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease.** *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 197, n. 4, p. 433-449, 2018.
- AGUSTI, A. et al. **Characterisation of COPD heterogeneity in the ECLIPSE cohort.** *Respiratory Research*, v. 11, p. 122, 2010.
- Arthur C. Guyton; John E. Hall. **Tratado de fisiologia médica.** 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- BARNES, P. J. *Chronic obstructive pulmonary disease: effects beyond the lungs.* **PLoS Medicine**, v. 7, n. 3, e1000220, 2010
- BARREIRO, E.; GEA, J. **Respiratory and limb muscle dysfunction in COPD.** *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, v. 13, n. 4, p. 413-426, 2016.
- BIDAN, C. M. et al. **Airway and extracellular matrix mechanics in COPD.** *Frontiers in Physiology*, v. 6, p. 346, 2015.
- BODE, Carlos et al. **The BODE index in chronic obstructive pulmonary disease.** *New England Journal of Medicine*, Boston, v. 350, n. 10, p. 1005–1012, 2004.
- BOSSENBROEK, L. et al. **Daily physical activity in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review.** *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, v. 8, n. 4, p. 306-319, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Agenda de prioridades de pesquisa do Ministério da Saúde.** Brasília: Ministério da Saúde, 2015. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/agenda\\_prioridades\\_pesquisa\\_ms.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/agenda_prioridades_pesquisa_ms.pdf). Acesso em: 25 jan. 2025.
- BRASIL. **Objetivo 3: saúde e bem-estar.** Brasília: ODS Brasil, 2024. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=3>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- CAMPBELL, I. T. et al. **Muscle thickness measured with ultrasound may be an indicator of lean tissue wasting in multiple organ failure in the presence of edema.** *Clinical Nutrition*, v. 14, n. 4, p. 259-266, 1995.
- CHEN, S. et al. **Gait speed trajectory during the six-minute walk test in multiple sclerosis: a measure of walking endurance.** *Frontiers in Neurology*, v. 12, 2021.

- COHN, D. et al. **Diaphragm thickening during inspiration.** Journal of Applied Physiology, v. 83, n. 1, p. 291-296, 1997.
- CONNOLLY, B. et al. **Ultrasound assessment of the quadriceps muscle in patients with chronic respiratory disease: reliability and clinical implications.** Thorax, v. 73, n. 1, p. 62-70, 2018.
- COSTA, D. et al. **Novos valores de referência para pressões respiratórias máximas na população brasileira.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 36, n. 3, p. 306-312, 2010.
- CRUZ, M. M.; PEREIRA, M. **Epidemiology of chronic obstructive pulmonary disease in Brazil: a systematic review and meta-analysis.** Ciência & Saúde Coletiva, v. 25, n. 11, p. 4547-4557, 2020.
- DAVID HALLIDAY; ROBERT RESNICK; JEARL WALKER. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica.** 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016
- DEGENS, H.; GAYAN-RAMIREZ, G.; VAN HEES, H. W. H. **Smoking-induced skeletal muscle dysfunction: from evidence to mechanisms.** American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 191, n. 6, p. 620-625, 2015.
- DE TROYER, A. **Effect of hyperinflation on the diaphragm.** European Respiratory Journal, v. 10, n. 3, p. 708-713, 1997.
- DUBÉ, Benoît-P.; DRES, Martin. **Diaphragm dysfunction: diagnostic approaches and management strategies.** *Journal of Clinical Medicine*, Basel, v. 5, n. 12, p. 113, 2016.
- EAPEN, M. S.; SOHAL, S. S. **Update on the pathogenesis of COPD.** The New England Journal of Medicine, v. 381, n. 25, p. 2483-2484, 2019.
- FOGARTY, M. J.; SIECK, G. C. **Diaphragm muscle adaptations in health and disease.** Drug Discovery Today: Disease Models, 2019.
- FORMIGA, M. F. et al. **Ultrasound assessment of the quadriceps muscle in rehabilitation patients with chronic obstructive pulmonary disease.** European Geriatric Medicine, v. 10, n. 1, p. 89-97, 2020.
- FREDERICK W. KREMKAU. **Diagnostic ultrasound: principles and instruments.** 9. ed. St. Louis: Elsevier, 2015.
- GERSCOVICH, E. O. et al. **Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic motion.** Journal of Ultrasound in Medicine, v. 20, n. 6, p. 597-604, 2001.

- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. (2023). **Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2023 report)**. <https://goldcopd.org/2023-gold-report>
- GLOBAL INITIATIVE FOR CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE (GOLD). **Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: 2025 report**. Deer Park, IL: GOLD, 2024. Disponível em: <https://goldcopd.org/2025-gold-report>.
- GOUZI, F. et al. **Evidence of an early physical activity reduction in chronic obstructive pulmonary disease patients**. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, v. 92, p. 1611-1617, 2011.
- GUYTON, Arthur C.; HALL, John E. **Tratado de fisiologia médica**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- HERNÁNDEZ, M. et al. **Ultrasound assessment of muscle thickness in COPD patients**. Respiratory Medicine, v. 135, p. 24-30, 2018.
- HOLLAND, A. E. et al. **An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease**. European Respiratory Journal, v. 44, n. 6, p. 1428-1446, 2014.
- HOSKINS, P. R.; MARTIN, K.; THRUSH, A. **Diagnostic ultrasound: physics and equipment**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019.
- HUSSAIN, S. N. A.; SANDRI, M. **Role of autophagy in COPD skeletal muscle dysfunction**. Journal of Applied Physiology, v. 114, n. 9, p. 1273-1281, 2015.
- IWASAWA, T. et al. **Magnetic resonance analysis of abnormal diaphragmatic motion in patients with emphysema**. European Respiratory Journal, v. 19, n. 2, p. 225-231, 2002.
- JACOBSON, Jon A. **Fundamentals of musculoskeletal ultrasound**. 3. ed. Philadelphia: Elsevier, 2018.
- JERROLD T. BUSHBERG ET AL. **The essential physics of medical imaging**. 3. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
- JONES, P. W. et al. **Development and first validation of the COPD Assessment Test**. European Respiratory Journal, v. 34, n. 3, p. 648-654, 2009.
- KOO, Ping-Hsun; WARE, Lance B. **Diaphragm dysfunction: detection and clinical implications**. *Chest*, Chicago, v. 153, n. 2, p. 508–517, 2018.

- KUMAR, V.; ABBAS, A. K.; ASTER, J. C. Robbins e Cotran: bases patológicas das doenças. 10. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2021.
- KHARBANDA, S.; KRISHNAN, S.; RAMAKRISHNA, A. **Prevalence of quadriceps muscle weakness in patients with COPD and its association with disease severity.** International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, p. 1727-1735, 2015.
- KHARMA, N. **Dysfunction of the diaphragm.** Current Opinion in Pulmonary Medicine, v. 19, n. 3, p. 218-223, 2013.
- LANGER, D. et al. **Guia para prática clínica: fisioterapia em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC).** [S.l.: s.n.], [s.d.].
- LAVENEZIANA, P.; PALANGE, P. **Physical activity, nutritional status and systemic inflammation in COPD.** European Respiratory Journal, v. 40, n. 3, p. 522-529, 2012.
- MCNALLY, Eugene G. **Essentials of musculoskeletal ultrasound.** 2. ed. Philadelphia: Elsevier, 2014.
- MADDOCKS, M. et al. **Bioelectrical impedance phase angle relates to function, disease severity and prognosis in stable chronic obstructive pulmonary disease.** Clinical Nutrition, v. 34, p. 1245-1250, 2015.
- MALTAIS, F. et al. **An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: update on limb muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease.** American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 189, p. e15-e62, 2014.
- MAN, W. D.-C. **Non-volitional assessment of skeletal muscle strength in patients with chronic obstructive pulmonary disease.** Thorax, v. 58, n. 8, p. 665-669, 2003.
- MARQUIS, K. et al. **Midthigh muscle cross-sectional area is a better predictor of mortality than body mass index in patients with chronic obstructive pulmonary disease.** American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 166, p. 809-813, 2002.
- MATAMALA, José M. et al. **Diaphragm ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses.** *Journal of Clinical Medicine*, Basel, v. 7, n. 12, p. 512, 2018.
- MAYNARD-PAQUETTE, A. C. et al. **Ultrasound evaluation of the quadriceps muscle contractile index in patients with stable chronic obstructive**

- pulmonary disease.** International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, v. 15, p. 79-88, 2020.
- MCCARTHY, B. et al. **Pulmonary rehabilitation for chronic obstructive pulmonary disease.** Cochrane Database of Systematic Reviews, n. 2, 2015.
- MENON, M. K. et al. **Skeletal muscle satellite cells and exercise in aging.** Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle, v. 11, n. 2, p. 352-372, 2020.
- MENTIPLAY, B. F. et al. **Five times sit-to-stand following stroke: relationship with strength and balance.** Gait & Posture, v. 78, p. 35-39, 2020.
- MIRANDA, E. F.; MALAGUTI, C.; CORSO, S. D. **Disfunção muscular periférica em DPOC: membros inferiores versus membros superiores.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 37, n. 3, p. 380-388, 2011.
- MIRAVITLLES, M. et al. **Spanish COPD Guidelines (GesEPOC) 2017: pharmacological treatment of stable phase COPD.** Archivos de Bronconeumología, v. 53, n. 6, p. 324-335, 2017.
- MIRAVITLLES, M. et al. **Spanish COPD Guidelines (GesEPOC) 2021: updated pharmacological treatment of stable COPD.** Archivos de Bronconeumología, v. 58, n. 1, p. 69-81, 2022.
- MUNHOZ DA ROCHA LEMOS COSTA, T. et al. **Body composition and sarcopenia in patients with chronic obstructive pulmonary disease.** Endocrine, v. 60, n. 1, p. 95-102, 2018.
- OTTENHEIJM, C. A. C. et al. **Diaphragm muscle fiber dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease.** American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 175, n. 12, p. 1233-1240, 2007.
- PARRY, S. M.; PUTHUCHEARY, Z. A. **The role of ultrasonography in the assessment of skeletal muscle in the critically ill patient.** *Current Opinion in Critical Care*, v. 21, n. 5, p. 449–455, 2015.
- PATEL, M. S. et al. **Growth differentiation factor-15 is associated with muscle mass in chronic obstructive pulmonary disease and promotes muscle wasting in vivo.** Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle, v. 11, n. 4, p. 436-448, 2020.
- PEREIRA, C. A. de C. et al. **Novas recomendações de espirometria da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia: atualização 2024.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 50, n. 6, e20240169, 2024.

- PUHAN, M. A. et al. **Interpretation of treatment changes in 6-minute walk distance in patients with COPD.** European Respiratory Journal, v. 32, n. 3, p. 637-643, 2008.
- RAMÍREZ-FUENTES, C. et al. **Ultrasound assessment of rectus femoris muscle in rehabilitation patients with chronic obstructive pulmonary disease.** European Geriatric Medicine, v. 10, n. 1, p. 89-97, 2019.
- RICOY, J. et al. **Diaphragmatic dysfunction.** Pulmonology, v. 25, n. 4, p. 223-235, 2019.
- RILEY, C. M.; SCIURBA, F. C. **Diagnosis and outpatient management of chronic obstructive pulmonary disease.** JAMA, v. 321, n. 8, p. 786-797, 2019.
- ROCHA, F. R. et al. **Diaphragmatic mobility: relationship with lung function, respiratory muscle strength, dyspnea, and physical activity in daily life in patients with COPD.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 43, n. 1, p. 32-37, 2017.
- ROCHESTER, C. L. et al. **An official American Thoracic Society/European Respiratory Society policy statement: enhancing implementation, use, and delivery of pulmonary rehabilitation.** American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 192, p. 1373-1386, 2015.
- RUMACK, Carol M.; LEVINE, Deborah. **Diagnostic ultrasound.** 5. ed. Philadelphia: Elsevier, 2018.
- SANTANA, P. V. et al. **Ultrassonografia diafragmática: revisão de aspectos metodológicos e usos clínicos.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 46, n. 6, e20200064, 2020.
- SARWAL, A. et al. **Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm.** Muscle & Nerve, v. 47, n. 3, p. 319-329, 2013.
- SEYMOUR, J. M. et al. **The prevalence of quadriceps weakness in COPD and the relationship with disease severity.** European Respiratory Journal, v. 36, n. 1, p. 81-88, 2010.
- SIDNEY K. EDELMAN. **Understanding ultrasound physics.** 4. ed. Maryville: ESP Ultrasound, 2012.
- SPRUIT, M. A. et al. **An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation.** American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, v. 188, n. 8, p. e13-e64, 2013.

- SWALLOW, E. B. et al. **Quadriceps strength predicts mortality in patients with moderate to severe chronic obstructive pulmonary disease.** *Thorax*, v. 62, p. 115-120, 2007.
- TILLQUIST, M. et al. **Bedside ultrasound is a practical and reliable measurement tool for assessing quadriceps muscle layer thickness.** *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, v. 38, n. 7, p. 886-890, 2014.
- UMBACH, G. et al. **Diaphragm thickening fraction: a comparison between ultrasonography and transdiaphragmatic pressure.** *Respiratory Physiology & Neurobiology*, Amsterdam, v. 222, p. 1–6, 2016.
- UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. ***World Population Prospects 2024: Summary of Results.*** New York: United Nations, 2024. Disponível em: <https://desapublications.un.org/publications/world-population-prospects-2024-summary-results>. Acesso em: 03/2026
- VANFLETEREN, L. E. et al. **Clusters of comorbidities based on validated objective measurements and systemic inflammation in patients with chronic obstructive pulmonary disease.** *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 187, p. 728-735, 2013.
- WANG, C. et al. Prevalence and risk factors of chronic obstructive pulmonary disease in China. *The Lancet*, v. 391, n. 10131, p. 1706-1717, 2018.
- WATZ, H. et al. **Extrapulmonary effects of chronic obstructive pulmonary disease on physical activity.** *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 177, n. 7, p. 743-751, 2008.
- WEST, John B. **Fisiologia respiratória: princípios básicos.** 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

## Apêndice 1 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

---

### A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MUSCULAR VENTILATÓRIA E PERIFÉRICA NOS PACIENTES COM DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA

Elaborado a partir da Res. nº466 de 10/12/2012 do Conselho Nacional de Saúde

**Breve justificativa e objetivos da pesquisa:** A Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) é uma condição progressiva que, além de afetar a função respiratória, impacta negativamente a musculatura esquelética periférica e ventilatória, levando à redução da força, resistência muscular e qualidade de vida. Essas alterações musculares estão associadas a um pior prognóstico, aumento da dispneia e limitação nas atividades diárias, influenciando diretamente a morbimortalidade dos pacientes. A avaliação integrada da musculatura ventilatória e periférica é essencial para entender essas alterações e desenvolver intervenções terapêuticas mais eficazes, como o treinamento físico personalizado. O estudo propõe preencher a lacuna na literatura, investigando essas dimensões musculares para aprimorar as estratégias de reabilitação pulmonar e individualizar os tratamentos, além de fornecer novos insights sobre o impacto sistêmico da DPOC. O objetivo desta pesquisa é analisar a qualidade muscular ventilatória e periférica nos diferentes perfis de gravidade da DPOC.

**Procedimentos:** Serão avaliadas medidas não invasivas da capacidade pulmonar, incluindo medidas de volume pulmonar, força muscular ventilatórias. Assim como medidas da força e/ou endurance da musculatura periférica. Durante a avaliação será utilizado um dispositivo de ultrassom para geração de imagens, sendo um método seguro e não apresenta riscos conhecidos. O ultrassom diagnóstico é um exame seguro e não apresenta danos, ele utiliza ondas sonoras de baixa potência e não emite radiação ionizante. Todos os métodos utilizados para a avaliação desses voluntários não oferecem qualquer forma de lesão que possam impactar na saúde dos avaliados.

**Potenciais riscos e benefícios:** Todos os testes e avaliações realizados durante a intervenção não oferece nenhum tipo de risco de potencial dano sobre os voluntários. O máximo que poderá ocorrer serão sinais de leve desconforto que poderão ocorrer durante as medidas de avaliação da capacidade pulmonar, por se tratar de paciente que possuem doença pulmonar obstrutiva crônica, mas que rapidamente serão tomadas medidas para minimizar o ocorrido. O pesquisador e a instituição envolvido nas diferentes fases proporcionarão assistência imediata, bem como se responsabilizam pela assistência integral aos participantes da pesquisa no que se refere as complicações e danos recorrentes da pesquisa.

---

*Participante ou seu responsável legal* Responsável por obter o consentimento

Comitê de Ética em Pesquisa: Rua Dona Isabel 94, Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ,  
(21) 3882-9797 ramal 2015, e-mail: [comitedeetica@unisuam.edu.br](mailto:comitedeetica@unisuam.edu.br)

**Garantia de sigilo, privacidade, anonimato e acesso:** Sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa de qualquer forma lhe identificar, serão mantidos em sigilo. Será garantido o anonimato e privacidade. Caso haja interesse, o senhor (a) terá acesso aos resultados.

**Garantia de esclarecimento:** É assegurada a assistência durante toda pesquisa, bem como a garantia do seu livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências.

**Garantia de responsabilidade e divulgação:** Os resultados dos exames e dos dados da pesquisa serão de responsabilidade do pesquisador, e esses resultados serão divulgados em meio científico sem citar qualquer forma que possa identificar o seu nome.

**Garantia de ressarcimento de despesas:** Você não terá despesas pessoais em qualquer fase do estudo, nem compensação financeira relacionada à sua participação. Em caso de dano pessoal diretamente causado pelos procedimentos propostos neste estudo, terá direito a tratamento médico, bem como às indenizações legalmente estabelecidas. No entanto, caso tenha qualquer despesa decorrente da participação na pesquisa, haverá ressarcimento mediante depósito em conta corrente ou cheque ou dinheiro. De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente da sua participação no estudo, você será devidamente indenizado, conforme determina a lei.

**Responsabilidade do pesquisador e da instituição:** O pesquisador e a instituição proponente se responsabilizarão por qualquer dano pessoal ou moral referente à integridade física e ética que a pesquisa possa comportar.

**Critérios para suspender ou encerrar a pesquisa:** O estudo será suspenso na ocorrência de qualquer falha metodológica ou técnica observada pelo pesquisador, cabendo ao mesmo a responsabilidade de informar a todos os participantes o motivo da suspensão. O estudo também será suspenso caso seja percebido qualquer risco ou dano à saúde dos sujeitos participantes, consequente à pesquisa, que não tenha sido previsto neste termo. Quando atingir a coleta de dados necessária a pesquisa será encerrada.

**Demonstrativo de infraestrutura:** A instituição onde será feito o estudo possui a infraestrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa com ambiente adequado.

**Propriedade das informações geradas:** Não há cláusula restritiva para a divulgação dos resultados da pesquisa, e que os dados coletados serão utilizados única e exclusivamente para comprovação do experimento. Os resultados serão submetidos à publicação, sendo favoráveis ou não às hipóteses do estudo.

**Sobre a recusa em participar:** Caso queira, o senhor (a) poderá se recusar a participar do estudo, ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar-se, não sofrendo qualquer prejuízo à assistência que recebe.

**Contato do pesquisador responsável e do comitê de ética:** Em qualquer etapa do estudo você poderá ter acesso ao profissional responsável, LAURO DOS SANTOS FERNANDES que pode ser encontrado no telefone (21) 98083-7007. Se

---

*Participante ou seu responsável legal* Responsável por obter o consentimento

Comitê de Ética em Pesquisa: Rua Dona Isabel 94, Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ,  
(21) 3882-9797 ramal 2015, e-mail: [comitedeetica@unisuaam.edu.br](mailto:comitedeetica@unisuaam.edu.br)

tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa.

Se este termo for suficientemente claro para lhe passar todas as informações sobre o estudo e se o senhor (a) compreender os propósitos do mesmo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Você poderá declarar seu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente das propostas do estudo.

Rio de Janeiro, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

---

*Participante ou seu responsável legal Responsável por obter o consentimento*

Comitê de Ética em Pesquisa: Rua Dona Isabel 94, Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ,  
(21) 3882-9797 ramal 2015, e-mail: [comitedeetica@unisuam.edu.br](mailto:comitedeetica@unisuam.edu.br)

# Anexo 1 – Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa

---

CENTRO UNIVERSITÁRIO  
AUGUSTO MOTTA (UNISUAM)



## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MUSCULAR EM PACIENTES COM DPOC

**Pesquisador:** LAURO DOS SANTOS FERNANDES

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 83441124.9.0000.5235

**Instituição Proponente:** SOCIEDADE UNIFICADA DE ENSINO AUGUSTO MOTTA

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 7.163.785

#### **Apresentação do Projeto:**

Os avanços nos cuidados intensivos nas últimas décadas promoveram uma redução da mortalidade nas unidades de terapia intensiva pediátrica, porém observou-se um aumento da morbidade. Instrumentos que identifiquem alterações precocemente, favorecendo estratégias de reabilitação e diminuição dos impactos da internação hospitalar são necessário. A ultrassonografia (US) beira leito tem apontado muitos benefícios na terapia intensiva, por ser uma modalidade de imagem eficiente e não invasiva e por permitir uma avaliação segura em tempo real. A US pulmonar tem sido apontada como um marcador sensível e específico para muitas condições e estudos recentes têm demonstrado o papel da US diafragmática (USD) em crianças. Atrofia por desuso e disfunção contrátil do músculo diafragma já tem sido extensamente discutido em adultos ventilados mecanicamente. Uma redução mais rápida da função e espessura do diafragma tem sido observada em crianças sob ventilação mecânica (VM). Tal fator pode ser atribuído a presença de menor quantidade de fibras do Tipo 1, resultando em baixa resistência a fadiga diafragmática quando comparadas aos adultos. Embora a VM forneça um suporte a vida, salvando pacientes de uma doença subjacente, aliviar o trabalho do diafragma

**Endereço:** Rua Dona Isabel, 94, TEL: (21)3882-9943

**Bairro:** Bonsucesso **CEP:** 21.032-060

**UF:** RJ **Município:** RIO DE JANEIRO

**Telefone:** (21)3882-9943

**E-mail:** comitedeetica@souunisuam.com.br

## **PARTE II – PRODUÇÃO INTELECTUAL**

---

## Contextualização da Produção

---

Quadro 4: Declaração de desvios de projeto original.

<b>Declaração dos Autores</b>	<b>Sim</b>	<b>Não</b>
<b>A produção intelectual contém desvios substantivos do <u>tema proposto</u> no projeto de pesquisa?</b>		X
<i>Justificativas e Modificações</i>		
<b>A produção intelectual contém desvios substantivos do <u>delineamento do projeto</u> de pesquisa?</b>		X
<i>Justificativas e Modificações</i>		
<b>A produção intelectual contém desvios substantivos dos <u>procedimentos de coleta</u> e análise de dados do projeto de pesquisa?</b>		X
<i>Justificativas e Modificações</i>		

## Resultados

---

O estudo recrutou 212 voluntários e destes 132 participantes com diagnóstico clínico e funcional de DPOC foram incluídos. Destes, 124 concluíram todo protocolo de avaliação sem eventos adversos.

Na tabela 4 é descrito as características básicas detalhadas comparando os pacientes com e sem limitação funcional. A idade foi de  $61,5 \pm 9,5$  anos. (faixa etária de 46 a 78 anos), e o IMC médio foi de  $24,8 \pm 3,9$  kg/m<sup>2</sup>. No que tange a distribuição de gravidade segundo os critérios do GOLD e classificação baseada em sintomas históricos de exacerbações (classificação ABE), observou-se, respectivamente, que a amostra apresentou a seguinte distribuição: GOLD 1 (n=23, 18,5%), GOLD 2 (n=36, 29,0%), GOLD 3 (n=35,28,2%) e GOLD 4 (n=30, 24,2%), classe ABE A (n= 28, 22,6%), classe ABE B (n= 48, 38,7%) e classe ABE E (n= 48, 38,7%). O VEF<sub>1</sub>(% predito) foi de  $52,9 \pm 23,2\%$  do previsto, e a média  $\pm$  DTC6min foi de  $401 \pm 93$  metros ( $65,1 \pm 13,9\%$  predito).

Também é possível observar que 81 (65,3%) participantes apresentaram limitação da capacidade funcional (DTC6M < 65% do predito), enquanto 43 (34,7%) indivíduos apresentaram capacidade funcional normal. Os participantes com funcional limitação apresentaram um IMC significativamente mais baixo ( $23,2 \pm 3,3$  vs  $27,9 \pm 3,8$  kg/m<sup>2</sup>,  $p < 0,001$ ), maior gravidade nos critérios de obstrução ao fluxo aéreo expiratório (VEF<sub>1</sub>  $40,8 \pm 20,9$  vs  $74,5 \pm 9,8\%$  do previsto,  $p < 0,001$ ) e menor força de preensão palmar (FPP:  $25,9 \pm 6,8$  vs  $35,9 \pm 6,1$  kg,  $p < 0,001$ ) quando comparados com aqueles com capacidade funcional preservada (Tabela 4).

Constata-se que todos os parâmetros ultrassonográficos do músculo respiratório diafragmático e do quadríceps femoral apresentaram diferenças significativas entre grupos (DTC6M < 65% previsto vs DTC6M > 65%), com tamanhos de efeitos moderados a grandes (variação de d de Cohen de 1,39 a 1,73), indicando significado clínico além da significância estatística (Tabela 4).

### Desempenho diagnóstico da Ultrassonografia cinesiológica

Análise da curva ROC dos parâmetros da ultrassonografia cinesiológica demonstra uma boa capacidade discriminativa para a previsão de limitação funcional

(Figura 13, Tabela 5). O índice de contratilidade do quadríceps demonstrou de forma significativa melhor desempenho com uma AUC 0,910 (IC 95%: 0,854-0,966), superando o VEF<sub>1</sub>% predito (AUC 0,765, IC 95%: 0,678-0,852, p=0,008). O ponto de corte ideal do índice de contratilidade foi <34,5%, resultando em 71,6% de sensibilidade e 100% de especificidade para predição de limitação funcional em pacientes com DPOC, com valor preditivo positivo (VPP) de 100%, 64,2% de valor preditivo negativo (VPN) e um valor e 80,6 % para precisão geral.

**Tabela 4 - Características Basais dos Pacientes**

<b>Característica</b>	<b>Todos os Pacientes (n=124)</b>	<b>TC6M &lt;65% previsto (n=81)</b>	<b>TC6M ≥65% previsto (n=43)</b>	<b>P valor</b>	<b>d de Cohen</b>
<b>Demografia</b>					
Idade, anos	61,52 (9,53)	61,96 (9,84)	60,70 (8,98)	0,547	0,13
IMC, kg/m <sup>2</sup>	24,84 (3,93)	23,86 (3,58)	26,69 (3,92)	<0,001	-0,77
<b>Função Pulmonar</b>					
CVF, L	2,82 (0,64)	2,83 (0,65)	2,82 (0,64)	0,952	0,02
CVF, % previsto	74,77 (8,44)	75,22 (8,73)	73,92 (7,88)	0,450	0,15
VEF1, L	1,46 (0,72)	1,24 (0,63)	1,87 (0,71)	<0,001	-0,96
VEF1, % previsto	52,90 (23,17)	45,47 (21,42)	66,89 (19,81)	<0,001	-1,03
VEF1/CVF, %	50,86 (11,16)	46,95 (10,87)	58,22 (7,39)	<0,001	-1,15
<b>Capacidade Funcional</b>					
DTC6M, metros	401,34 (93,46)	362,06 (81,43)	475,33 (66,12)	<0,001	-1,48
DTC6M, % previsto	65,08 (13,94)	56,50 (6,97)	81,24 (8,21)	<0,001	-3,34
Força de preensão (FPP), kg	29,24 (7,77)	27,52 (7,49)	32,48 (7,32)	<0,001	-0,67
Força de preensão (FPP), % previsto	71,51 (13,81)	66,04 (12,24)	81,82 (10,32)	<0,001	-1,36
<b>Ultrassom Muscular</b>					
Espessura do quadríceps, cm	2,88 (2,54)	2,78 (3,13)	3,07 (0,44)	<0,001	-0,11

Índice de contratilidade (QCI), %	36,19 (10,71)	31,05 (8,19)	45,86 (7,85)	<0,001	-1,83
Área do quadríceps, (AST/Qcsa) cm <sup>2</sup>	7,65 (2,22)	6,74 (1,92)	9,36 (1,67)	<0,001	-1,43
FED/TF do diafragma, %	36,27 (10,28)	32,89 (9,26)	42,64 (9,10)	<0,001	-1,06
<b>Classificação GOLD</b>					
GOLD 1, n (%)	23 (18,5%)	7 (8,6%)	16 (37,2%)	-	-
GOLD 2, n (%)	36 (29,0%)	19 (23,5%)	17 (39,5%)	-	-
GOLD 3, n (%)	35 (28,2%)	25 (30,9%)	10 (23,3%)	-	-
GOLD 4, n (%)	30 (24,2%)	30 (37,0%)	0 (0,0%)	-	-
<b>Classificação ABE</b>					
ABE A, n (%)	28 (22,6%)	9 (11,1%)	19 (44,2%)	-	-
ABE B, n (%)	48 (38,7%)	33 (40,7%)	15 (34,9%)	-	-
ABE E, n (%)	48 (38,7%)	39 (48,1%)	9 (20,9%)	-	-

Neste estudo a Área do Quadríceps (AST/Qcsa cm<sup>2</sup>) também mostrou bom desempenho diagnóstico para previsão de limitação funcional (AUC 0,864, IC 95%: 0,796-0,932), com ponto de corte ideal <6,85 cm<sup>2</sup> proporcionando 72,8% de sensibilidade, 97,7% de Especificidade com valor preditivo positivo de 98,3% e negativo de 64,6% com precisão diagnóstica de 80,6% (Tabela 5). A FED/TF (%) do diafragma embora inferior ao Qci e AST/Qcsa também apresentou boa habilidade discriminativa (AUC 0,780, IC 95%: 0,699-0,861), com ponto de corte de < 39,3% resultando em 79,0% de sensibilidade e especificidade de 69,8%. A espessura do reto femoral apresentou desempenho semelhante (AUC 0,805, IC 95%: 0,728-0,882) com ponto de corte <2,53 cm (Tabela 5).

A alta especificidade de Qci e AST/Qcsa 100% e 97 respectivamente, indicam um mínimo de falsos positivos, tornando-os parâmetros particularmente valiosos para confirmar limitação da capacidade funcional, em especial naqueles pacientes que não conseguem realizar um teste de exercício cardiopulmonar ou teste de campo submáximo.

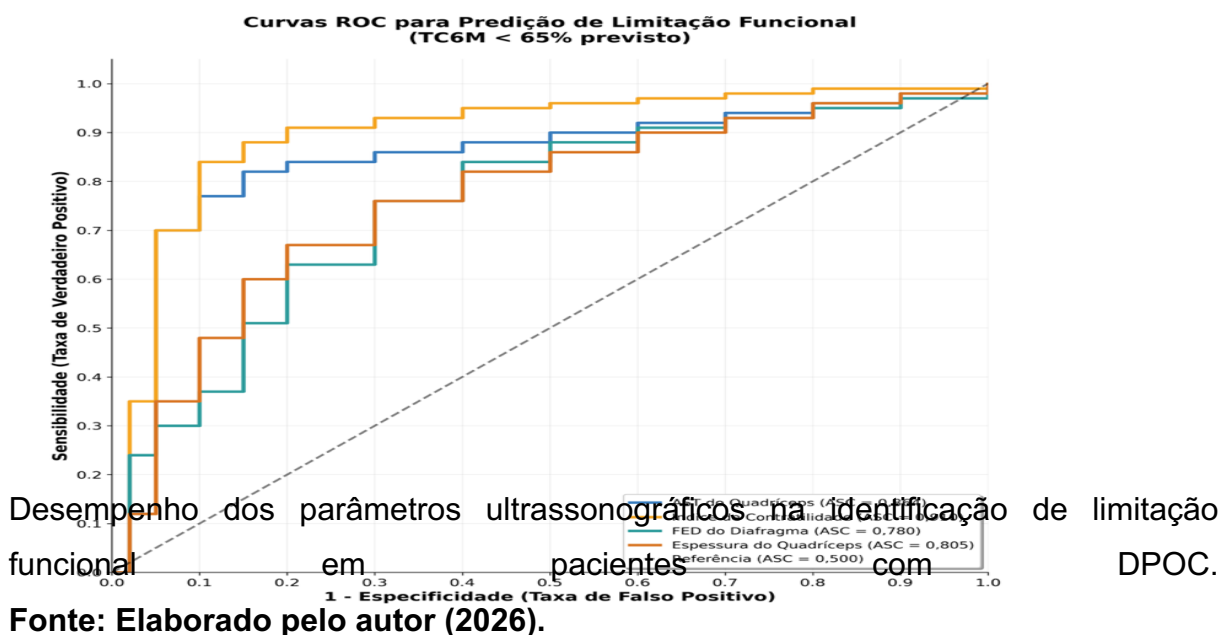
Notavelmente, os parâmetros ultrassonográficos obtidos pela USG cinesiológica do diafragma e do reto medial do quadríceps demonstraram desempenho superior à medida do VEF<sub>1</sub> (% predito) isoladamente (AUC 0,765) para prever limitação funcional de pacientes com DPOC.

**Tabela 5** - Desempenho Diagnóstico dos Parâmetros Musculares para Predizer Limitação Funcional

Variável	Ponto de Corte Ótimo	AUC (IC 95%)	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)	VPP (%)	VPN (%)	Acurácia (%)	Índice de Youden
Espessura do quadríceps, cm	2,53	0,805 (0,000-1,000)	60,5	90,7	92,3	54,2	70,2	0,51
Índice de contratilidade (Qci) %	34,50	0,910 (0,000-1,000)	71,6	100,0	100,0	64,2	80,6	0,72
Área do quadríceps (AST/Qcsa) cm <sup>2</sup>	6,85	0,864 (0,000-1,000)	72,8	97,7	98,3	64,6	80,6	0,71
FED/TF do diafragma, %	39,30	0,780 (0,000-1,000)	79,0	69,8	82,7	61,2	74,2	0,49
VEF1, % previsto	46,80	0,765 (0,000-1,000)	66,7	81,4	86,9	55,6	71,0	0,48

*AUC = Área Sob a Curva; IC = Intervalo de Confiança; VPP = Valor Preditivo Positivo; VPN = Valor Preditivo Negativo; AST/Qcsa = Área de Secção Transversa; FED/TF = Fração de Espessamento Diafragmático; VEF1 = Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo*

**Figura 13 - Curva ROC para predição de Limitação funcional**



### **Progressão da disfunção muscular nos diferentes estágios de classificação pelos critérios do GOLD**

Todos os parâmetros da USG cinesiológica do diafragma e do reto femoral do quadríceps femoral apresentaram correlação significativa com o declínio da função pulmonar ao longo dos estágios GOLD (todos os ANOVA  $p < 0,001$ , Figura 14, Tabela 6). A AST/Qcsa diminuiu de  $10,7 \pm 1,1 \text{ cm}^2$  nos voluntários classificados como GOLD1 para  $5,4 \pm 0,8 \text{ cm}^2$  em nos pacientes classificados como GOLD 4, representando uma redução de 50% ( $\rho$  de Spearman =  $-0,844$ ,  $p < 0,001$ ). O Qcio apresentou progressão semelhante com declínio significativo de  $51,7 \pm 6,5\%$  no grupo GOLD 1 a  $24,1 \pm 4,4\%$  no grupo GOLD 4 ( $\rho = -0,847$ ,  $p < 0,001$ ). A FED/TF apresentou forte e significativa correlação com o declínio da função pulmonar pelos critérios do GOLD ( $\rho = -0,885$ ,  $p < 0,001$ ), reduzindo a FED/TF de  $49,5 \pm 6,1\%$  no grupo GOLD 1 para  $23,7 \pm 3,6\%$  no grupo de voluntários GOLD 4.

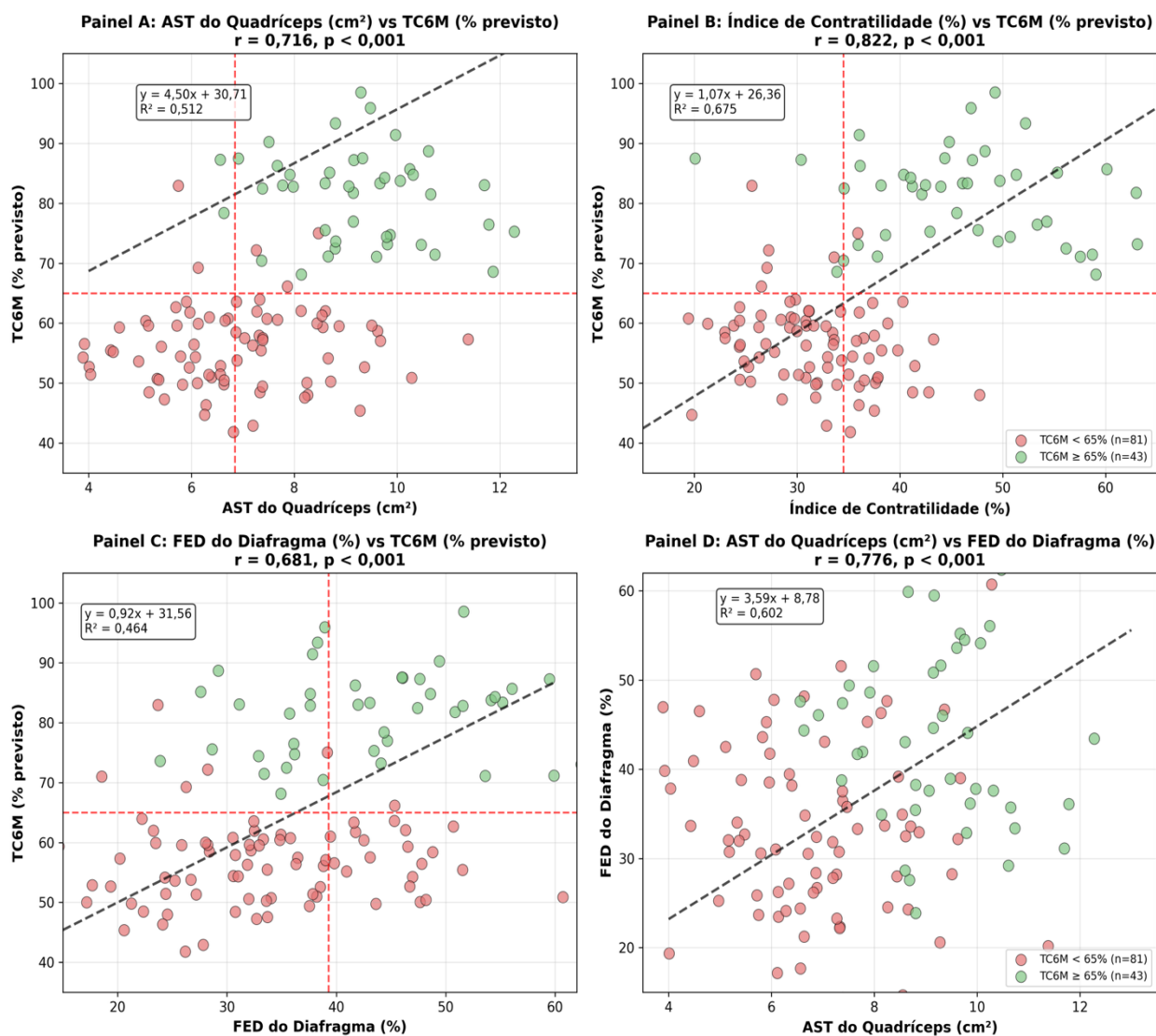
**Tabela 6** - Progressão da Disfunção Muscular e Limitação Funcional através dos Estágios GOLD

Variável	GOLD 1 (n=23)	GOLD 2 (n=36)	GOLD 3 (n=35)	GOLD 4 (n=30)	P valor	$\rho$ de Spearman
VEF1, % previsto	87,2 (5,0)	66,2 (8,0)	40,7 (4,7)	24,9 (2,5)	<0,001	-0,966
Área do quadríceps (AST/Qcsa) cm <sup>2</sup>	10,7 (1,1)	8,6 (1,7)	6,6 (0,7)	5,4 (0,8)	<0,001	-0,844
Índice de contratilidade (Qci) %	51,7 (6,5)	39,0 (6,2)	33,5 (4,8)	24,1 (4,4)	<0,001	-0,847
FED/TF %	49,5 (6,1)	41,4 (5,1)	33,0 (4,8)	23,7 (3,6)	<0,001	-0,885
DTC6M, % previsto	80,8 (13,8)	69,8 (9,9)	63,3 (6,1)	49,4 (6,1)	<0,001	-0,773
Força de preensão (FP) % previsto	89,8 (6,9)	79,3 (6,4)	64,1 (6,6)	56,8 (6,5)	<0,001	-0,873
Limitação funcional, n (%)	7 (30,4%)	19 (52,8%)	25 (71,4%)	30 (100,0%)	<0,001	0,801***

AST/Qcsa = Área de Secção Transversa; FED/TF = Fração de Espessamento Diafragmático; DTC6M = Distância percorrida no Teste de Caminhada de 6 minutos; VEF1 = Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo. \*\*\*  $p < 0,001$  para teste qui-quadrado

## Figura 14 - Matriz de correlações entre os parâmetros da ultrassonografia cinesiológica

### Correlações entre Parâmetros de Ultrassom Muscular e Capacidade Funcional



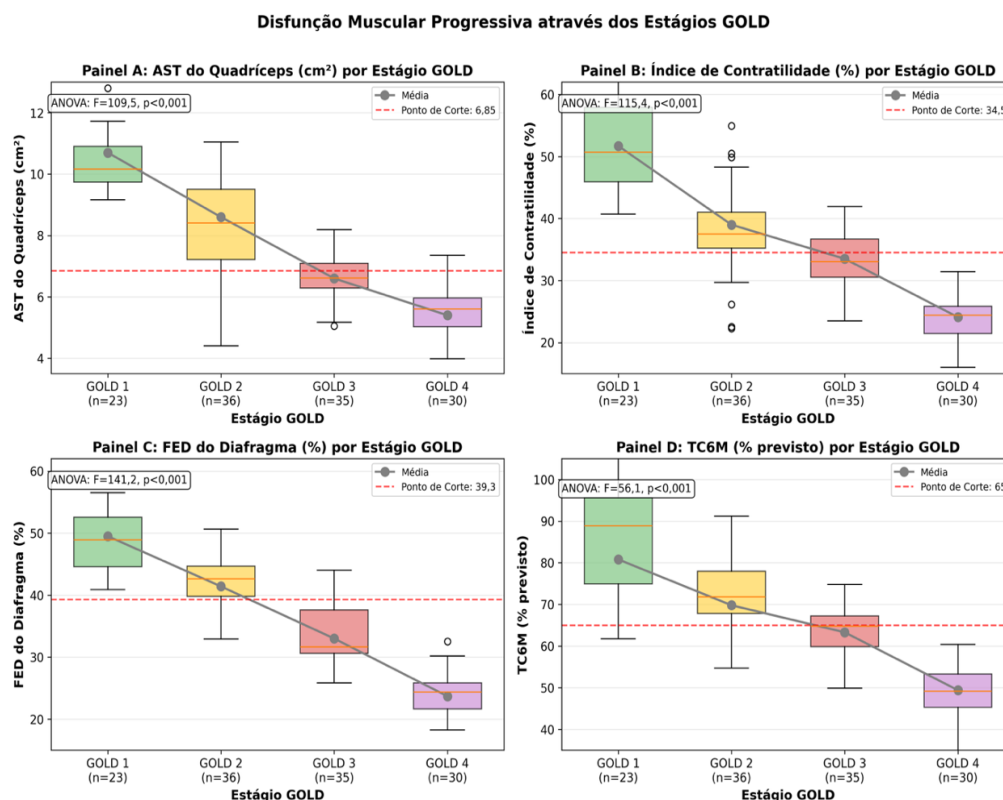
Relação entre variáveis musculares avaliadas por ultrassonografia cinesiológica.  
**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

A análise pós-hoc para comparações pareadas revelou diferenças significativas entre todos os estágios consecutivos do GOLD (todos  $p < 0,001$ ), indicando deterioração progressiva ao longo do curso da doença. A magnitude do declínio foi consistente entre estágios, sem que houvesse um estágio único mostrando perda desproporcional. Este padrão sugere uma adaptação muscular contínua ao longo da progressão do distúrbio ventilatório na DPOC.

É importante ressaltar que mesmo pacientes classificados como GOLD 1 já apresentaram redução dos parâmetros musculares na ultrassonografia cinesiológica comparado com os valores de referência descritos na população saudável, com um Qci significativamente menor (51,7%) em comparação com o descrito na literatura de 60-70% (MAYNARD-PAQUETTE *et al.*, 2020).

Estes resultados apoiam a hipótese de que a disfunção muscular periférica pode manifestar-se desde os estágios iniciais da DPOC, potencialmente precedendo o significativo declínio da função pulmonar (Figura 15).

**Figura 15 - Boxplot representativo da disfunção muscular nos diferentes estágios do GOLD**



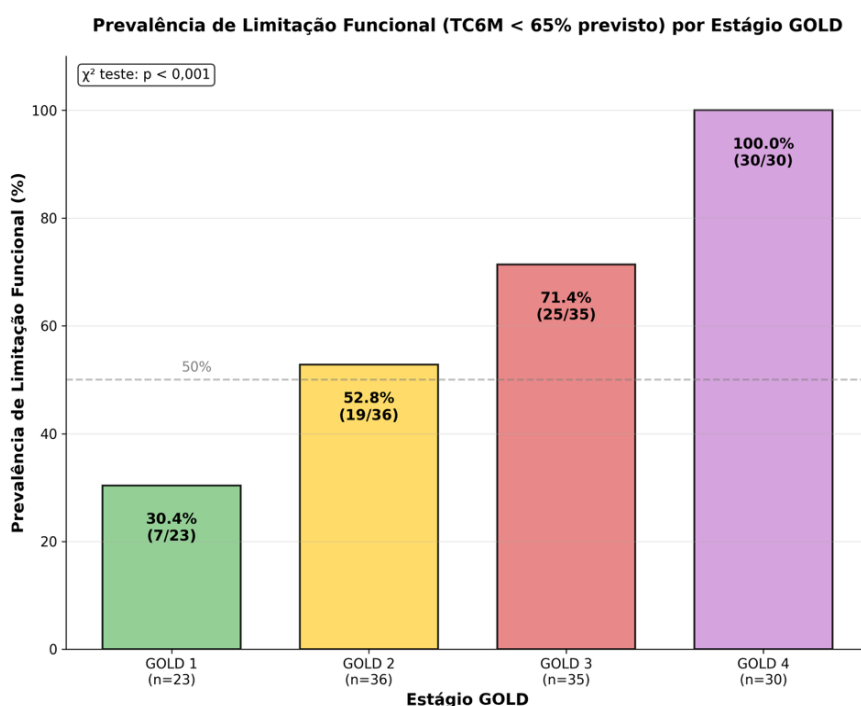
Distribuição dos parâmetros musculares conforme a gravidade da DPOC.

**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

A prevalência de limitação da capacidade funcional (DTC6M < 65% predito) aumentou dramaticamente com a progressão dos estágios do GOLD (Figura 16): 30,4% no GOLD 1, 52,8% em GOLD 2, 71,4% em GOLD 3 e 100% no GOLD 4 (qui-quadrado para tendência, p<0,001). No caso da limitação funcional existe um aumento

substancial da prevalência de limitação funcional entre os estágios 2 para 3 do GOLD (52,8% para 71,4%) o que indica que, possivelmente esta transição é um fator crítico para janela de ampliações das intervenções, visando prevenção e recuperação da capacidade funcional. Nos pacientes classificados como GOLD 4, a limitação da capacidade funcional limitação foi universal, destacando a necessidade imperiosa de intervenções centradas no aumento da capacidade funcional o mais cedo possível. A relação entre FEV<sub>1</sub> % previsto e a capacidade funcional, embora significativa ( $r=0,741$ ,  $p<0,001$ ), foi não determinística. Vários participantes dos grupos GOLD 1 e 2 apresentaram limitação da capacidade funcional apesar de apresentarem uma função pulmonar relativamente preservada, enquanto alguns voluntários do grupo GOLD 3 apresentaram a capacidade funcional normal mesmo com função pulmonar pior.

**Figura 16 - Prevalência de limitação funcional nos diferentes estágios do GOLD**



Frequência de comprometimento funcional de acordo com a progressão da doença.

**Fonte: Elaborado pelo autor (2026).**

### Relação entre a disfunção muscular, sintomas percebidos e as exacerbações da DPOC (Classificação ABE)

Uma progressiva disfunção muscular ventilatória e periférica foi observada com a progressão dos estágios A, B a E na classificação ABE (Figura 17, Tabela 7). Os pacientes classificados como classe A (poucos sintomas e sem perfil exacerbador) apresentaram melhor função muscular (CSA do quadríceps:  $9,8 \pm 1,8$  cm<sup>2</sup>, índice de contratilidade do quadríceps:  $46,5 \pm 9,5\%$ , e uma fração de espessamento do diafragma (FED/TF):  $45,0 \pm 7,6\%$ ), enquanto pacientes da classe E (sintomáticos e exacerbadores) apresentaram significativo comprometimento muscular (CSA do quadríceps:  $6,4 \pm 1,4$  cm<sup>2</sup>, índice de contratilidade do quadríceps:  $30,1 \pm 8,4\%$ , FED/TF:  $30,5 \pm 8,7\%$ ). Os resultados demonstram que entre os perfis A, B e E, todos os grupos apresentaram diferenças significativas para os parâmetros de ultrassonografia muscular (ANOVA < 0,001), com uma correlação de Spearman variando de -0,512 a -0,641 (p<0,001).

**Tabela 7.** Progressão da Disfunção Muscular e Limitação Funcional através das Classificações ABE

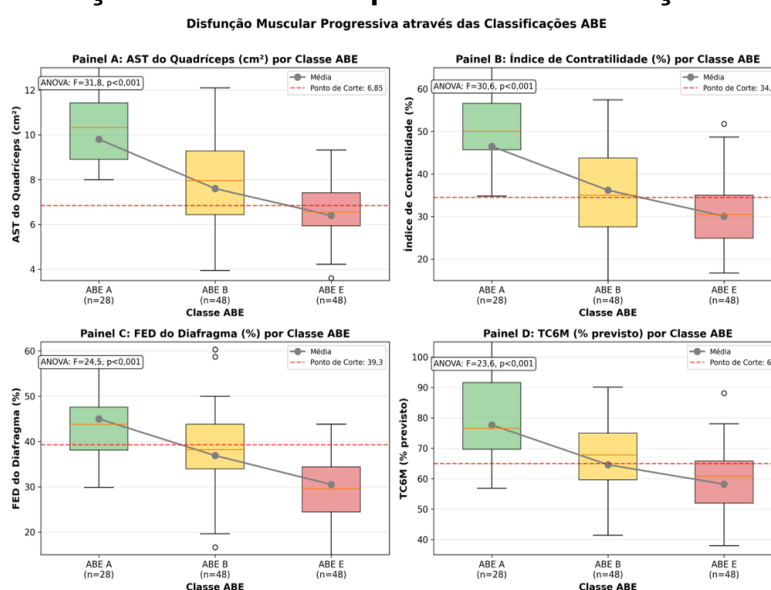
Variável	ABE (n=28)	A (n=48)	B (n=48)	E	P valor	$\rho$ de Spearman
VEF1, % previsto	80,3 (10,5)	51,3 (20,5)	38,5 (16,0)		<0,001	-0,641
Área do quadríceps (AST/Qcsa) cm <sup>2</sup>	9,8 (1,8)	7,6 (2,1)	6,4 (1,4)		<0,001	-0,552
Índice de contratilidade (Qci) %	46,5 (9,5)	36,2 (8,7)	30,1 (8,4)		<0,001	-0,552
FED/TF do diafragma, %	45,0 (7,6)	36,9 (9,4)	30,5 (8,7)		<0,001	-0,524
TC6M, % previsto	77,7 (12,9)	64,6 (11,8)	58,2 (11,5)		<0,001	-0,512
Força de preensão (FPP) % previsto	86,7 (7,2)	72,1 (11,4)	62,0 (10,5)		<0,001	-0,667
Limitação funcional, n (%)	9 (32,1%)	33 (68,8%)	39 (81,2%)		<0,001	0,512***

*AST/Qcsa = Área de Secção Transversa; FED/TF = Fração de Espessamento Diafragmático; TC6M = Teste de Caminhada de 6 minutos; VEF1 = Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo. \*\*\*  $p < 0,001$  para teste qui-quadrado*

A prevalência de limitação da capacidade funcional aumentou progressivamente: 32,1% no grupo de perfil A, 68,8% no grupo B e 81,2% no grupo de perfil E ( $p < 0,001$ ) (Figura 6). Este comportamento permaneceu significativo após o ajuste pelos critérios do GOLD ( $p = 0,003$ ), indicando que a classificação ABE captura fenótipos clínicos distintos com diferentes padrões de comprometimento muscular. Os voluntários que combinam mais sintomas e exacerbações frequentes (perfil E) apresentam função muscular pior, explicada possivelmente por maior inflamação sistêmica, estresse catabólico repetido, e ampliação da inatividade física.

Curiosamente, dentro de cada estágio GOLD, pacientes classificados dentro do perfil E apresentaram disfunção muscular consistentemente pior do que pacientes com classificados dentro do perfil A ou B, embora os tamanhos das amostras em alguns subgrupos fossem pequenos. Isso reforça a hipótese de que a história de exacerbações e a progressão dos sintomas seja melhor marcadores prognósticos do que apenas a gravidade do declínio da função pulmonar, corroborando a justificativa para a avaliação multidimensional da DPOC.

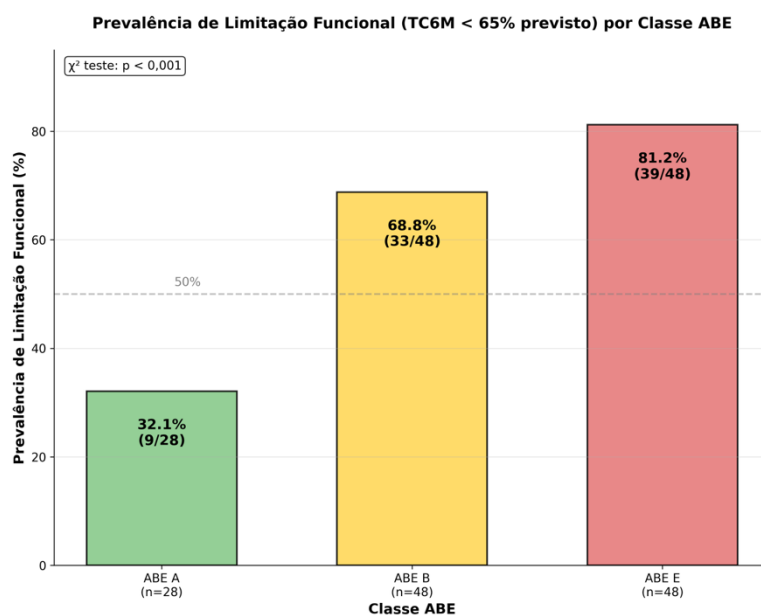
**Figura 17 - Disfunção muscular nos perfis da classificação ABE**



Comparação da progressão da disfunção muscular entre os diferentes grupos clínicos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

**Figura 18 - Prevalência de limitação funcional na classificação ABE**



Distribuição da limitação funcional conforme os perfis fenotípicos da

DPOC.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

### Correlação entre os músculos periféricos e ventilatórios

Os resultados deste estudo demonstram haver forte correlação entre a disfunção muscular periférica e a disfunção muscular respiratória. A AST/Qcsa e o Qci apresentam forte correlação com a FED/TF do diafragma ( $r=0,776$ ,  $p<0,001$ ) e  $r=0,821$ ,  $p<0,001$ , respectivamente). Essas correlações sugerem que a disfunção muscular na DPOC representa um caráter sistêmico não uma disfunção periférica isolada que poderia ser apenas explicada por inatividade física, por exemplo. Além disso, a disfunção muscular periférica e respiratória mostrou de forma similar forte correlações com a DTC6M % previsto ( $r=0,716$  a  $0,822$ , todos  $p<0,001$ ), o que sugere que a avaliação muscular pela USG cinesiológica poderia ser uma alternativa avaliativa para capacidade funcional naqueles indivíduos que por algum motivo não possam realizar um teste de exercício, por exemplo (Figura 19).

**Figura 19** - Matriz de correlação entre os parâmetros musculares e medidas funcionais



Matriz de correlação entre variáveis do quadríceps, diafragma e capacidade funcional.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

### Ultrassonografia cinesiológica como preditor independente da capacidade funcional

A análise logística multivariada confirmou que a avaliação muscular com a USG cinesiológica é um preditor independente e significativo de limitação funcional, mesmo após ajuste para idade, IMC e VEF<sub>1</sub>, % predito. A AST/Qcsc (OR 0,437 por cm<sup>2</sup>, IC 95%: 0,318-0,599, p<0,001), o Qci (OR 0,889 por %, IC 95%: 0,843-0,938, p<0,001), e a FED/TF do diafragma (OR 0,930 por %, IC 95%: 0,881-0,982, p=0,018) mostraram significativas associações no modelo final (pseudo R<sup>2</sup>=0,685, p de Hosmer-Lemeshow =0,892) (Tabela 8).

**Tabela 8** - Análise de regressão logística multivariada para predição de limitação funcional

Variável	Razão de Chances	IC 95%	P valor
Idade (por ano)	1,331	0,839 - 2,249	>0,05
IMC (por kg/m <sup>2</sup> )	0,915	0,526 - 1,605	>0,05
VEF1 % previsto (por %)	1,679	0,806 - 3,419	>0,05
Área do quadríceps (AST/Qcsa) cm <sup>2</sup>	0,472	0,222 - 0,879	<0,05
Índice de contratilidade (Qci) %	0,118	0,054 - 0,246	<0,05
FED/TF (por %)	1,731	0,734 - 3,949	>0,05

Variável dependente: Limitação funcional (TC6M <65% do previsto). Razões de chances >1 indicam risco aumentado de limitação; RC <1 indicam risco reduzido (efeito protetor). O modelo inclui todas as variáveis apresentadas. Desempenho do modelo: Acurácia = 80,6%, Pseudo R<sup>2</sup> (McFadden) = 0,685. IMC = índice de massa corporal; VEF<sub>1</sub> = volume expiratório forçado no primeiro segundo; AST/Qcsa = área de secção transversal; FED/TF = fração de espessamento do diafragma.

Notavelmente, a inclusão dos parâmetros musculares atenua o efeito do VEF1 (OR 0,982 por %, IC 95%: 0,965-0,999, p=0,034), sugerindo que a disfunção muscular poderia mediar a relação entre a obstrução do fluxo aéreo expiratório e a redução da capacidade funcional. Estes achados suportam que as intervenções terapêuticas que haja diretamente sobre a função muscular, devem ser prioritárias ao invés de percebê-las meramente como uma consequência secundária da disfunção pulmonar observada na DPOC.

O modelo geral demonstrou excelente capacidade discriminativa (concordância estatística de 0,906) e calibração, classificando corretamente 87,1% dos voluntários. Este desempenho excedeu significativamente o VEF<sub>1</sub>, % isoladamente (precisão de 72,6%), enfatizando o valor acrescido pelos dados da avaliação muscular na previsão da capacidade funcional nestes indivíduos.

## Discussão

---

Este estudo estabelece, pela primeira vez, pontos de corte validados dos parâmetros da USG muscular cinesiológica para determinação do diagnóstico de limitação da capacidade funcional em pacientes com DPOC estável. Os achados demonstraram que o Qci (<34,5%) e a AST/Qcsa (<6,85 cm<sup>2</sup>) apresentam boa habilidade discriminativa (AUC de 0,910 e 0,864, respectivamente), superando as tradicionais medidas espirométricas isoladas. Estes limiares validados fornecem indicadores clinicamente relevantes para estratificação de risco na DPOC, preenchendo uma lacuna crítica no manejo clínico atual desta população. Além disso, as análises realizadas nos diferentes perfis da classificação ABE revelam comprometimento progressivo da função muscular dos perfis A e E, independente da gravidade exclusivamente espirométrica proposta pelo GOLD, reforçando o conceito sistêmico da disfunção muscular na DPOC (AGUSTÍ *et al.*, 2010; BIDAN *et al.*, 2015).

A acurácia diagnóstica da USG cinesiológica muscular observada neste estudo excede a de muitas ferramentas clínicas já estabelecidas no manejo da DPOC. O AST/Qcsa, que representa uma avaliação funcional muscular além da simples avaliação estrutural como a área de secção transversal, demonstrou desempenho diagnóstico particularmente robusto com 100% de especificidade no ponto de corte estabelecido. Esta alta especificidade indica ausência de falsos positivos, tornando este parâmetro particularmente valioso para confirmar limitação da capacidade funcional, especialmente naqueles pacientes que não conseguem realizar um teste de exercício cardiopulmonar ou teste de campo submáximo (SEYMOUR *et al.*, 2010; CONNOLLY *et al.*, 2018).

Estudos anteriores têm demonstrado associações entre parâmetros ultrassonográficos musculares e resultados funcionais na DPOC, porém nenhum estudo prévio estabeleceu pontos de corte validados capazes de detectar limitações da capacidade funcional (HERNÁNDEZ *et al.*, 2018; FORMIGA *et al.*, 2020). SEYMOUR *et al.* (2010) demonstraram correlação entre a área de secção transversal do reto femoral e força do quadríceps na DPOC, enquanto FORMIGA *et al.* (2020) relataram que medidas ultrassonográficas musculares se relacionam com a capacidade de exercício. No entanto, estes estudos não forneceram limiares específicos que pudessem ser implementados na prática clínica para identificação

precoce de pacientes em risco. Nosso estudo preenche esta lacuna ao estabelecer valores de corte clinicamente acionáveis, permitindo aos clínicos realizar estratificação de risco objetiva e personalizada.

A superioridade dos parâmetros musculares em relação ao VEF<sub>1</sub>% do previsto isoladamente (AUC 0,910 vs 0,765) para predição de limitação funcional corrobora o reconhecimento crescente de que a DPOC deve ser entendida como uma doença sistêmica complexa (AGUSTI *et al.*, 2010; VANFLETEREN *et al.*, 2013). Este achado está alinhado com o conceito proposto pela classificação BODE, que demonstrou que variáveis multidimensionais fornecem melhor estratificação prognóstica do que medidas espirométricas isoladas (KHARMA, 2013; SWALLOW *et al.*, 2007). A dissociação entre função pulmonar e capacidade funcional, observada em vários participantes dos estágios iniciais do GOLD que apresentaram limitação funcional apesar de função pulmonar relativamente preservada, reforça a necessidade de avaliação muscular direta e independente.

O declínio progressivo da massa e função muscular observado em todos os estágios do GOLD confirma e amplia observações anteriores (MENON *et al.*, 2020; LAVENEZIANA; PALANGE, 2018). Nossos resultados demonstram que mesmo pacientes classificados como GOLD 1 já apresentam redução significativa dos parâmetros musculares quando comparados aos valores de referência descritos em populações saudáveis (RAMÍREZ-FUENTES *et al.*, 2019; RICOY *et al.*, 2019). Este achado de disfunção muscular precoce tem importantes implicações fisiopatológicas e terapêuticas.

A manifestação de disfunção muscular desde estágios iniciais da DPOC pode ser explicada por múltiplos mecanismos sistêmicos que operam simultaneamente. MALTAIS *et al.* (2014), descrevem que a inflamação sistêmica, caracterizada por elevação de citocinas pró-inflamatórias como TNF- $\alpha$ , IL-6 e IL-8, desempenha papel central na degradação muscular na DPOC. Este estado inflamatório crônico ativa vias catabólicas como o sistema ubiquitina-proteassoma e a autofagia (HUSSAIN; SANDRI, 2015), resultando em balanço proteico negativo mesmo na ausência de obstrução grave ao fluxo aéreo.

Adicionalmente, o estresse oxidativo persistente, mediado por espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, contribui para dano mitocondrial e disfunção contrátil muscular (BARREIRO; GEA, 2016). Barreiro e Gea (2016) demonstraram que o desequilíbrio entre espécies oxidantes e antioxidantes ocorre tanto nos músculos

respiratórios quanto periféricos, corroborando nossos achados de forte correlação entre disfunção do diafragma e do reto femoral do quadríceps femoral ( $r=0,776-0,821$ ). A hipóxia crônica, mesmo em graus leves de obstrução, pode induzir alterações na capilarização muscular e no metabolismo oxidativo, contribuindo para intolerância ao exercício desproporcionalmente à gravidade da limitação ventilatória (MALTAIS *et al.*, 2014; WATZ *et al.*, 2008).

A inatividade física, frequentemente presente desde estágios iniciais da DPOC (GOUZI *et al.*, 2011), cria um ciclo vicioso de descondicionamento. Gouzi *et al.* (2011) demonstraram evidências de redução precoce da atividade física em pacientes com DPOC, mesmo antes de limitação ventilatória grave. Esta inatividade leva à atrofia por desuso, mudanças na composição de fibras musculares (com transição de fibras tipo I oxidativas para fibras tipo II glicolíticas), e redução da capacidade oxidativa mitocondrial (MENON *et al.*, 2020). MENON *et al.* (2020) observaram que pacientes com DPOC apresentam redução no número de células satélites musculares no quadríceps, com resposta atenuada ao treinamento resistido, sugerindo comprometimento dos mecanismos regenerativos musculares.

Estes mecanismos fisiopatológicos multifatoriais explicam por que a disfunção muscular se manifesta precocemente e progride de forma contínua ao longo da evolução da doença, fundamentando a necessidade de detecção e intervenção precoces.

O padrão de declínio progressivo dos parâmetros musculares ao longo dos estágios GOLD, com diferenças significativas entre todos os estágios consecutivos, sugere adaptação muscular contínua à progressão da doença. Contudo, nossos resultados identificam a transição do estágio GOLD 2 para GOLD 3 como um ponto de inflexão crítico, com aumento substancial na prevalência de limitação funcional de 52,8% para 71,4%. Este achado tem importantes implicações para o *timing* ideal de intervenções de reabilitação.

As diretrizes atuais recomendam reabilitação pulmonar para pacientes sintomáticos (ROCHESTER *et al.*, 2015), porém nossos dados sugerem que encaminhamento mais precoce e proativo – possivelmente no estágio GOLD 2, quando a prevalência de limitação funcional excede 50% – pode prevenir ou retardar o declínio acelerado da capacidade funcional. Esta janela terapêutica é crucial porque a disfunção muscular parece ser ao menos parcialmente reversível com intervenções

apropriadas de reabilitação pulmonar e treinamento físico (SPRUIT *et al.*, 2013; MCCARTHY *et al.*, 2015).

SPRUIT *et al.* (2013), em declaração oficial sobre reabilitação pulmonar, demonstraram que programas de exercício multimodal podem melhorar força muscular, capacidade funcional e qualidade de vida em pacientes com DPOC. MCCARTHY *et al.* (2015), em revisão sistemática Cochrane, confirmaram os benefícios robustos da reabilitação pulmonar em múltiplos desfechos. No entanto, a efetividade destas intervenções pode ser limitada em estágios muito avançados da doença, quando a atrofia e disfunção muscular tornam-se mais estabelecidas. Nosso achado de que 100% dos pacientes classificados como GOLD 4 apresentaram limitação funcional destaca a necessidade imperiosa de intervenções centradas no aumento da capacidade funcional em estágios anteriores da doença.

A análise da disfunção muscular em relação à classificação ABE representa contribuição inédita e clinicamente relevante para a literatura. Enquanto a relação entre estágios GOLD e função muscular tem sido documentada (KHARBANDA; KRISHNAN; RAMAKRISHNA, 2015; MENON *et al.*, 2020; LAVENEZIANA; PALANGE, 2018), a interação entre sintomas, histórico de exacerbações e estado muscular não havia sido sistematicamente investigada. Nossos resultados demonstram que pacientes mais sintomáticos e com perfil exacerbador (perfil E) apresentam piores parâmetros musculares quando comparados a pacientes menos sintomáticos (perfil A), mesmo dentro do mesmo estágio GOLD.

Esta observação está alinhada com evidências que demonstram que exacerbações agudas da DPOC ampliam respostas catabólicas e cascatas de degradação proteica muscular (HUSSAIN; SANDRI, 2015; PATEL *et al.*, 2020). HUSSAIN E SANDRI (2015) descreveram que durante exacerbações, há ativação aumentada da autofagia muscular e do sistema ubiquitina-proteassoma, levando a degradação acelerada de proteínas contráteis. Patel *et al.* (2020) demonstraram que o fator de diferenciação de crescimento-15, marcador de estresse celular associado à atrofia muscular, está elevado em pacientes com DPOC em ventilação mecânica, sugerindo que eventos agudos graves têm impacto catabólico pronunciado.

Além do estresse catabólico direto, exacerbações frequentes perpetuam o ciclo vicioso de inatividade física. Cada exacerbação resulta em período de repouso forçado, redução da atividade física habitual e descondicionamento progressivo (LAVENEZIANA; PALANGE, 2018). LAVENEZIANA E PALANGE (2018)

demonstraram que o estado nutricional e a inflamação sistêmica pioram com exacerbações recorrentes, contribuindo adicionalmente para degradação muscular. A piora progressiva dos sintomas, refletida em maiores escores CAT e mMRC no perfil E, também contribui para amplificação da disfunção muscular. Sintomas mais graves limitam a tolerância ao exercício, reduzem a atividade física diária e levam a comportamento sedentário, estabelecendo ciclo auto-perpetuador de descondicionamento e perda muscular (WATZ *et al.*, 2008; GOUZI *et al.*, 2011). Nossos achados reforçam que a classificação ABE captura fenótipos clínicos distintos com diferentes padrões de comprometimento muscular, fornecendo informações prognósticas complementares à classificação GOLD tradicional, conforme proposto por MIRAVITLLES *et al.* (2017; 2019).

A forte correlação entre parâmetros ultrassonográficos dos músculos periféricos e respiratórios ( $r=0,776-0,821$ ) fornece importante insight mecanicista sobre a natureza sistêmica da disfunção muscular na DPOC. Embora algum grau de correlação seja esperado devido a fatores sistêmicos comuns (inflamação, hipóxia, estresse oxidativo), a magnitude destas associações sugere que a disfunção muscular na DPOC é verdadeiramente generalizada, não afetando seletivamente grupos musculares específicos.

Este achado tem implicações terapêuticas diretas. Intervenções capazes de modular a resposta inflamatória sistêmica, melhorar o estado nutricional ou promover anabolismo podem beneficiar simultaneamente músculos periféricos e respiratórios (MALTAIS *et al.*, 2014). MALTAIS *et al.* (2014) propõem que estratégias terapêuticas sistêmicas, incluindo suporte nutricional, controle da inflamação e exercício multimodal, devem ser priorizadas sobre abordagens focadas exclusivamente em grupos musculares isolados.

Do ponto de vista prático, as fortes correlações entre disfunções ventilatória e periférica também sugerem que a USG cinesiológica muscular do quadríceps femoral poderia servir como substituto razoável para avaliação da DD quando esta última for tecnicamente desafiadora. O exame ultrassonográfico do quadríceps femoral é geralmente mais fácil de executar, menos dependente do operador, mais confortável para pacientes e apresenta menor variabilidade interobservador do que a avaliação do diafragma (SARWAL *et al.*, 2015; TILLQUIST *et al.*, 2013). O desempenho diagnóstico ligeiramente superior do Qci (AUC 0,910) comparado com a FED/TF do diafragma (AUC 0,780) reforça a prioridade da avaliação muscular periférica na prática

clínica, reservando a avaliação diafragmática para casos em que informação muscular ventilatória específica seja necessária.

O valor preditivo dos parâmetros ultrassonográficos musculares nas análises multivariadas, além do VEF<sub>1</sub> (% predito), aborda uma questão fundamental: essas medidas fornecem informações prognósticas adicionais ou atuam, em parte, como substitutas da função pulmonar na estratificação da DPOC? Nossos resultados sugerem que os parâmetros musculares podem permanecer como preditores independentes mesmo após ajuste para idade, IMC e VEF<sub>1</sub> (% do predito), com possível atenuação do efeito do VEF<sub>1</sub> (% do predito). Esses achados indicam que tais parâmetros podem refletir aspectos complementares dos processos fisiopatológicos envolvidos na limitação da capacidade funcional.

Este achado corrobora o reconhecimento crescente de que a DPOC é síndrome multissistêmica que exige avaliação além da espirometria (AGUSTI *et al.*, 2010; VANFLETEREN *et al.*, 2013). AGUSTI *et al.* (2010), ao caracterizar a heterogeneidade da DPOC na coorte ECLIPSE, demonstraram que manifestações sistêmicas, incluindo disfunção muscular, contribuem independentemente para desfechos clínicos. VANFLETEREN *et al.* (2013) identificaram clusters de comorbidades baseados em medidas objetivas e inflamação sistêmica, demonstrando que pacientes com mesmo grau de obstrução ao fluxo aéreo podem apresentar perfis fisiopatológicos e prognósticos distintos.

A manutenção do poder preditivo dos parâmetros musculares após ajuste para confundidores importantes fornece forte justificativa para intervenções direcionadas que tratem diretamente a disfunção muscular através de reabilitação pulmonar, treinamento muscular periférico específico, exercício resistido, suporte nutricional e, potencialmente, intervenções farmacológicas que modulem vias catabólicas ou estimulem anabolismo muscular (MALTAIS *et al.*, 2014; SPRUIT *et al.*, 2013).

Os pontos de corte validados neste estudo (Qci < 34,5% e AST/Qcsa < 6,85 cm<sup>2</sup>) fornecem critérios objetivos, facilmente mensuráveis e não invasivos para identificação de pacientes em risco de limitação funcional que poderiam beneficiar-se de intervenções precoces. Clínicos equipados com equipamento portátil de ultrassom de custo relativamente acessível podem realizar avaliações rápidas durante a rotina clínica, possibilitando gestão proativa e personalizada.

A USG musculoesquelética cinesiológica apresenta múltiplas vantagens sobre métodos alternativos, mas ainda pouco usada na prática clínica. Em comparação com

testes funcionais como TC6M ou teste cardiopulmonar de exercício, a ultrassonografia não depende de esforço do paciente, pode ser realizada em pacientes com limitações ortopédicas ou neurológicas que impeçam deambulação, e fornece informação estrutural além da funcional (MIRANDA; MALAGUTI; CORSO, 2011). Comparada com métodos de imagem como tomografia computadorizada ou ressonância magnética, a USG não envolve radiação ionizante, tem custo significativamente menor, é amplamente disponível e pode ser realizada à beira do leito (DEGENS; GAYAN-RAMIREZ; VAN HEES, 2015).

SARWAL *et al.* (2015) e TILLQUIST *et al.* (2013) demonstraram que a USG muscular cinesiológica é prática, confiável e reproduzível quando protocolos padronizados são utilizados. Nosso estudo confirma estas observações ao demonstrar excelente confiabilidade intraobservador ( $ICC > 0,90$ ) após treinamento adequado. A padronização técnica rigorosa, incluindo marcação anatômica precisa, posicionamento consistente do transdutor e medidas repetidas, é essencial para garantir reprodutibilidade e permitir comparações longitudinais.

Os achados de que parâmetros ultrassonográficos musculares cinesiológicos superam medidas espirométricas isoladas na predição de limitação funcional sustentam abordagem avaliativa mais abrangente e multidimensional, alinhada com recomendações atuais de manejo da DPOC (ABDULAI *et al.*, 2018; MALTAIS *et al.*, 2014). A integração da avaliação muscular ultrassonográfica em algoritmos diagnósticos e de estratificação de risco poderia melhorar significativamente a identificação de pacientes que mais se beneficiariam de reabilitação pulmonar precoce e intensiva.

Diversos aspectos metodológicos fortalecem a confiança nos resultados apresentados. O uso de avaliador experiente e cego para classificação espirométrica e capacidade funcional minimiza viés de aferição. A confiabilidade intraobservador robusta ( $ICC > 0,90$ ) demonstra consistência nas medidas. A inclusão simultânea de parâmetros estruturais (AST/Qc<sub>sa</sub>) e funcionais (Q<sub>ci</sub>, FED/TF) fornece avaliação abrangente do estado muscular.

A abordagem estatística compreensiva, incluindo análise ROC para determinação de pontos de corte ideais, modelagem multivariada controlando confundidores importantes (idade, IMC, VEF<sub>1</sub>%), e integração das classificações GOLD e ABE, garante avaliação robusta sob múltiplas perspectivas. O tamanho

amostral adequado, calculado a priori com base em diferenças esperadas na AUC, fornece poder estatístico suficiente para detectar diferenças clinicamente relevantes. A utilização do TC6M como padrão de referência para capacidade funcional é apoiada por extensa literatura demonstrando sua validade, reprodutibilidade e relevância prognóstica na DPOC (HOLLAND *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2021; PUHAN *et al.*, 2011; SWALLOW *et al.*, 2007). HOLLAND *et al.* (2014) estabeleceram diretrizes técnicas rigorosas para condução do teste, garantindo padronização. PUHAN *et al.* (2011) e SWALLOW *et al.* (2007) demonstraram que a distância percorrida no teste prediz sobrevida e está associada a qualidade de vida, validando o ponto de corte de 65% do previsto utilizado neste estudo.

### **Limitações e Perspectivas Futuras**

Apesar das importantes contribuições, várias limitações merecem consideração e orientam direções para pesquisas futuras. O desenho transversal impede determinação de causalidade ou relações temporais entre disfunção muscular e declínio funcional. Estudos longitudinais são necessários para estabelecer se a disfunção muscular precede temporalmente a limitação funcional e se monitoramento seriado destes parâmetros pode prever trajetória clínica e desfechos adversos.

Embora o recrutamento tenha sido amplo e aberto, conduzido em centro único, potencialmente limita generalização dos resultados. Validação externa em populações diversas com DPOC (diferentes regiões geográficas, etnias e níveis de acesso a cuidados de saúde) fortaleceria confiança na aplicabilidade universal dos pontos de corte propostos. Estudos multicêntricos de maior porte permitiriam caracterização mais detalhada da interação entre gravidade da doença, fenótipo clínico e estado muscular, especialmente em análises de subgrupos.

A ausência de avaliação da confiabilidade interobservador representa limitação metodológica. Embora os avaliadores sejam experientes, tenham utilizado equipamento padronizado e demonstrado excelente confiabilidade intraobservador, estudos futuros devem avaliar sistematicamente a reprodutibilidade entre diferentes operadores para garantir aplicabilidade em contextos clínicos diversos.

A utilização do ponto de corte de DTC6M < 65% do previsto como definição de limitação funcional, embora baseada em evidências prévias (PUHAN *et al.*, 2011; SWALLOW *et al.*, 2007), representa escolha em certa medida arbitrária. Contudo, a

forte correlação entre parâmetros musculares e DTC6M em toda sua amplitude sugere que os resultados não são artefato deste ponto de corte específico.

Pesquisas futuras devem abordar diversas questões-chave. Ensaios clínicos randomizados são necessários para determinar se intervenções de reabilitação guiadas por achados ultrassonográficos produzem melhores resultados comparados às estratégias atuais de encaminhamento baseadas em critérios clínicos convencionais. Estudos longitudinais devem monitorar parâmetros musculares ao longo do tempo para estabelecer se a taxa de declínio prevê eventos adversos (exacerbações, hospitalizações, mortalidade) e se intervenções precoces podem retardar ou reverter o declínio da função muscular.

A avaliação do impacto de diferentes modalidades terapêuticas (exercício aeróbico, treinamento resistido, estimulação elétrica neuromuscular, suporte nutricional, farmacoterapia) nos parâmetros ultrassonográficos musculares poderia fornecer insights sobre mecanismos de resposta terapêutica e identificar pacientes que mais se beneficiariam de intervenções específicas. Adicionalmente, investigação de biomarcadores séricos de turnover muscular (como GDF-15, miostatina, IGF-1) em conjunto com medidas ultrassonográficas poderia elucidar vias fisiopatológicas e identificar alvos terapêuticos promissores (PATEL *et al.*, 2020).

A exploração de inteligência artificial e o uso do machine learning para análise automatizada de imagens ultrassonográficas poderia reduzir variabilidade interobservador, acelerar análise e permitir implementação em larga escala. Finalmente, estudos de custo-efetividade são necessários para avaliar viabilidade econômica da incorporação rotineira da ultrassonografia muscular em algoritmos de avaliação e estratificação de risco na DPOC.

Em síntese, este estudo demonstra que parâmetros ultrassonográficos musculares, particularmente o índice de contratilidade e a área de secção transversal do quadríceps, são preditores independentes e superiores de limitação funcional na DPOC em comparação com medidas espirométricas isoladas. Os pontos de corte validados fornecem ferramentas clinicamente acionáveis para identificação precoce de pacientes em risco, facilitando encaminhamento proativo para reabilitação pulmonar e intervenções multidimensionais.

O declínio progressivo da função muscular ao longo dos estágios GOLD e fenótipos ABE, combinado com forte correlação entre disfunção muscular periférica e respiratória, sustenta a necessidade de abordagens terapêuticas sistêmicas que

reconheçam a DPOC como doença multissistêmica. A transição do estágio GOLD 2 para GOLD 3 emerge como janela terapêutica crítica, onde intervenções preventivas podem ter maior impacto.

Estes achados instruem clínicos a realizar avaliação objetiva, não invasiva e custo-efetiva do estado muscular, permitindo personalização de estratégias terapêuticas e monitoramento de resposta ao tratamento. A ultrassonografia muscular cinesiológica representa adição valiosa ao arsenal de ferramentas disponíveis para manejo abrangente da DPOC, com potencial para melhorar desfechos funcionais e qualidade de vida desta população vulnerável.

## Conclusões

---

Parâmetros musculares obtidos pela USG cinesiológica, particularmente o Qci e a AST/Qcsa, são excelentes preditores, independentes, de limitação funcional na DPOC estável. Os pontos de corte validados ( $Qci < 34,5\%$  e uma  $AST/Qcsa < 6,85 \text{ cm}^2$ ) fornecem limiares, clinicamente úteis, para estratificação do risco de limitação da capacidade funcional e o momento ideal de intervenção terapêutica. O declínio progressivo da função muscular em todos os estágios do GOLD e nos diferentes fenótipos clínicos baseados em sintomas e histórico de exacerbações (classificação ABE), combinadas com fortes correlações entre a disfunção muscular periférica e ventilatória, apoiam a necessidade de intervenções terapêuticas sistêmicas. Estes achados apresentados habilitam a identificação precoce de pacientes com DPOC sob risco de limitação da capacidade funcional, facilitando ações proativas de reabilitação que busquem mudanças comportamentais e intervenções multimodais que ampliem a capacidade funcional e melhorem diretamente a função muscular periférica e ventilatória.



**UNISUAM**

**COMPROMISSO PARA A VIDA TODA**