

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
Programa De Pós-Graduação Em Fisioterapia

Julia Kortstee Ferreira

**Para além da glicemia: investigando a saúde do
ombro na diabetes mellitus e as manifestações da
neuropatia periférica diabética nos membros
superiores**

São Carlos – SP
2026

Julia Kortstee Ferreira

Para além da glicemia: investigando a saúde do ombro na diabetes mellitus e as manifestações da neuropatia periférica diabética nos membros superiores

Versão corrigida da Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia (PPGfT), ao Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Doutora em Fisioterapia. A versão original da Tese encontra-se disponível junto ao PPGfT.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Rezende Camargo

Coorientadora: Profa. Dra. Isabel de Camargo Neves Sacco

Ferreira, Julia Kortstee

Para além da glicemia: investigando a saúde do ombro na diabetes mellitus e as manifestações da neuropatia periférica diabética nos membros superiores / Julia Kortstee Ferreira -- 2026.
136f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Paula Rezende Camargo

Banca Examinadora: Paula Rezende Camargo, Paula Regina Mendes da Silva Serrão, Eneida Yuri Suda, Danilo Harudy Kamonseki, Paulo Barbosa de Freitas Júnior

Bibliografia

1. Fisioterapia. 2. Complicações da diabetes. 3. Extremidade superior. I. Ferreira, Julia Kortstee. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180

Folha de aprovação

Defesa da Tese de Doutorado da candidata Julia Kortstee Ferreira, realizada em 23/02/2026.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Paula Rezende Camargo (UFSCar)

Profa. Dra. Paula Regina Mendes da Silva Serrão (UFSCar)

Profa. Dra. Eneida Yuri Suda (UNIB)

Prof. Dr. Danilo Harudy Kamonseki (UFPB)

Prof. Dr. Paulo Barbosa de Freitas Júnior (Universidade Cruzeiro do Sul)

O Relatório de Defesa produzido pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (2021/01771-7; 2023/11825-2; 2022/13813-9; 2024/04699-3; 2024/03379-5).

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, **Ivone e Jorge**, e ao meu esposo,
Leonardo.

AGRADECIMENTOS

A construção desta tese foi marcada por desafios, aprendizados e amadurecimento pessoal e profissional. Ao mesmo tempo, foi um percurso de muitas colaborações, amizades e apoios incondicionais, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Em primeiro lugar, agradeço a **Deus** por iluminar e guiar meus caminhos, bem como os da minha família e amigos. Nos momentos de incerteza, foi Ele quem acalmou meu coração e me mostrou como seguir. Agradeço pela minha vida, pela saúde e pela alegria, e também pela vida e pela saúde de todos aqueles que amo.

Agradeço aos meus pais, **Ivone e Jorge**, por sempre me incentivarem a ir atrás dos meus sonhos e por nunca medirem esforços para me apoiar em sua realização. Vocês me ensinaram, desde cedo, que o conhecimento é algo que ninguém pode nos tirar, e levo esse ensinamento muito a sério – talvez por isso eu nunca tenha parado de estudar. Obrigada por confiarem em mim e por apoiarem minhas escolhas, mesmo quando não concordamos em relação a elas. Todas as conquistas que alcancei até hoje são fruto do exemplo que vocês são, da força que me dão e do cuidado constante que vocês têm em priorizar meu futuro e minha felicidade. Eu amo vocês e serei eternamente grata.

Agradeço imensamente ao meu esposo, **Léo**, por estar sempre ao meu lado. Foi durante o doutorado que nos (re)encontramos e nos encantamos, e também foi nesse período que vivemos juntos alguns dos momentos mais felizes e desafiadores de nossas vidas. Obrigada por me incentivar, acreditar em mim e por abdicar da sua vida no Brasil para viver meu sonho comigo fora do país. Você cuida de mim, me fortalece, me alegra e me ensina todos os dias. Que venham novos desafios e alegrias para vivermos juntos! Te amo muito!

Agradeço a toda a minha família, em especial à minha avó **Darci**, que sempre foi uma inspiração de força, carinho e resiliência. Agradeço também aos meus sogros, **Branca e Fran**, por todo o apoio, torcida e acolhimento, e por me tratarem como uma filha – mesmo quando levei o filho de vocês para morar em outro continente por um ano. Obrigada por tanto carinho e compreensão. Amo vocês!

À **Frida**, minha cachorra – ou melhor, meu bebê –, um dos maiores amores da minha vida. Obrigada por ser tão fiel, carinhosa e por ter sido meu apoio emocional desde a pandemia. Mamãe sempre fará de tudo para garantir seus biscoitos e brinquedos e te ver feliz. Agradeço muito a São Francisco de Assis por sempre ter olhado por você e por nós. Te amo, minha pituca!

Agradeço a todos os meus amigos de longa data e agregados de **Holambra**, pela parceria e pelo carinho ao longo de todos esses anos. Muito obrigada, **Renata, Thauara, Diego, Lucas, Pedrão, Margarida, Marina, Felipe** e toda a turma. Vocês sempre estiveram presentes na minha vida, mesmo à distância, e nossos encontros são sempre momentos de muita alegria. Sou imensamente grata por vocês fazerem parte da minha história.

Agradeço também a todos os amigos e agregados que fizeram e fazem parte da minha trajetória em **São Carlos**. Como diz o ditado, quem tem amigos, tem tudo. Muito obrigada, **Chico, Tanakinha, Mari, Mauro, Jorginho, Carol, Igor, Tê, Heitor, Docinho, Yas, Renan, Talía, Gustavo, Bia, Flá, Isa, Bebê, Giu** e tantos outros. É um privilégio estar cercada por pessoas tão especiais. Agradeço, ainda, a todos os amigos que fiz em **Matão** nesses últimos anos, por me receberem tão bem e tornarem os momentos vividos aí tão leves e alegres. Obrigada pelo acolhimento e pelas boas lembranças!

Iniciei minha trajetória acadêmica na UFSCar em 2013 e, desde 2014, faço

parte do Laboratório de Avaliação e Intervenção do Complexo do Ombro, onde comecei como aluna de iniciação científica. A UFSCar tornou-se uma segunda casa para mim, um espaço onde conheci pessoas de coração generoso, extremamente talentosas e inspiradoras. Agradeço a todos os **professores** que fizeram parte da minha formação, tanto na graduação quanto na pós-graduação, pelo tempo, dedicação e carinho investidos no ato de ensinar. Como bem disse Paulo Freire, “A educação não transforma o mundo. A educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo”. Obrigada a todos os professores que passaram pela minha vida, por me transformarem e por me incentivarem a transformar o mundo.

Agradeço a todos os amigos de departamento que fiz ao longo da graduação e da pós-graduação. Vocês foram essenciais nessa trajetória. Muito obrigada, **Rebeca, Ana Flávia, Gustavo, Luiz Felipe e Guilherme**. Que nossa amizade se mantenha e nos acompanhe por toda a vida. Agradeço aos funcionários e ex-funcionários do DFisio, **Patty, Iolanda, e Emerson**. Agradeço aos **pacientes** que participaram dos projetos que compõem esta Tese. Este trabalho só foi possível graças a vocês.

É difícil agradecer aos colegas de laboratório apenas como colegas, pois todos se tornaram grandes amigos para a vida. À **Day**, minha coorientadora de iniciação científica, agradeço por todos os ensinamentos desde o início da minha trajetória acadêmica e pelas parcerias que se mantêm até hoje. Você me ensinou muito e segue sendo uma grande inspiração. Agradeço também a todos os meus veteranos de laboratório desde a iniciação científica — **Fernanda, Lívia, Danilo, Rodrigo, Melina, Larissa e Lucas** — por serem referências e por todas as trocas tão ricas ao longo do caminho. Vocês são incríveis.

Aos meus contemporâneos de laboratório, agradeço por tornarem o dia a dia

mais leve e alegre. É um privilégio dividir a rotina com pessoas tão especiais. Muito obrigada, meus companheiros de Super Shoulder — **Vander, Pablito, Julynha, Luiz Filipe, Matheus, Airlon, Livia, Milena, Luísa, Elayne, Murilo** — e a todos aqueles que passaram pelo laboratório e deixaram sua marca nessa trajetória.

Agradeço imensamente à minha coorientadora, **Profa. Dra. Isabel Sacco**, por ter aceitado me coorientar e, juntamente com seu grupo de pesquisa, por todo o suporte no planejamento dos estudos desta tese, pela hospitalidade durante os períodos em que frequentei seu laboratório e por todo o treinamento compartilhado. Meu sincero agradecimento à **Érica, Jane** e ao **Ronaldo** e a todos os outros integrantes do Laboratório de Biomecânica do Movimento e Postura Humana (LaBiMPH). Agradeço também ao **Prof. Dr. Jo Nijs** e ao grupo *Pain in Motion* pela ótima recepção e pelas valiosas trocas de experiências durante meu estágio de pesquisa no exterior.

Agradeço aos membros da banca examinadora pela disponibilidade, atenção e valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho. Agradeço ao **Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da UFSCar (PPGFT)**, à **Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte às pesquisas desenvolvidas ao longo da minha trajetória acadêmica e pelo papel fundamental que desempenham no fomento à ciência e à pesquisa brasileira.

Por fim, mas não menos importante, agradeço imensamente à pessoa que tornou tudo isso possível: minha orientadora, **Profa. Paula**. Não há palavras suficientes para expressar, nestas linhas, a profundidade da minha gratidão. São mais de dez anos de histórias, aprendizados e trabalhos compartilhados, e sou profundamente grata por ter ao meu lado uma orientadora de coração generoso, que

se dedica incansavelmente à formação de seus alunos, acredita no meu potencial e me desafia constantemente a ir além do que eu mesma imaginava ser capaz. Sua orientação foi fundamental não apenas para a construção desta tese, mas também para minha formação pessoal e profissional. Espero que nossa parceria se estenda por toda a vida, pois, para além da relação acadêmica, você se tornou uma grande amiga.

“A educação é o ponto em que decidimos se amamos o mundo o bastante para assumirmos a responsabilidade por ele.”
(Hannah Arendt)

RESUMO

Introdução: Indivíduos com diabetes mellitus (DM) parecem apresentar maior prevalência de dor no ombro quando comparados à população em geral. A neuropatia periférica diabética (NPD), uma das complicações crônicas mais prevalentes da DM, possui caráter sistêmico e progressivo, porém sua investigação concentra-se predominantemente nos membros inferiores (MMII). A contribuição da DM e da NPD para desfechos relacionados à dor e às capacidades funcionais do ombro ainda não está claramente estabelecida. Além disso, a manifestação da NPD nos membros superiores (MMSS) e sua relação com a severidade da NPD nos MMII permanecem pouco exploradas. Diante desse contexto, esta tese é composta por três estudos.

Estudo 1. Objetivo: Investigar a associação entre a presença da DM e dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro. **Métodos:** Estudo transversal com 75 indivíduos com DM e 37 controles. Foram avaliados os desfechos de dor e incapacidade do ombro (*Shoulder Pain and Disability Index – SPADI*); amplitude de movimento (ADM); força isométrica; e desempenho funcional do ombro (*Timed Functional Arm and Shoulder Test – TFAST*). Modelos de regressão linear múltipla foram ajustados considerando a DM como variável independente principal e idade, IMC e nível de exercício físico como covariáveis. **Resultados e conclusão:** A DM esteve associada à menor ADM ativa ($\beta=-10,98^\circ$; $p<0,05$) e passiva ($\beta=-8,10^\circ$; $p<0,05$) de rotação medial e ao pior desempenho funcional do ombro ($\beta=-12,78$ repetições; $p<0,05$). Não foram observadas associações com os demais desfechos. Esses achados sugerem que a DM está relacionada a comprometimentos específicos do movimento e do desempenho funcional do ombro, reforçando a importância do acompanhamento precoce e direcionado para a identificação e manejo de alterações no ombro nesta população. **Estudo 2. Objetivo:** Comparar a dor, movimento, força e

desempenho funcional do ombro entre indivíduos com DM com e sem NPD e controles sem DM, e investigar a associação entre a severidade da NPD e esses desfechos relacionados ao ombro em indivíduos com DM. **Métodos:** Estudo transversal com 112 participantes distribuídos em três grupos: DM com NPD (n=38), DM sem NPD (n=37) e controles (n=37). Foram avaliados a presença e a severidade da NPD nos MMII; a dor e incapacidade do ombro (SPADI); ADM; força muscular; e o desempenho funcional do ombro (TFAST). As análises incluíram comparações entre grupos e modelos de regressão linear múltipla ajustados para idade, IMC e nível de exercício físico. **Resultados e conclusão:** Indivíduos com DM e NPD apresentaram maiores níveis de dor e incapacidade do ombro, menor rotação medial ativa, menor força muscular e pior desempenho funcional do ombro em comparação aos indivíduos com DM sem NPD e aos controles ($p < 0,05$). Nas análises ajustadas, a severidade da NPD não se associou de forma independente à maioria dos desfechos do ombro, exceto pela força do serrátil anterior ($\beta = 0,692 \text{ N/kg}$; $p < 0,05$), sugerindo que fatores clínicos e comportamentais como a idade, hábitos alimentares e prática de exercícios físicos podem influenciar esta relação. **Estudo 3. Objetivo:** Caracterizar a manifestação da NPD nos MMSS e comparar esses desfechos entre indivíduos com DM com e sem NPD nos MMII, bem como verificar a associação entre a severidade da NPD nos MMII e os desfechos sugestivos da manifestação da NPD nos MMSS. **Métodos:** Estudo transversal com 76 indivíduos com DM, divididos em dois grupos: com NPD nos MMII (n=38) e sem NPD nos MMII (n=38). A manifestação da NPD nos MMSS foi avaliada pelo relato de sintomas neuropáticos e por avaliação física da sensibilidade tátil e vibratória, força de preensão palmar máxima e destreza manual (Teste de *Jebesen Taylor*). As comparações entre grupos e as associações foram realizadas por testes estatísticos apropriados. **Resultados e conclusão:**

Indivíduos com NPD nos MMII apresentaram maior frequência de sintomas neuropáticos nos MMSS, pior sensibilidade tátil e vibratória na mão, menor força de preensão palmar e pior destreza manual em comparação aos indivíduos sem NPD nos MMII ($p < 0,05$). A severidade da NPD nos MMII correlacionou-se com a quantidade de sintomas neuropáticos nos MMSS, o comprometimento sensorial tátil e vibratório da mão, a redução da força de preensão palmar e a pior destreza manual ($p < 0,05$). Esses achados reforçam o caráter sistêmico e progressivo da NPD e destacam a importância da inclusão da avaliação dos MMSS nos protocolos clínicos de rastreio e acompanhamento de pessoas com DM.

Palavras-chave: complicações da diabetes, extremidade superior, capacidade funcional, função sensitiva, fisioterapia.

ABSTRACT

Introduction: People with diabetes mellitus (DM) seem to have a higher prevalence of shoulder pain compared with the general population. Diabetic peripheral neuropathy (DPN), one of the most prevalent chronic complications of DM, is systemic and progressive; however, its investigation has predominantly focused on the lower limbs (LL). The contribution of DM and DPN to shoulder-related pain and functional outcomes remains unclear. Moreover, the manifestation of DPN in the upper limbs (UL) and its relationship with DPN severity in the LL are poorly explored. Within this context, this doctoral thesis comprises three studies: **Study 1: Objective:** To investigate the association between the presence of DM and shoulder pain, motion, strength, and functional performance. **Methods:** Cross-sectional study including 75 individuals with DM and 37 controls. Outcomes assessed were shoulder pain and disability (SPADI), range of motion (RoM), isometric strength, and shoulder functional performance (TFAST). Multiple linear regression models were fitted considering DM as the main independent variable and age, body mass index (BMI), and physical exercise level as covariates. **Results and conclusion:** DM was associated with reduced active ($\beta = -10.98^\circ$; $p < 0.05$) and passive ($\beta = -8.10^\circ$; $p < 0.05$) internal rotation RoM and poorer shoulder functional performance ($\beta = -12.78$ repetitions; $p < 0.05$). No associations were observed for the remaining outcomes. These findings suggest that DM is related to specific impairments in shoulder mobility and functional performance, reinforcing the importance of early and targeted monitoring to identify and manage shoulder alterations in this population. **Study 2: Objective:** To compare shoulder pain, motion, strength, and functional performance among individuals with DM with and without DPN and controls without DM, and to investigate the association between DPN severity and shoulder-related outcomes in individuals with DM.

Methods: Cross-sectional study with 112 participants allocated into three groups: DM with DPN (n = 38), DM without DPN (n = 37), and controls (n = 37). The presence and severity of DPN in the LL, shoulder pain and disability (SPADI), RoM, muscle strength, and functional performance (TFAST) were assessed. Analyses included between-group comparisons and multiple linear regression models adjusted for age, BMI, and physical exercise level. **Results and conclusion:** Individuals with DM and DPN exhibited higher levels of shoulder pain and disability, reduced shoulder active internal rotation RoM, reduced shoulder strength, and poorer shoulder functional performance compared with individuals with DM without DPN and controls ($p < 0.05$). In adjusted analyses, DPN severity was not independently associated with most shoulder outcomes, except for serratus anterior strength ($\beta = 0.692$ N/kg; $p < 0.05$), suggesting that clinical and behavioral factors such as age, dietary habits, and physical exercise may influence this relationship. **Study 3: Objective:** To characterize the manifestation of DPN in the UL and compare these outcomes between individuals with DM with and without DPN in the LL, as well as to examine the association between LL DPN severity and outcomes suggestive of DPN manifestation in the UL. **Methods:** Cross-sectional study including 76 individuals with DM, divided into two groups: with DPN in the LL (n = 38) and without DPN in the LL (n = 38). UL-DPN manifestation was assessed through self-reported neuropathic symptoms and physical examination of tactile and vibratory sensitivity, maximum handgrip strength, and hand dexterity (Jebsen–Taylor Test). Group comparisons and association analyses were performed using appropriate statistical tests. **Results and conclusion:** Individuals with DPN in the LL presented a higher frequency of neuropathic symptoms in the UL, worse tactile and vibratory hand sensitivity, reduced handgrip strength, and poorer hand dexterity compared with individuals without DPN in the LL ($p < 0.05$). LL-DPN severity

correlated with the number of neuropathic symptoms in the UL, tactile and vibratory sensory impairment of the hand, reduced handgrip strength, and poorer hand dexterity ($p < 0.05$). These findings reinforce the systemic and progressive nature of DPN and highlight the importance of including UL assessment in clinical screening protocols for individuals with DM.

Keywords: diabetes complications, upper extremity, functional capacity, sensory function, physical therapy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Avaliação da ADM do ombro para flexão ativa (A), flexão passiva (B), rotação medial ativa e passiva (C) e rotação lateral ativa e passiva (D).....	28
Figura 2. Avaliação da força muscular do ombro para os flexores (A), rotadores mediais (B), rotadores laterais (C) e serrátil anterior (D).....	30
Figura 3. Tarefas funcionais que compõem o TFAST: Mão na cabeça e costas (A), Lavar parede (B) e Levantamento de galão (C).....	32
Figura 4. DAG proposta para ilustrar o modelo teórico, com as variáveis de interesse deste estudo e sua associação com a DM.....	34
Figura 5. DAG proposta para ilustrar o modelo teórico com as variáveis de interesse deste estudo e sua associação com a severidade da NPD.....	58
Figura 6. Avaliação do limiar de sensibilidade tátil (A) e da sensibilidade vibratória (B) da mão.....	78
Figura 7. Avaliação da força de preensão palmar máxima.....	79
Figura 8. Teste de Jebsen Taylor: (A) virar cartas; (B) levantamento de objetos pequenos; (C) uso da colher para alimentação; (D) empilhamento de blocos; (E) levantamento de objetos grandes e leves; e (F) levantamento de objetos grandes e pesados.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características demográficas e clínicas dos participantes.....	35
Tabela 2. Coeficientes de determinação (R^2) e significância estatística dos modelos de regressão linear que avaliaram a associação entre a presença da DM e os desfechos relacionados à dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro.....	38
Tabela 3. Estimativas de efeito da presença da DM sobre desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro em modelos de regressão linear múltipla ajustados para idade, IMC e nível de exercício físico.....	39
Tabela 4. Características antropométricas, demográficas e clínicas dos participantes (n = 112).....	59
Tabela 5. Comparações entre os grupos para os desfechos avaliados relacionados ao ombro.....	61
Tabela 6. Comparação par a par dos desfechos significativamente diferentes entre os grupos com DM e NPD e controles.....	62
Tabela 7. Comparação par a par dos desfechos significativamente diferentes entre os grupos com DM e NPD e com DM sem NPD.....	62
Tabela 8. Significância estatística ($Pr(>\chi^2)$) e coeficientes de determinação (R^2 e R^2_{adj}) dos modelos, e efeitos estimados da severidade da NPD sobre os desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, ajustados para idade, IMC e nível de exercício físico.....	63
Tabela 9. Características antropométricas, demográficas e clínicas dos participantes (n = 76).....	81
Tabela 10. Comparações entre os grupos com e sem NPD nos MMII para os	

desfechos relacionados à manifestação da NPD nos MMSS.....82

Tabela 11. Descrição e comparação da frequência de sintomas neuropáticos

relatados nos MMSS entre os grupos com e sem NPD nos MMII.....83

Tabela 12. Correlações entre a severidade da NPD nos MMII e os diferentes

desfechos associados à manifestação da NPD nos MMSS, em pessoas com DM (n =

76).....84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADM: Amplitude de movimento

AGEs: Produtos finais da glicação avançada / *Advanced glycation end products*

AIC: *Akaike Information Criterion*

ANOVA: *Analysis of Variance*

AUC: *Area Under the Curve*

BEPE: Bolsa Estágio de Pesquisa no Exterior

CAAE: Certificado de Apresentação de Apreciação Ética

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

DAG: *Directed Acyclic Graph*

DASH: *Disability of Arm, Shoulder and Hand*

DM: Diabetes mellitus

EUA: Estados Unidos da América

FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

GH: *Growth Hormone*

HbA1c: Hemoglobina glicada

IASP: *International Association for the Study of Pain*

IC: Intervalo de confiança

ICC: *Intraclass Correlation Coefficient*

IGF-1: *Insulin-like growth factor 1*

IMC: Índice de Massa Corporal

kg: Quilograma

MDCI: Mínima diferença clinicamente importante

mg/dl: Miligrama por decilitro

MMII: Membros inferiores

MMSS: Membros superiores

MNSI: *Michigan Neuropathy Screening Instrument*

N/kg: Newton por quilograma

NPD: Neuropatia periférica diabética

OMS: Organização Mundial da Saúde

ROC: *Receiver Operating Characteristic*

SPADI: *Shoulder Pain and Disability Index*

SPSS: *Statistical Package for the Social Sciences*

STROBE: *Strengthening the reporting of observational studies in epidemiology*

TFAST: *Timed Functional Arm and Shoulder Test*

UCLA-m: *Modified University of California at Los Angeles Shoulder Rating Scale*

UFSCar: Universidade Federal de São Carlos

USA: *United States of America*

VUB: *Vrije Universiteit Brussel*

ABRANGÊNCIA, APLICABILIDADE, INOVAÇÃO, COMPLEXIDADE E OBJETIVO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL ATINGIDO (ODS) NA TESE

A tese apresenta abrangência internacional devido à relevância global do tema investigado – o impacto da diabetes mellitus (DM) sobre o sistema musculoesquelético e da neuropatia periférica diabética (NPD) – considerando que a DM representa um importante problema de saúde pública mundial. Os estudos foram conduzidos utilizando instrumentos validados internacionalmente, metodologias reconhecidas na literatura científica e diretrizes metodológicas consolidadas, além de que serão submetidos a periódicos internacionais de impacto na área da reabilitação e complicações da diabetes. Adicionalmente, a tese contribui para o avanço do conhecimento científico acerca da manifestação musculoesquelética e neuromuscular da DM, especialmente em relação ao comprometimento do complexo do ombro e dos membros superiores em indivíduos com NPD.

Desta forma, a tese apresenta alta aplicabilidade clínica e na pesquisa, uma vez que seus achados podem auxiliar profissionais da saúde envolvidos no cuidado de pessoas com DM, incluindo fisioterapeutas, médicos e equipes multiprofissionais. Os resultados contribuem para o aprimoramento do rastreamento precoce de alterações musculoesqueléticas e comprometimentos funcionais do ombro nesta população e para a compreensão do possível papel da NPD nos desfechos musculoesqueléticos, e da manifestação da NPD nos membros superiores (MMSS). Além disso, os achados podem favorecer avaliações clínicas mais direcionadas, bem como o desenvolvimento de estratégias preventivas e terapêuticas voltadas à preservação funcional e à melhora da qualidade de vida dessa população. Os métodos utilizados também apresentam viabilidade de aplicação em ambientes clínicos e ambulatoriais,

favorecendo a translação do conhecimento científico para a prática clínica.

A tese também apresenta alto grau de inovação ao investigar, de forma integrada, a relação entre DM, NPD e comprometimento musculoesquelético do ombro, temática ainda pouco explorada na literatura. Destacam-se como aspectos inovadores a investigação da associação da DM com desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, a análise do possível papel modulador da NPD nesses desfechos, a caracterização da manifestação da NPD nos MMSS e a utilização de um sistema de apoio à decisão baseado em lógica fuzzy para classificação da neuropatia. Os achados ampliam a compreensão fisiopatológica do acometimento musculoesquelético associado à DM e podem contribuir para futuras mudanças na abordagem clínica e no direcionamento de pesquisas na área.

Por fim, a tese apresenta elevada complexidade metodológica e conceitual, envolvendo integração entre diferentes áreas do conhecimento, incluindo fisioterapia musculoesquelética, neurologia, endocrinologia, biomecânica e epidemiologia clínica. Os estudos envolveram avaliação multidimensional de desfechos clínicos e funcionais, utilização de instrumentos validados e medidas objetivas, análises estatísticas ajustadas para potenciais fatores de confusão e aplicação de modelos estatísticos robustos. Além disso, a pesquisa está alinhada ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3 (Saúde e Bem-Estar) preconizado pela Organização das Nações Unidas ao contribuir para o aprimoramento do cuidado em saúde de pessoas com doenças crônicas, prevenção de incapacidade funcional e promoção da qualidade de vida.

Sumário

1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.1	Inserção na linha de pesquisa da orientadora e do programa.....	1
1.2	Estágio no exterior.....	2
1.3	Parcerias nacionais e internacionais.....	4
1.4	Originalidade	4
1.5	Contribuição dos resultados da pesquisa para o avanço científico	6
1.6	Relevância Social	7
1.7	Produção científica durante o doutorado	9
1.7.1	Artigos relacionados à tese a serem submetidos	9
1.7.2	Artigos publicados e aceitos para publicação relacionados aos estudos desenvolvidos no Laboratório de Análise e Intervenção do Complexo do Ombro	9
1.7.3	Outros artigos publicados.....	10
1.7.4	Apresentações de trabalhos em congressos.....	10
1.8	Outras atividades desenvolvidas no período	11
1.8.1	Palestras e aulas ministradas.....	11
1.8.2	Coorientações de alunos de iniciação científica	12
1.8.3	Participação em banca de trabalho de conclusão de curso da graduação	13
1.8.4	Avaliador de trabalhos em congressos.....	13
1.8.5	Atuações em conselhos, comissões e projetos de extensão.....	14
1.9	Link do currículo Lattes e ORCID	14
1.10	Descrição da tese para o público leigo	14
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3	OBJETIVOS GERAIS DA TESE	19
4	ESTUDO 1.....	20
	Resumo.....	21
4.1	Introdução	23
4.2	Métodos	26
4.2.1	<i>Desenho de estudo e participantes</i>	26
4.2.2	<i>Procedimentos</i>	27
4.2.3	<i>Análise Estatística</i>	36
4.3	Resultados	38
4.4	Discussão.....	43
4.5	Conclusão	47
5	ESTUDO 2.....	49

Resumo.....	50
5.1 Introdução	52
5.2 Métodos	54
5.2.1 <i>Desenho do Estudo e Participantes</i>	54
5.2.2 <i>Procedimentos</i>	56
5.2.3 <i>Análise Estatística</i>	62
5.3 Resultados	64
5.4 Discussão.....	70
5.5 Conclusão	73
6 ESTUDO 3.....	76
Resumo.....	77
6.1 Introdução	79
6.2 Métodos	81
6.2.1 <i>Desenho do Estudo e Participantes</i>	81
6.2.2 <i>Procedimentos</i>	82
6.2.3 <i>Análise Estatística</i>	87
6.3 Resultados	88
6.4 Discussão.....	92
6.5 Conclusão	96
7 CONCLUSÕES DA TESE DE DOUTORADO	97
8 REFERÊNCIAS	99
9 APÊNDICE	109
9.1 Apêndice 1	109

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Inserção na linha de pesquisa da orientadora e do programa

Minha trajetória acadêmica na Fisioterapia teve início na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), onde realizei a graduação entre 2013 e 2017. Ainda durante esse período, tive meu primeiro contato mais aprofundado com a pesquisa científica por meio da iniciação científica desenvolvida no Laboratório de Avaliação e Intervenção do Complexo do Ombro. Sob a orientação da Profa. Dra. Paula Rezende Camargo e coorientação da Profa. Dra. Dayana Patrícia Rosa (doutoranda na época), e com a colaboração internacional do Prof. Dr. John Borstad (Ohio State University, EUA, naquele período), participei de estudos na temática das alterações da região posterior do ombro, com enfoque no encurtamento da cápsula posterior. Essas experiências foram fundamentais para a construção do meu interesse pelo estudo do complexo do ombro e para a compreensão inicial do papel da pesquisa na prática clínica.

Após a conclusão da graduação, esse interesse se manteve e foi ampliado pela vivência clínica adquirida entre 2018 e 2019, durante o Programa de Aprimoramento Profissional em Fisioterapia, na área de Ortopedia e Traumatologia, realizado no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. O contato diário com pacientes e com diferentes demandas musculoesqueléticas contribuiu de forma significativa para o amadurecimento profissional e reforçou a percepção da necessidade de integrar a prática clínica ao conhecimento científico, especialmente no contexto da prática baseada em evidências.

Em 2020, dei continuidade à minha formação acadêmica ao ingressar no

Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da UFSCar, inicialmente no curso de mestrado, com posterior progressão para o doutorado direto, sob a orientação da Profa. Dra. Paula Rezende Camargo e coorientação da Profa. Dra. Isabel de Camargo Neves Sacco (docente da Universidade de São Paulo). Nesse período, a revisão mais aprofundada da literatura permitiu identificar lacunas importantes no entendimento das desordens musculoesqueléticas que acometem pessoas com diabetes mellitus (DM), incluindo aquelas relacionadas ao complexo do ombro. A partir dessa observação, o projeto de pesquisa desenvolvido passou a ter como foco a investigação das alterações no complexo do ombro em indivíduos que convivem com esta doença

1.2 Estágio no exterior

No período de 01/02/2024 a 31/01/2025, realizei um Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE), com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (2023/11825-2), junto ao grupo de pesquisa *Pain in Motion*, coordenado pelo Prof. Dr. Jo Nijs, na Vrije Universiteit Brussel (VUB), em Bruxelas, Bélgica.

Durante o período de intercâmbio, participei ativamente de discussões científicas com os membros do laboratório, acompanhei diferentes projetos de pesquisa em andamento, adquiri conhecimentos sobre novas abordagens de análise estatística, e aprofundei minha formação em aspectos teóricos e clínicos na temática da dor. Nesse período, também apresentei resultados parciais da pesquisa desenvolvida no Brasil em dois congressos internacionais, realizados em Valência (Espanha) e em Las Vegas (Estados Unidos).

Durante o estágio, desenvolvi um estudo cujo objetivo foi elaborar

recomendações internacionais e interdisciplinares para a identificação de diferentes fenótipos de dor em indivíduos com DM e dor musculoesquelética. Esse trabalho permitiu aprofundar minha compreensão sobre os critérios clínicos da dor neuropática e nociplástica, e sobre o processo de fenotipagem da dor descrito nos critérios da *International Association for the Study of Pain (IASP)*, adaptando e aplicando esses conceitos especificamente à população com DM e dor musculoesquelética. Também tive a oportunidade de interagir com especialistas renomados nas áreas de dor e DM, que participaram ativamente do estudo de consenso, fortalecendo minha rede de colaboração internacional e aprimorando minhas habilidades de comunicação científica e trabalho interdisciplinar. Este estudo continua em andamento, com previsão de finalização no primeiro semestre de 2026 e consequente submissão em revista científica internacional com fator de impacto.

Nesse mesmo período, participei de um estudo baseado em uma análise secundária de um ensaio clínico, cujo objetivo foi investigar a relação entre variáveis demográficas, clínicas e sensoriais, psicofísicas, psicológicas e relacionadas à qualidade de vida, visando compreender de forma mais abrangente os mecanismos psicobiológicos envolvidos na dor crônica na coluna vertebral. Este estudo se encontra em fase de preparação para submissão em revista científica internacional com fator de impacto.

Adicionalmente, colaborei em uma revisão sistemática cujo objetivo foi compilar evidências sobre os métodos utilizados para identificar a apneia obstrutiva do sono em indivíduos com dor musculoesquelética crônica, bem como caracterizar o perfil clínico desses pacientes. Esse estudo foi publicado em 2025 (Perea *et al.*, 2025).

Para além dos ganhos acadêmicos e científicos, o período no exterior

contribuiu significativamente para meu amadurecimento pessoal. A convivência com pessoas de diferentes culturas, a adaptação a novos costumes, clima e rotinas, bem como o enfrentamento da distância da família tornaram essa experiência desafiadora e enriquecedora. Sou profundamente grata pela oportunidade de ampliar meus horizontes para além do Brasil e pela companhia e apoio constante do meu esposo, Leonardo, ao longo dessa trajetória. Essa vivência fortaleceu minha resiliência e ampliou minha confiança e orgulho no potencial da ciência produzida em meu país.

1.3 Parcerias nacionais e internacionais

Atualmente, mantenho a colaboração internacional com o grupo *Pain in Motion*, coordenado pelo Prof. Dr. Jo Nijs, na Vrije Universiteit Brussel (VUB), em Bruxelas, Bélgica, voltada à continuidade e finalização de projetos desenvolvidos em parceria ao longo do doutorado (bolsa FAPESP 2023/11825-2).

Também colaboro em um projeto desenvolvido no *Laboratorio de Investigación Clínica en Kinesiología*, coordenado pela Profa. Dra. Fernanda Assis Paes Habechian Zamuner, na Universidad Católica del Maule, em Talca, Chile. O projeto tem como objetivo investigar a relação entre a espessura do tendão do músculo supraespinhal, os níveis de hemoglobina glicada (HbA1c) e o acúmulo de produtos finais de glicação avançada (AGEs) em pessoas com DM tipo 2 e dor no ombro. Essa parceria possibilita a troca de conhecimentos e a adoção de abordagens complementares para a compreensão das alterações musculoesqueléticas associadas à DM.

1.4 Originalidade

Revisões sistemáticas (Dyer *et al.*, 2021; Dyer *et al.*, 2023; Zreik *et al.*, 2016) e estudos longitudinais (Dyer *et al.*, 2025; Juel *et al.*, 2017) demonstram de forma consistente uma maior incidência de ombro congelado em pessoas com DM em

comparação àquelas sem a doença. No entanto, ainda são escassos os estudos que investigam, de forma abrangente, aspectos clinicamente relevantes e relacionados à funcionalidade do ombro, como movimento, força muscular e desempenho funcional, que possam estar comprometidos em pessoas com DM independentemente da presença de ombro congelado. Além disso, características que podem refletir maior gravidade da DM, como a presença de complicações crônicas, têm sido pouco exploradas como possíveis mediadoras das alterações musculoesqueléticas observadas no ombro dessa população. Entre essas complicações, a NPD destaca-se por sua alta prevalência e relevância clínica (Pop-Busui *et al.*, 2017; Savelieff *et al.*, 2025). Embora amplamente investigada, o rastreamento clínico e o diagnóstico da NPD concentram-se predominantemente nos membros inferiores (MMII), enquanto o envolvimento dos membros superiores (MMSS) permanece pouco descrito na literatura (Atmaca *et al.*, 2024). Essa lacuna é particularmente relevante, considerando o papel central dos MMSS na execução das atividades de vida diária, na manutenção da independência funcional e na participação social (Simon-Vicente *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, os estudos que compõem esta tese foram concebidos para abordar lacunas específicas e complementares da literatura, investigando tanto as alterações musculoesqueléticas do ombro associadas à DM e à NPD, quanto a possível manifestação da NPD nos MMSS. Especificamente, os estudos buscaram responder às seguintes perguntas de pesquisa: **Estudo 1:** Existe associação entre a presença de DM e desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro? **Estudo 2:** Indivíduos com DM e NPD apresentam pior dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro quando comparados a indivíduos com DM sem NPD e a controles sem DM? A severidade da NPD associa-se a esses desfechos do

ombro? **Estudo 3:** Como se caracteriza a manifestação da NPD nos MMSS de indivíduos com DM? Existe correlação entre a severidade da NPD nos MMII e a manifestação da NPD nos MMSS?

1.5 Contribuição dos resultados da pesquisa para o avanço científico

Os resultados desta pesquisa ampliam o conhecimento científico sobre o cuidado à pessoa com DM ao abordar o envolvimento do complexo do ombro e dos MMSS, trazendo implicações clínicas relevantes para a compreensão de possíveis complicações da doença. O estudo traz evidências sobre o impacto da DM e da NPD nos desfechos relacionados à dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, além de aprofundar a compreensão sobre possíveis manifestações da NPD nos MMSS dessa população, ainda pouco exploradas na literatura.

Os achados demonstram que a presença da DM está relacionada a deficiências no movimento do ombro, com destaque para a rotação medial, bem como ao comprometimento do desempenho funcional dessa região. Tais aspectos devem ser considerados nos processos de rastreio, avaliação clínica e planejamento do cuidado voltado à saúde do complexo do ombro em pessoas que convivem com DM. Nesse sentido, os resultados reforçam a necessidade de maior atenção clínica aos desfechos musculoesqueléticos, tradicionalmente subvalorizados no manejo da DM, especialmente no que se refere ao complexo do ombro.

Adicionalmente, a presença da NPD, uma complicação crônica da DM, parece exercer um impacto adicional sobre o complexo do ombro, sugerindo que indicadores de maior gravidade da doença ou de pior controle glicêmico, assim como fatores clínicos e comportamentais, incluindo a prática de exercícios físicos, podem atuar como mediadores dessa relação. Tais elementos devem, portanto, ser considerados

de forma integrada durante a avaliação clínica dessa população.

Por fim, os resultados fornecem evidências de que a NPD pode também acometer os MMSS, possivelmente acompanhando a severidade da NPD previamente estabelecida nos MMII. Esse achado destaca a lacuna existente nos protocolos atuais de avaliação e reforça a necessidade do desenvolvimento de instrumentos de rastreio mais específicos para os MMSS, bem como de estratégias futuras de prevenção e reabilitação direcionadas aos impactos funcionais decorrentes desses acometimentos.

1.6 Relevância Social

A DM constitui um importante problema de saúde pública, em função de sua elevada prevalência, caráter crônico e associação com complicações que podem comprometer a funcionalidade, a autonomia e a qualidade de vida das pessoas acometidas (Harding *et al.*, 2019; Magliano, 2021). Apesar dos avanços no manejo clínico da doença, a atenção à saúde nesta população ainda se concentra predominantemente no controle metabólico e nas complicações dos MMII, o que limita uma compreensão mais ampla dos impactos funcionais da DM no cotidiano dos indivíduos.

Os estudos que compõem esta tese respondem à necessidade social de ampliar o cuidado à pessoa com DM, ao direcionar a atenção para os MMSS, particularmente para o complexo do ombro e para as mãos. Esses segmentos corporais são essenciais para a realização das atividades de vida diária, para o desempenho ocupacional e para a participação social, de modo que alterações funcionais nessa região podem gerar perdas relevantes de independência, aumento da dependência de terceiros e maior demanda por serviços de saúde (de Klerk *et al.*,

2025; Simon-Vicente *et al.*, 2024).

A investigação da relação entre a presença da DM, da NPD e desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro fundamenta-se na falta de evidências consistentes sobre o acometimento funcional do ombro nesta população. Não compreender alterações funcionais do ombro que possam ter relação mais específica com a DM pode contribuir para o diagnóstico tardio de comprometimentos importantes e para a progressão de limitações que poderiam ser prevenidas ou minimizadas por intervenções precoces, especialmente no âmbito da atenção primária e da reabilitação.

Além disso, a inclusão da NPD como eixo central dos estudos reflete a relevância social de compreender os impactos funcionais dessa complicação para além dos MMII. Embora reconhecida como uma condição sistêmica e progressiva, a NPD ainda é predominantemente avaliada a partir de manifestações nos MMII (Feldman *et al.*, 2019; Savelieff *et al.*, 2025), o que pode resultar em manejo clínico incompleto e subestimação de comprometimentos funcionais nos MMSS.

Ao propor a caracterização da manifestação da NPD nos MMSS e sua relação com o comprometimento previamente estabelecido nos MMII, esta tese atende à necessidade de práticas assistenciais mais abrangentes e integradas. A ampliação dos processos de avaliação clínica favorece a identificação precoce de déficits sensitivo-motores e funcionais, contribuindo para o planejamento de estratégias de prevenção e reabilitação mais eficazes e centradas na funcionalidade.

Dessa forma, os objetivos que orientam os estudos desta tese apresentam forte relevância social e clínica ao subsidiar o aprimoramento do cuidado integral à pessoa com DM. Ao enfatizar a funcionalidade dos MMSS e suas repercussões na vida diária, o trabalho contribui para práticas assistenciais mais sensíveis às

demandas reais dessa população, com potencial para reduzir incapacidades, promover autonomia e melhorar a qualidade de vida.

1.7 Produção científica durante o doutorado

1.7.1 Artigos relacionados à tese a serem submetidos

1. **Ferreira JK**, Nardini LB, Sacco ICN, Camargo PR. The Impact of Diabetes Mellitus on Shoulder Pain, Motion and Functional Performance: A Cross-Sectional Study.
2. **Ferreira JK**, Balbino MSB, Nery A, Nardini LB, Sacco ICN, Camargo PR. Musculoskeletal Shoulder Impairments in Diabetes Mellitus: The Role of Diabetic Peripheral Neuropathy.
3. **Ferreira JK**, Sacco ICN, Balbino MSB, Camargo PR. Upper Limb Involvement in Diabetic Peripheral Neuropathy: Clinical Signs, Symptoms, and Association with Neuropathy Severity.

1.7.2 Artigos publicados e aceitos para publicação relacionados aos estudos desenvolvidos no Laboratório de Análise e Intervenção do Complexo do Ombro

1. Rosa DP, Borstad JD, **Ferreira JK**, Camargo PR. The Influence of Glenohumeral Joint Posterior Capsule Tightness and Impingement Symptoms on Shoulder Impairments and Kinematics. *Phys Ther.* 2019 Jul 1;99(7):870-881. doi: 10.1093/ptj/pzz052. PMID: 30921461. (Fator de impacto: 3,3).
2. Rosa DP, Borstad JD, **Ferreira JK**, Gava V, Santos RV, Camargo PR. Comparison of specific and non-specific treatment approaches for individuals with posterior capsule tightness and shoulder impingement symptoms: A randomized controlled trial. *Braz J Phys Ther.* 2021 Sep-Oct;25(5):648-658. doi: 10.1016/j.bjpt.2021.04.003. Epub 2021 May 4. PMID: 34001426; PMCID:

PMC8536855. (Fator de impacto: 3,2).

3. Machado EM, Haik MN, **Ferreira JK**, da Silva Santos JF, Camargo PR, Mendonça LM. Association of trunk and lower limb factors with shoulder complaints and sport performance in overhead athletes: A systematic review including GRADE recommendations and meta-analysis. *Phys Ther Sport*. 2023 Mar;60:112-131. doi: 10.1016/j.ptsp.2023.01.012. Epub 2023 Feb 2. PMID: 36791672. (Fator de impacto: 2,4).
4. Gava V, Kamonseki DH, **Ferreira JK**, Camargo PR. Translation, cross-cultural adaptation, and measurement properties of the self-efficacy for home exercise programs scale to Brazilian Portuguese. *Braz J Phys Ther*. 2026 Mar-Apr;30(2):101566. doi: 10.1016/j.bjpt.2025.101566. Epub 2026 Feb 16. PMID: 41702117; PMCID: PMC12925538. (Fator de impacto: 3,2).
5. Nardini LB, **Ferreira JK**, Nijs J, Sacco ICN, Camargo PR. Beyond Neuropathy: The Mechanisms and Phenotypes of Diabetes-Related Musculoskeletal Pain. *J Clin Med*. 2026 Mar 31;15(7):2639. doi: 10.3390/jcm15072639. PMID: 41976940; PMCID: PMC13073196. (Fator de impacto: 2,9).

1.7.3 Outros artigos publicados

1. Perea J, **Kortstee J**, Goossens Z, Runge N, Labie C, Nijs J, De Baets L. Identifying comorbid obstructive sleep apnea in chronic musculoskeletal pain: A systematic review. *J Pain*. 2025 May;30:105351. doi: 10.1016/j.jpain.2025.105351. Epub 2025 Feb 25. PMID: 40015580. (Fator de impacto: 4,0).

1.7.4 Apresentações de trabalhos em congressos

1. **Ferreira JK**, Haik MN, Ribeiro LP, Ferreira JP, Sacco ICN, Salvini TF, Camargo

PR. Prevalência da dor no ombro em pessoas com diabetes mellitus: uma revisão sistemática da literatura. IV COBRAFITO. 2023. Aracaju – SE. Brasil.

2. **Ferreira JK**, Balbino MSB, Nardini LB, Sacco ICN, Camargo PR. Assessment of hand function in people with diabetes and its relation with peripheral neuropathy. VI Congreso de Fisioterapia y Dolor. 2024. Valência, Espanha.
3. **Ferreira JK**, Balbino MSB, Nardini LB, Sacco ICN, Camargo PR. Is diabetic peripheral neuropathy in the upper extremity related to its manifestation in the lower extremity? Pain Science in Motion Congress V. 2024. Las Vegas, EUA. (Prêmio - melhor apresentação de pôster).
4. **Ferreira JK**, Balbino MSB, Nardini LB, Sacco ICN, Camargo PR. Upper limbs manifestations of diabetic peripheral neuropathy in individuals with and without lower limbs neuropathy. World Physiotherapy Congress 2025. 2025. Tóquio, Japão.

1.8 Outras atividades desenvolvidas no período

1.8.1 Palestras e aulas ministradas

1. Avaliação fisioterapêutica no Rugby - um olhar para o complexo do ombro. Palestra ministrada na III Jornada de Fisioterapia Esportiva do Centro Universitário Sudoeste Paulista - Campus Itapetininga, 2021.
2. Função e principais disfunções biomecânicas do complexo do ombro, cotovelo, punho e mão, e da coluna vertebral. Aula ministrada para o Programa de Residência Multiprofissional em Saúde da Santa Casa de São Carlos, 2022.
3. Função e principais disfunções biomecânicas do complexo tornozelo e pé, joelho, e cintura pélvica. Aula ministrada para o Programa de Residência Multiprofissional em Saúde da Santa Casa de São Carlos, 2022.

4. Função e principais disfunções biomecânicas do complexo do ombro, cotovelo, punho e mão, e da coluna vertebral. Aula ministrada para o Programa de Residência Multiprofissional em Saúde da Santa Casa de São Carlos, 2023.
5. Função e principais disfunções biomecânicas do complexo tornozelo e pé, joelho, e cintura pélvica. Aula ministrada para o Programa de Residência Multiprofissional em Saúde da Santa Casa de São Carlos, 2023.

1.8.2 Coorientações de alunos de iniciação científica

- 1 Aluna: Lívia Bernardi Nardini.

Projeto: Avaliação fisioterapêutica do complexo do ombro em pacientes com Diabetes Mellitus. 2022. (Graduação em Fisioterapia) – Universidade Federal de São Carlos. Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Orientadora: Profa. Dra. Paula Rezende Camargo

- 2 Aluna: Milena Stephanie Bezerra Balbino.

Projeto: Neuropatia Periférica Diabética – caracterização dos sinais e sintomas nos membros superiores e implicações para a fisioterapia. 2022. (Graduação em Fisioterapia) – Universidade Federal de São Carlos. Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2022).

Orientadora: Profa. Dra. Paula Rezende Camargo

- 3 Aluno: Daniel Oishi Mariano.

Projeto: Avaliação sensorial, motora e da função dos membros superiores e inferiores em indivíduos com Diabetes Mellitus. 2024. (Graduação em Fisioterapia) – Universidade Federal de São Carlos. Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Rezende Camargo

- 4 Aluna: Luísa de Paula Castanheira.

Projeto: Percepções de indivíduos com Diabetes Mellitus sobre as alterações sensoriais, motoras e funcionais nos membros superiores: um estudo qualitativo. 2024. (Graduação em Fisioterapia) – Universidade Federal de São Carlos. Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Rezende Camargo

5 Aluna: Marianna Malaquias de Albuquerque.

Projeto: Fatores biopsicossociais e dor persistente no ombro: uma abordagem transcultural Brasil–Canadá. 2025. (Graduação em Fisioterapia) – Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Rezende Camargo

1.8.3 Participação em banca de trabalho de conclusão de curso da graduação

1. **Ferreira JK**, Gava V, Salvini TF. Participação em banca de Gabriel Mattos Ferretti.

O efeito da compressão por ataduras elásticas na dor e função em indivíduos com osteoartrite de joelho - ensaio clínico controlado randomizado. 2022. Graduação em Fisioterapia - Universidade Federal de São Carlos.

2. **Ferreira JK**, Gaban GLNA, Camargo PR. Participação em banca de Thainá Padovani dos Santos. Caracterização dos perfis pro- e antinociceptivos de pessoas com dor no ombro. 2025. Graduação em Fisioterapia - Universidade Federal de São Carlos.

1.8.4 Avaliador de trabalhos em congressos

1. **Ferreira JK**. XXVIII Simpósio de Fisioterapia da UFSCar. 2022. Universidade Federal de São Carlos.

2. **Ferreira JK**. XXIX Simpósio de Fisioterapia da UFSCar. 2023. Universidade Federal de São Carlos.

3. **Ferreira JK.** I Fórum Discente da Associação Brasileira de Pós-graduação - Fisioterapia (ABRAPG-Ft). 2023. Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação em Fisioterapia.
4. **Ferreira JK.** Congresso de Fisioterapia e Terapia Ocupacional do Estado de São Paulo, 2024 (CONFITOSP-24). 2024. Conselho Regional de Fisioterapia e Terapia Ocupacional da 3ª Região.
5. **Ferreira JK.** Congresso de Fisioterapia e Terapia Ocupacional do Estado de São Paulo, 2025 (CONFITOSP-25). 2025. Conselho Regional de Fisioterapia e Terapia Ocupacional da 3ª Região.

1.8.5 Atuações em conselhos, comissões e projetos de extensão

1. Atuação como representante discente da pós-graduação, junto ao conselho de Pós-graduação em Fisioterapia da UFSCar. 2020-2021.
2. Participação como membro integrante da comissão de Relações Públicas da gestão do XXVII Simpósio de Fisioterapia da UFSCar. 2020-2021.
3. Participação como membro integrante do projeto de extensão “MovimentAÇÃO”, do curso de graduação em Fisioterapia da UFSCar. 2020-2021.

1.9 Link do currículo Lattes e ORCID

Para maiores informações, podem ser consultados o link do currículo Lattes (<http://lattes.cnpq.br/8361562444193662>) e do ORCID (<https://orcid.org/0000-0003-2348-1372>)

1.10 Descrição da tese para o público leigo

Esta tese estudou como o DM pode afetar os ombros, braços e mãos das pessoas, especialmente quando há problemas nos nervos causados pela doença. Os

resultados mostraram que pessoas com DM tendem a ter mais dificuldade para movimentar o ombro, mais dor e menos força para usar os braços no dia a dia. Também foi observado que quem tem problemas nos nervos nas pernas pode apresentar perda de sensibilidade e menos força nas mãos, e mais dificuldade para realizar tarefas manuais simples. Esses achados mostram que cuidar dos ombros, braços e mãos é importante para ajudar pessoas com DM a manterem sua autonomia e qualidade de vida.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A DM é uma doença crônica bastante prevalente, reconhecida pelo seu impacto sistêmico e pelas importantes repercussões clínicas, funcionais e socioeconômicas que impõe aos indivíduos e aos sistemas de saúde (Harding *et al.*, 2019; Magliano, 2021). Embora as complicações micro e macrovasculares sejam amplamente descritas na literatura, tem-se observado, de forma crescente, que alterações do sistema musculoesquelético também são frequentes em pessoas com DM, contribuindo para quadros de dor persistente, limitação funcional e redução da qualidade de vida (Kaka *et al.*, 2019; Liaghat *et al.*, 2023).

Entre as diferentes regiões corporais, o complexo do ombro é comumente apontado como uma das áreas mais acometidas nessa população (Alabdali *et al.*, 2021; Kaka *et al.*, 2019). Diversas condições clínicas do ombro parecem ser frequentes nessa população, incluindo ombro congelado, lesões do manguito rotador e quadros de dor e limitação funcional não específicos (Aydeniz *et al.*, 2008; Dyer *et al.*, 2023; Fuentes-Murguía *et al.*, 2024). Dentre essas condições, o ombro congelado se destaca por ser expressivamente mais prevalente entre pessoas com DM do que na população geral, o que sugere uma relação entre alterações metabólicas crônicas

associadas à doença e o comprometimento dessa articulação (Kelley *et al.*, 2013; Zreik *et al.*, 2016).

Do ponto de vista funcional, estudos têm demonstrado que indivíduos com DM tendem a relatar maior intensidade de dor e maiores níveis de incapacidade no ombro quando comparados a indivíduos sem a doença (Czelusniak *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2015a; Shah *et al.*, 2015b; Shah *et al.*, 2015c). Esses prejuízos funcionais podem se traduzir em dificuldades para a realização de atividades de vida diária, além de impactos negativos no sono, participação social e desempenho laboral (Page *et al.*, 2019). Conjuntamente, alterações como redução da amplitude de movimento (ADM) e diminuição da força muscular do ombro também são frequentemente descritas em pessoas com DM, reforçando o potencial impacto funcional dessas alterações (Cole *et al.*, 2009; Siu *et al.*, 2013; Sorensen *et al.*, 2017).

Apesar destas alterações já reportadas na literatura, o real impacto da DM sobre desfechos relacionados à dor e à capacidades funcionais do ombro permanece pouco claro e, muitas vezes, heterogêneo. Estudos observacionais disponíveis na literatura apresentam limitações metodológicas importantes, como ausência de pareamento adequado entre grupos, especialmente quanto à presença de dor, e controle insuficiente de fatores de confusão relevantes, incluindo hábitos de saúde associados à atividade física e composição corporal (Shah *et al.*, 2015b; Sorensen *et al.*, 2017). Além disso, análises ajustadas têm demonstrado redução ou mesmo perda da significância das associações inicialmente observadas, o que sugere que o comprometimento do ombro pode resultar da interação entre múltiplos fatores clínicos, demográficos e comportamentais, e não apenas da presença isolada da DM (Cole *et al.*, 2009).

Nesse contexto, torna-se evidente que as alterações observadas no ombro de

indivíduos com DM dificilmente podem ser atribuídas a um único fator. Ao contrário, parecem refletir a interação entre alterações metabólicas, características clínicas individuais e processos sistêmicos relacionados à progressão da doença (Cole *et al.*, 2009; Struyf *et al.*, 2022). Essa complexidade reforça a necessidade de compreender os mecanismos fisiopatológicos subjacentes ao acometimento musculoesquelético nessa população, indo além da caracterização descritiva das alterações observadas.

Do ponto de vista fisiopatológico, diferentes mecanismos têm sido propostos para explicar o maior acometimento musculoesquelético em pessoas com DM. Entre eles, destaca-se o acúmulo de produtos finais de glicação avançada (*advanced glycation end-products* – AGEs), decorrente da hiperglicemia crônica. Esses produtos promovem alterações estruturais nos tecidos conjuntivos, incluindo aumento da rigidez, redução da elasticidade e maior suscetibilidade a processos degenerativos (Gautieri *et al.*, 2017; Kamml *et al.*, 2023; Reddy, 2004). Tais alterações podem afetar tanto a cápsula articular quanto os tendões do manguito rotador, contribuindo para dor, restrição de movimento e disfunção do ombro (Shinohara *et al.*, 2022). Ademais, os AGEs estão intimamente relacionados ao desenvolvimento de complicações microvasculares e neurológicas da DM (Papachristou *et al.*, 2021; Rhee *et al.*, 2018).

Outras evidências longitudinais sugerem que indicadores de maior gravidade da doença, como pior controle glicêmico, maior tempo desde o diagnóstico e presença de complicações microvasculares, estão associados à progressão de sintomas dolorosos e à piora funcional do ombro (Laslett *et al.*, 2008). Esses achados reforçam a hipótese de que o comprometimento musculoesquelético possa refletir, ao menos em parte, a carga sistêmica da doença ao longo do tempo.

Nesse contexto, a NPD surge como uma complicação potencialmente relevante para a compreensão dos desfechos musculoesqueléticos. Trata-se de uma das

complicações mais prevalentes da doença, caracterizada, em geral, por um acometimento sensório-motor simétrico e dependente do comprimento das fibras nervosas, com envolvimento inicial dos segmentos distais dos membros (Feldman *et al.*, 2019; Savelieff *et al.*, 2025). Embora tradicionalmente investigada nos MMII, evidências crescentes indicam que manifestações sensoriais e motoras também ocorrem nos MMSS, incluindo redução da força de preensão, alterações de destreza manual e maior incidência de síndromes compressivas (Ochoa *et al.*, 2014; Oh *et al.*, 2019; Rydberg *et al.*, 2020).

Apesar dessas observações, a expressão clínica da NPD nos MMSS ainda permanece pouco caracterizada (Atmaca *et al.*, 2024). Considerando a natureza comprimento-dependente da NPD, levanta-se a hipótese de que o comprometimento dos MMSS possa ocorrer de forma concomitante ao acometimento dos MMII (Watson *et al.*, 2015). Alguns estudos que exploraram essa relação identificaram associações entre dor, força e mobilidade dos MMSS e MMII em indivíduos com DM e NPD (Hastings *et al.*, 2020). No entanto, limitações metodológicas, como a ausência de grupos comparativos sem NPD, restringem inferências causais mais robustas.

Dessa forma, embora exista evidência consistente de maior acometimento do ombro em pessoas com DM quando comparadas à população geral, importantes lacunas permanecem. Ainda não está claramente estabelecido se a DM está associada, de forma independente, a piores desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro quando considerados fatores de confusão relevantes, como idade, índice de massa corporal (IMC) e nível de exercício físico. Adicionalmente, o papel específico da NPD como possível mediadora ou moduladora desses desfechos, bem como a caracterização sistemática de sua manifestação nos MMSS, continuam pouco explorados na literatura. Do ponto de vista clínico, essas

lacunas dificultam o rastreio e a avaliação direcionada do complexo do ombro e dos MMSS, limitando a individualização das intervenções e a definição de estratégias preventivas e terapêuticas mais eficazes para as pessoas com DM.

3 OBJETIVOS GERAIS DA TESE

- 1)** Verificar se existe associação entre a presença da DM e piores desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro;
- 2)** Comparar desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro entre pessoas com DM com e sem NPD, e indivíduos controle sem DM, e verificar a associação entre a severidade da NPD e piores desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro em pessoas com DM;
- 3)** Caracterizar a manifestação da NPD nos MMSS de pessoas com DM e verificar se existe correlação entre a severidade da NPD nos MMII e a manifestação da NPD nos MMSS.

4 ESTUDO 1

O impacto da diabetes mellitus em desfechos de dor, movimento e desempenho funcional do ombro: um estudo transversal

Julia Kortstee Ferreira¹, Lívia Bernardi Nardini¹, Isabel de Camargo Neves Sacco²,
Paula Rezende Camargo¹

¹ Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.

² Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.

Situação editorial em 08 de maio de 2026 - O artigo será submetido para publicação em periódico internacional de impacto na área.

A revista científica à qual este artigo será submetido será informada de que o mesmo compõe esta tese, a qual estará depositada no Repositório Institucional (RI) da UFSCar.

Todos os coautores deste artigo permitiram a utilização do trabalho completo a ser submetido para publicação no âmbito desta tese.

Resumo

Introdução: A DM é uma doença metabólica crônica que pode levar a complicações sensoriais e musculoesqueléticas, com frequente acometimento do complexo do ombro. No entanto, ainda são escassos os estudos que investigaram a associação entre a DM e desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro.

Objetivo: Investigar a associação entre a presença de DM e desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, ajustando para idade, IMC e nível de exercício físico.

Delineamento: Estudo transversal. **Métodos:** Foram incluídos 112 participantes, com idade mediana de 52 anos [43 – 59], sendo 75 indivíduos com DM e 37 controles sem a doença.

A dor e incapacidade do ombro foram avaliadas pelo SPADI; a ADM ativa e passiva da flexão, rotação medial e lateral do ombro por meio de um inclinômetro digital; a força dos flexores, rotadores mediais e laterais, e serrátil anterior por um dinamômetro manual; e o desempenho funcional pelo TFAST.

Modelos de regressão linear múltipla foram ajustados considerando a DM como variável independente principal e idade, IMC e nível de exercício físico como covariáveis.

Resultados: Após os ajustes, a DM esteve associada à menor ADM ativa ($\beta = -10,98$; IC95%: $-18,34$ a $-2,87$; $p = 0,006$) e passiva ($\beta = -8,10$; IC95%: $-15,00$ a $-0,76$; $p = 0,031$) de rotação medial do ombro, bem como ao pior desempenho funcional no TFAST ($\beta = -12,78$; IC95%: $-23,43$ a $-2,48$; $p = 0,012$).

Não foram observadas associações significativas com os demais desfechos.

Conclusão: A DM tem um impacto negativo na rotação medial e no desempenho funcional do ombro, independentemente da idade, IMC e nível de exercício físico.

Esses achados reforçam a relevância da DM como um fator associado ao comprometimento funcional do ombro e destacam a importância de avaliações precoces e de estudos longitudinais para melhor compreensão da progressão dessas

alterações musculoesqueléticas.

Palavras-chave: complicações da diabetes, doenças metabólicas, doenças musculoesqueléticas, dor, extremidade superior, ombro.

4.1 Introdução

A DM é uma doença metabólica crônica que representa um importante e crescente problema de saúde pública, apresentando índices epidêmicos em todo o mundo (Harding *et al.*, 2019; Magliano, 2021). A DM pode levar progressivamente ao desenvolvimento de diversas complicações clínicas crônicas, incluindo distúrbios do sistema nervoso e alterações micro- e macrovasculares, que tendem a progredir para danos e disfunções em diversos órgãos e sistemas (Harding *et al.*, 2019). As manifestações musculoesqueléticas também são frequentemente observadas em pessoas com DM, representando uma importante, porém por vezes subestimada, dimensão da doença (Kaka *et al.*, 2019; Sacco *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o complexo do ombro destaca-se como uma das regiões mais frequentemente acometidas em indivíduos com DM (Alabdali *et al.*, 2021; Kaka *et al.*, 2019). A dor no ombro pode contribuir para limitações funcionais nas atividades de vida diária, prejuízos no sono, incapacidade para o trabalho, maior utilização de serviços de saúde e conseqüente redução da qualidade de vida (Page *et al.*, 2019). Entre as condições mais frequentemente descritas nessa população, destaca-se o ombro congelado, ou capsulite adesiva, caracterizado por dor e restrição progressiva da ADM do ombro. Enquanto sua prevalência na população geral varia entre 2% e 5,3% (Kelley *et al.*, 2013) em pessoas com DM esse índice é substancialmente maior, variando de 4,4% a 29,6% (Zreik *et al.*, 2016).

Apesar da elevada prevalência do ombro congelado em indivíduos com DM estar bem documentada, estudos que investigam de forma mais abrangente outras alterações relacionadas à dor e às capacidades funcionais do ombro nessa população ainda são relativamente escassos. Shah e colaboradores (Shah *et al.*, 2015b) observaram que 63% de uma amostra de 236 indivíduos com DM apresentavam dor

e incapacidade no ombro, avaliadas por meio do questionário SPADI. Outros estudos também relataram altos níveis de dor e incapacidade do ombro em pessoas com DM utilizando instrumentos como o Modified University of California at Los Angeles Shoulder Rating Scale (UCLA-m) (Czelusniak *et al.*, 2012) e o Disability of Arm, Shoulder and Hand (DASH) (Shah *et al.*, 2015a; Shah *et al.*, 2015c).

Além disso, evidências indicam que indivíduos com DM apresentam menor ADM do ombro, incluindo flexão (Cole *et al.*, 2009; Shah *et al.*, 2015a; Shah *et al.*, 2015b; Siu *et al.*, 2013; Sorensen *et al.*, 2017), abdução (Cole *et al.*, 2009; Shah *et al.*, 2015b; Siu *et al.*, 2013), e rotações medial (Siu *et al.*, 2013) e lateral (Cole *et al.*, 2009; Shah *et al.*, 2015a; Shah *et al.*, 2015b; Shah *et al.*, 2015c; Siu *et al.*, 2013) quando comparados àqueles sem a doença. Reduções na força muscular dos flexores (Shah *et al.*, 2015a; Shah *et al.*, 2015b; Sorensen *et al.*, 2017) e rotadores mediais (Shah *et al.*, 2015b) e laterais (Shah *et al.*, 2015b) do ombro também têm sido relatadas nessa população, sugerindo um comprometimento funcional mais amplo que pode impactar diretamente a realização de atividades de vida diária.

Embora esses estudos indiquem maior comprometimento do ombro em indivíduos com DM, importantes limitações metodológicas devem ser consideradas. Em alguns casos, os grupos com e sem DM não foram adequadamente pareados quanto à presença ou intensidade da dor no ombro, resultando em grupos controle sem queixas significativas, enquanto uma parcela substancial dos participantes com DM apresentava sintomas dolorosos (Shah *et al.*, 2015a; Shah *et al.*, 2015b; Shah *et al.*, 2015c; Sorensen *et al.*, 2017). Em outro estudo, ao ajustar as análises para idade, sexo, obesidade e hábito de fumar, as associações inicialmente observadas entre dor e rigidez no ombro e a presença de DM deixaram de ser significativas (Cole *et al.*, 2009). Esses achados ressaltam a importância do pareamento adequado e do

controle estatístico de potenciais fatores de confusão para uma interpretação mais precisa do efeito independente da DM sobre os desfechos relacionados ao ombro.

Além desses fatores, a prática de exercício físico emerge como uma variável particularmente relevante a ser considerada nesse contexto. A prática regular de exercício físico está relacionada ao melhor controle glicêmico, menor severidade da doença e menor risco de complicações crônicas em indivíduos com DM (Rietz *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2021). Paralelamente, o exercício físico influencia diretamente desfechos musculoesqueléticos, podendo contribuir para menores níveis de dor e incapacidade, assim como ajudar a preservar a funcionalidade (De la Corte-Rodriguez *et al.*, 2024; Hamed Hamed *et al.*, 2023). Assim, o nível de exercício físico pode atuar como um importante fator de confusão na relação entre DM e os desfechos relacionados ao ombro, tornando sua consideração essencial em análises que buscam compreender essa relação de forma mais precisa.

Considerando que a dor, o movimento e o desempenho funcional do ombro são desfechos clínicos relevantes, responsivos à intervenção terapêutica e fortemente associados às atividades diárias e à qualidade de vida, torna-se fundamental esclarecer se a DM afeta esses desfechos relacionados ao ombro, independentemente de potenciais fatores de confusão. Diante da alta prevalência da DM e do fato de que disfunções do ombro podem representar uma fonte ainda subestimada de incapacidade nessa população, os achados deste estudo têm potencial para preencher uma lacuna importante, contribuindo para o aprimoramento do rastreio, da prevenção e do manejo clínico da incapacidade do ombro em pessoas com DM. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar o impacto da DM em desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, por meio de análises ajustadas para idade, IMC e nível de exercício físico.

4.2 Métodos

4.2.1 Desenho de estudo e participantes

Trata-se de um estudo transversal, que seguiu as diretrizes do STROBE e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos (52273521.8.0000.5504). O estudo foi realizado no Laboratório de Avaliação e Intervenção do Complexo do Ombro, localizado no Departamento de Fisioterapia, na Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil. O recrutamento dos participantes aconteceu no período de julho de 2022 a novembro de 2025, por meio da divulgação do estudo pela coordenação de comunicação social da universidade, mídias sociais, panfletos distribuídos na comunidade e também por meio de contatos profissionais dos pesquisadores responsáveis pelo estudo.

Indivíduos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 65 anos, que apresentassem ou não queixas de dor no ombro foram elegíveis para participar. Um total de 112 indivíduos, 75 com DM e 37 controles, participaram deste estudo. Todos os indivíduos receberam explicação verbal e escrita sobre o estudo e assinaram um termo de consentimento antes de participarem.

A presença e ausência da DM foram confirmadas pela história clínica dos participantes, e para a confirmação da doença foram considerados exames sanguíneos prévios de dosagem da Hemoglobina Glicada (HbA1c), onde a presença da DM é considerada pela HbA1c $\geq 6,5\%$ (ElSayed *et al.*, 2023).

Indivíduos que relatassem neuropatias de origem não diabética, pré-diabetes, hipotireoidismo, doenças osteomioarticulares (artrite reumatoide, artrose), histórico de fraturas e cirurgias ortopédicas nos MMSS, amputação em membro superior, reprodução de dor no ombro que irradia para todo o membro superior indicando acometimento primário na cervical ou na torácica, tratamento fisioterapêutico prévio

para o ombro nos últimos 6 meses, injeção de corticosteroides locais na articulação do ombro nas últimas 6 semanas antes da avaliação, e uso de medicações que alteram a força muscular esquelética (reposição de testosterona e hormônios do crescimento GH e IGF-1) não foram incluídos no estudo. Além disso, indivíduos com DM que relatassem início dos sintomas de dor no ombro antes do diagnóstico da DM também não foram incluídos.

O tamanho amostral foi estimado a priori usando o G*Power (versão 3.1.9.7) (Faul *et al.*, 2007), assumindo um modelo de regressão linear múltipla com efeitos fixos (teste F para desvio do R^2 em relação a zero), um tamanho de efeito moderado ($f^2 = 0,15$), um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e um poder de 80% ($1-\beta = 0,80$). O tamanho da amostra resultante foi de 98 participantes. A premissa de ter um mínimo de 10 participantes por preditor independente (Green, 1991) (seis no total) em qualquer modelo de regressão linear múltipla foi cumprida dentro do tamanho da amostra calculado ($n = 98$). Incluímos no modelo seis preditores, o que resultaria em um mínimo de 60 indivíduos: um preditor principal (presença de DM), três covariáveis (idade, IMC e nível de exercício físico) e termos adicionais para a modelagem não linear de idade e IMC por meio de splines.

4.2.2 Procedimentos

Um fisioterapeuta treinado e capacitado, com experiência clínica de mais de 5 anos, realizou as avaliações. Todos os participantes tiveram sua idade, sexo, IMC, nível de exercício físico, dominância, história familiar de DM, relatos sobre a presença ou ausência de dor no ombro, e lado afetado registrados. Para os participantes com DM, também foram registradas informações relacionadas à doença, como tempo de doença, tipo da DM, uso de medicamentos e insulina, controle glicêmico recente, relato de complicações relacionadas à DM (retinopatia e nefropatia), e foi realizada

uma avaliação física para verificar a presença da NPD nos MMII (Watari *et al.*, 2014). Todos responderam a um questionário para avaliar a dor e incapacidade do ombro, e passaram por uma avaliação física para verificar a ADM, a força muscular e o desempenho funcional do ombro.

Nível de Exercício Físico

Os participantes foram classificados como fisicamente ativos ou sedentários com base nas recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) de 2020 (Bull *et al.*, 2020). Desta forma, os participantes que relataram realizar exercícios físicos com duração ≥ 150 minutos por semana foram considerados fisicamente ativos, e os que não atingiam este parâmetro foram considerados sedentários.

Dor e Incapacidade do Ombro

A versão brasileira do questionário SPADI (Martins *et al.*, 2010) foi utilizada para avaliar a dor e incapacidade do ombro. O questionário é composto por 13 itens, distribuídos no domínio dor (cinco itens) e domínio incapacidade (oito itens), sendo cada item pontuado em uma escala numérica de 0 a 10 pontos. As pontuações, tanto total quanto por domínio, são convertidas em valores percentuais que variam de 0 a 100, sendo que escores mais elevados refletem maior intensidade de dor e maior grau de incapacidade. O SPADI apresenta elevada confiabilidade e consistência interna (ICC = 0,94; α de Cronbach = 0,89) (Martins *et al.*, 2010).

ADM ativa e passiva do ombro

A ADM do ombro foi avaliada de forma ativa e passiva para os movimentos de flexão, rotação medial, e rotação lateral, por meio de um inclinômetro digital (*Acumar*

™, *Lafayette Instrument Company, Lafayette, IN*), com acurácia de 1°. O ombro avaliado foi aquele com alguma queixa atual; na ausência de queixas, avaliou-se o ombro dominante.

Flexão (Figura 1A e B): Para a flexão ativa, os participantes permaneceram sentados (Kolber *et al.*, 2012; Sabari *et al.*, 1998; Shah *et al.*, 2015b). Para padronização do movimento de flexão do ombro no plano escapular, uma fita foi posicionada no chão formando um ângulo de 45° em relação ao plano sagital. O inclinômetro foi posicionado no úmero distal, e os participantes foram instruídos a flexionar ativamente o ombro no plano escapular até sua ADM máxima, evitando movimentos compensatórios. Para a flexão passiva, os participantes foram posicionados em decúbito dorsal (Sabari *et al.*, 1998; Shah *et al.*, 2015b) e instruídos a manter o membro totalmente relaxado enquanto o avaliador flexionava passivamente o ombro até a ADM máxima. As medições foram registradas com o inclinômetro posicionado no úmero distal.

Rotação medial (Figura 1C): Os participantes foram posicionados em decúbito dorsal com o ombro em 90° de abdução e o cotovelo em 90° de flexão (Cools *et al.*, 2014; Kolber *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2015b). O inclinômetro foi colocado na face dorsal distal do antebraço. Durante a avaliação ativa, os participantes realizaram ativamente a rotação medial do ombro até a sua ADM máxima. Para a avaliação passiva, os participantes permaneceram relaxados enquanto o avaliador movia passivamente o ombro até a ADM máxima disponível, que foi então registrada. As compensações escapulares foram monitorizadas continuamente e evitadas em ambas as condições.

Rotação lateral (Figura 1D): Os participantes foram posicionados em decúbito dorsal, com o ombro em 90° de abdução e o cotovelo em 90° de flexão (Cools *et al.*,

2014; Kolber *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2015b). O inclinômetro foi colocado na face ventral distal do antebraço. Durante a avaliação ativa, os participantes realizaram ativamente a rotação lateral do ombro até a sua ADM máxima. Para a avaliação passiva, os participantes permaneceram relaxados enquanto o avaliador movia passivamente o ombro até a ADM máxima disponível, que foi então registrada. As compensações escapulares foram monitorizadas continuamente e evitadas em ambas as condições.

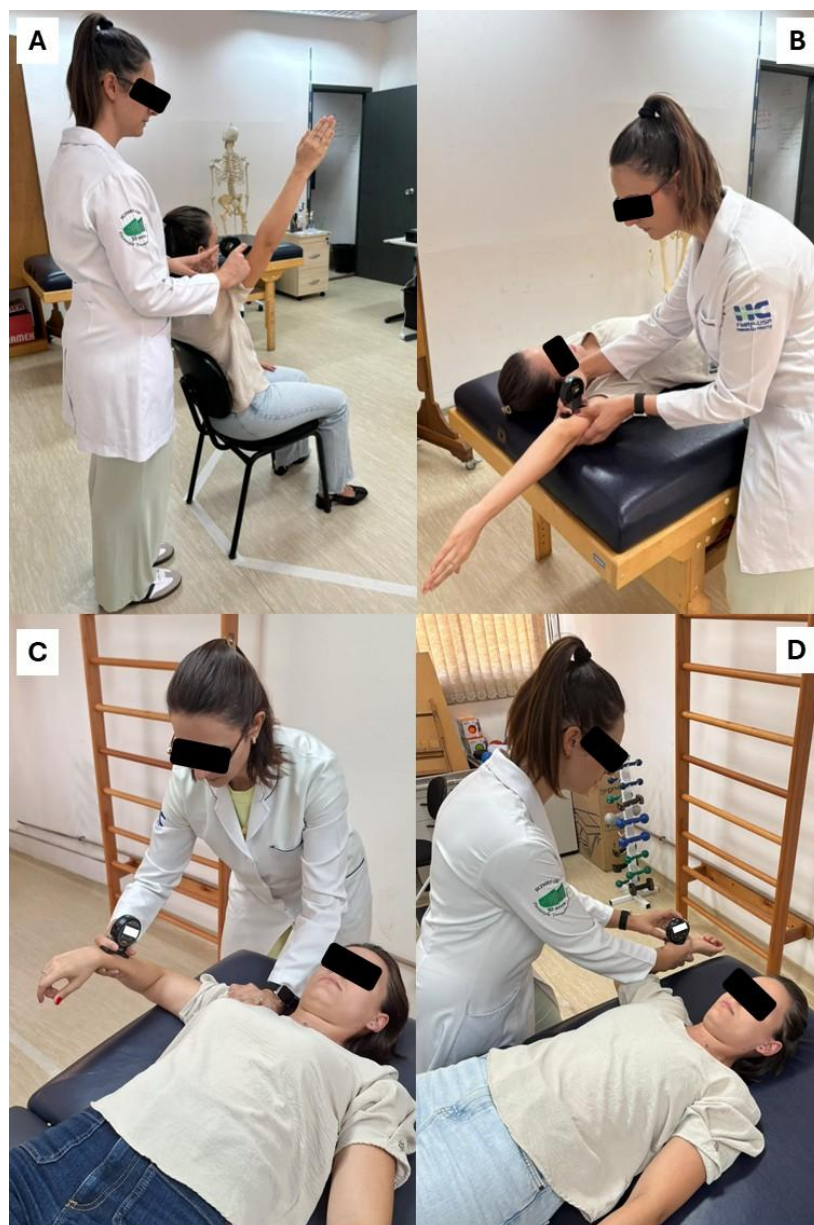


Figura 1. Avaliação da ADM do ombro para flexão ativa (A), flexão passiva

(B), rotação medial ativa e passiva (C) e rotação lateral ativa e passiva (D).

Foram realizadas duas repetições para cada um dos movimentos e a média das repetições foi utilizada para a análise estatística. Para evitar medidas tendenciosas, o inclinômetro foi tapado com fita adesiva, de modo que o examinador não pode ver os valores registrados no momento da avaliação.

Força muscular do ombro

A força muscular dos principais músculos do ombro foi avaliada por meio da contração isométrica dos flexores, rotadores mediais e laterais, e serrátil anterior por meio de um dinamômetro manual (*Lafayette Instrument Company, Lafayette, IN, USA*). O ombro avaliado foi aquele com alguma queixa atual ou, na ausência de queixas, o ombro dominante

Flexores (Figura 2A): Os participantes foram avaliados na posição sentada, com a coluna ereta e apoiada no encosto da cadeira, pés apoiados no chão. O membro avaliado foi posicionado no plano escapular (45° em relação ao plano sagital), com o ombro em 90° de flexão. O dinamômetro foi colocado na face dorsal e distal do úmero e estabilizado por meio de uma cinta inelástica, fixada ao solo pelo pé do avaliador e ajustada ao dinamômetro com o auxílio da mão do avaliador, garantindo a estabilização durante a medida (Kato, 2015).

Rotadores mediais e laterais (Figura 2B e C): Os participantes foram posicionados em decúbito dorsal, com o ombro avaliado em posição neutra ao lado do corpo e o cotovelo flexionado a 90°. Para a avaliação da força dos rotadores mediais, o dinamômetro foi posicionado na face ventral do punho, enquanto para os rotadores laterais o posicionamento ocorreu na face dorsal do punho (Cools *et al.*, 2014). O dinamômetro foi estabilizado manualmente pelo avaliador durante as

medidas.

Serrátil anterior (**Figura 2D**): Os participantes foram posicionados em decúbito dorsal, com o membro avaliado em 90° de flexão de ombro e de cotovelo, mantendo a escápula em retração. O dinamômetro foi colocado próximo ao cotovelo, na região proximal da ulna, e estabilizado por meio de uma cinta inelástica envolvendo a maca e o equipamento. O avaliador auxiliou na estabilização, aplicando resistência axial em direção à maca, perpendicularmente à ulna (Michener *et al.*, 2005; Ribeiro *et al.*, 2020).



Figura 2. Avaliação da força muscular do ombro para os flexores (A), rotadores mediais (B), rotadores laterais (C) e serrátil anterior (D).

Antes da coleta válida, os participantes realizaram um teste submáximo de familiarização para cada grupo muscular. Em seguida, foram realizadas duas contrações isométricas máximas com duração de 5 segundos, separadas por um intervalo de 1 minuto. Durante os testes, foi utilizado um comando verbal padronizado (“Força! Força! Força!”) para estimular a manutenção da contração máxima. A média

do pico de força obtido nas duas tentativas foi normalizada pela massa corporal (N/kg), e os valores normalizados foram utilizados nas análises estatísticas.

Desempenho Funcional do Ombro – TFAST

O desempenho funcional do ombro foi avaliado por meio do TFAST (Shah *et al.*, 2017), um teste composto por três tarefas funcionais destinadas a quantificar capacidades relacionadas à mobilidade, resistência e força do membro superior. As tarefas incluem: (1) Mão na cabeça e costas (*Hand to Head and Back*), (2) Lavar parede (*Wall Wash*) e (3) Levantamento de galão (*Gallon Lift*). O teste foi adaptado da versão original quanto ao peso do galão utilizado na tarefa 3, com o objetivo de torná-lo mais representativo para a população brasileira. Foi concedido um intervalo de descanso de 30 segundos entre as tarefas. O ombro avaliado foi aquele com alguma queixa atual ou, na ausência de queixas, o ombro dominante.

Mão na cabeça e costas (**Figura 3A**): Na posição ortostática, os participantes foram instruídos a tocar a região posterior da cabeça com a mão e, em seguida, a superfície dorsal da mão na região inferior das costas. Cada toque da mão na parte posterior da cabeça foi contabilizado como uma repetição. Registrou-se o número total de repetições realizadas em 30 segundos.

Lavar parede (**Figura 3B**): Utilizando uma toalha em contato com a parede, o participante realizou movimentos circulares contínuos com o braço, à altura do ombro, dentro de um círculo previamente demarcado com 30,5 cm de diâmetro. Inicialmente, os movimentos foram executados no sentido horário (rotação lateral), seguidos do sentido anti-horário (rotação medial), após um intervalo de descanso de 1 minuto. Para cada sentido, o número de repetições foi registrado durante 60 segundos, considerando-se uma repetição a cada passagem pelo ponto inicial do círculo.

Levantamento de galão (**Figura 3C**): A tarefa consistiu no deslocamento

repetido de um galão com massa de 2 kg entre um balcão (91,5 cm do solo) e uma prateleira posicionada 50,8 cm acima do balcão. O participante iniciou o movimento a partir do balcão, elevando o galão até a prateleira e retornando imediatamente à posição inicial. Cada contato do galão com a prateleira foi considerado uma repetição. O número total de repetições realizadas em 30 segundos, sem intervalos, foi registrado.

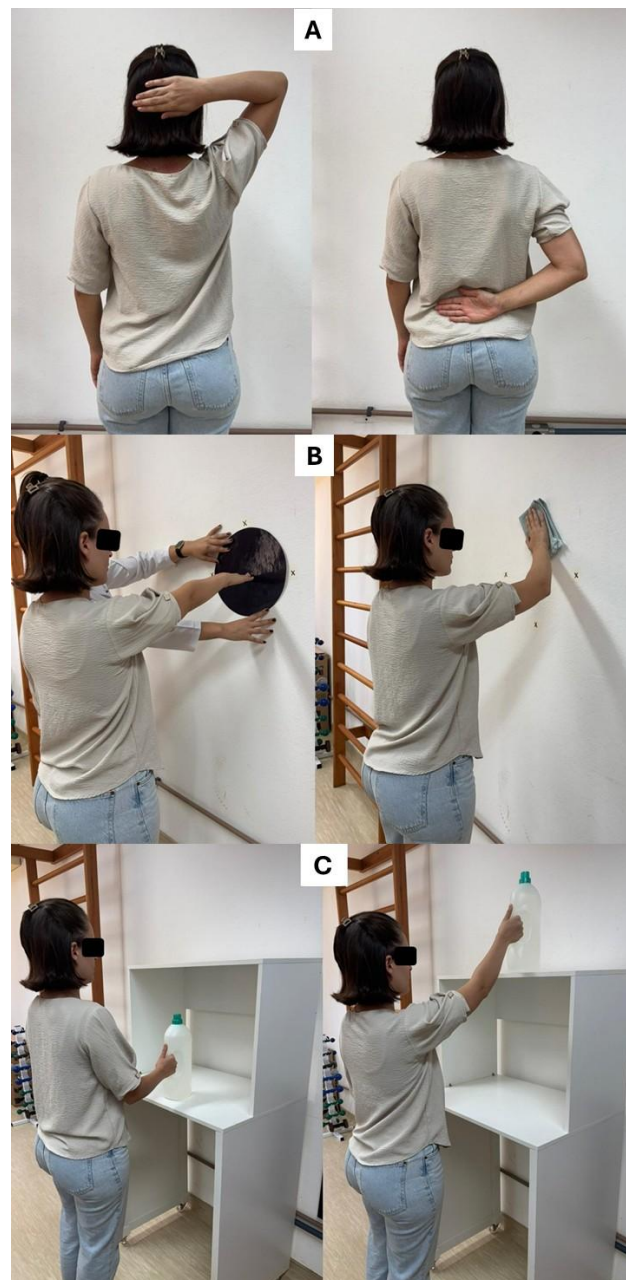


Figura 3. Tarefas funcionais que compõem o TFAST: Mão na cabeça e

costas (A), Lavar parede (B) e Levantamento de galão (C).

Antes da realização das tarefas, todos os participantes receberam a seguinte instrução padronizada: *“Por favor, execute as seguintes tarefas da forma mais rápida e segura possível, realizando o maior número de repetições dentro do tempo estabelecido. Caso necessário, você pode fazer pausas; o cronômetro continuará funcionando durante os intervalos.”* Os participantes puderam optar por não realizar alguma tarefa caso sentissem muito desconforto e julgassem não conseguir realizar a tarefa; nesses casos, a tarefa recebeu pontuação zero, computada na pontuação final.

Para cada tarefa, o número total de repetições foi utilizado para o cálculo da pontuação final, de modo que todas as tarefas fossem representadas por um período equivalente de 30 segundos. Na tarefa *Lavar parede*, as repetições obtidas nos sentidos horário e anti-horário foram somadas e divididas por quatro, a fim de representar 30 segundos de desempenho, considerando que o registro dessa tarefa ocorre ao longo de 60 segundos. A pontuação final do TFAST foi calculada conforme a seguinte fórmula: [“Mão na cabeça e costas” + (“Lavar parede” sentido horário + anti-horário / 4) + “Levantamento de galão”] (Shah *et al.*, 2017).

4.2.3 Análise Estatística

A comparação dos dados antropométricos, demográficos e clínicos entre os grupos com e sem DM foi realizada conforme o tipo de variável e a distribuição dos dados, utilizando-se o teste t de Student para amostras independentes, o teste de Mann–Whitney, o teste do qui-quadrado ou o teste exato de Fisher, conforme apropriado, com o objetivo de identificar possíveis diferenças nas características basais entre os grupos.

Para verificar a associação da DM com os desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, quatorze modelos de regressão linear múltipla foram ajustados, considerando a presença da DM como o principal preditor independente. Idade, IMC e nível de exercício físico (ativo vs. sedentário) foram incluídos como potenciais fatores de confusão e, portanto, incorporados como covariáveis nos modelos. Cada modelo avaliou um desfecho distinto relacionado à dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, conforme definido a partir do Grafo Acíclico Direcionado (*Directed Acyclic Graph* – DAG), apresentado na **Figura 4**.

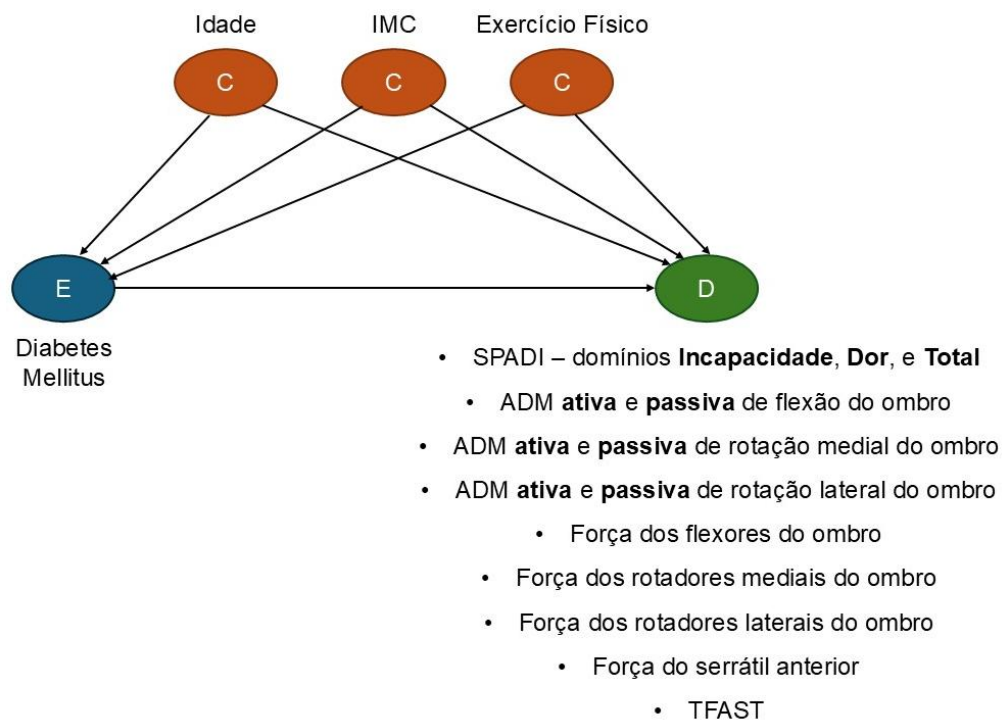


Figura 4. DAG proposta para ilustrar o modelo teórico, com as variáveis de interesse deste estudo e sua associação com a DM. E = Exposição, C = Fatores de confusão, D = Desfecho, IMC = Índice de Massa Corporal, SPADI = *Shoulder Pain and Disability Index*, ADM = Amplitude de Movimento, TFAST = *Timed Functional Arm and Shoulder Test*.

A suposição de linearidade das covariáveis contínuas (idade e IMC) foi avaliada por meio do ajuste de funções *spline*, visando identificar possíveis relações não lineares com os desfechos. Entre os modelos com *spline*, o modelo com melhor ajuste foi selecionado com base no critério de informação de Akaike (AIC), adotando-se o menor valor como critério de escolha. Na ausência de melhora no ajuste, as variáveis foram mantidas em sua forma linear.

Os casos com dados ausentes foram excluídos das análises. O método de *bootstrapping*, por meio de reamostragem dos dados originais, foi empregado para o cálculo de erros-padrão e a obtenção de intervalos de confiança mais robustos. A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada por meio da análise dos resíduos e do coeficiente de determinação (R^2). Adotou-se um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando os softwares R (versão 4.4.0) e RStudio (versão 2025.09.2+418).

4.3 Resultados

Os participantes com DM eram mais velhos e apresentaram maior IMC do que os controles ($p < 0.05$) (**Tabela 1**). Ainda, os participantes com DM apresentaram menor ADM ativa e passiva de rotação medial do ombro e pior pontuação no TFAST do que os controles ($p < 0.05$) (**Tabela 1**).

Tabela 1. Características demográficas e clínicas dos participantes.

	Amostra completa (n = 112)	DM (n = 75)	Controles (n = 37)	p
Idade (anos)	52 [43 – 59]	53 [46 – 60]	45 [37 – 56]	0,036^a
Sexo (homens,%)	69 (61,6%)	45 (60,0%)	24 (64,9%)	0,619 ^c
IMC (kg/m ²)	27,4	28,4	26,2	0,003^a

	[25,0 – 31,6]	[25,5 – 32,9]	[23,5 – 28,1]	
Exercício físico ≥ 150 minutos/semana (sim,%)	62 (55,3%)	37 (49,3%)	25 (67,6%)	0,068 ^c
Ocupação <i>overhead</i> atual (sim,%)	22 (19,6%)	15 (20,0%)	7 (18,9%)	0,892 ^c
História de prática esportiva <i>overhead</i> (sim,%)	12 (10,7%)	5 (6,7%)	7 (18,9%)	0,059 ^d
História de tabagismo (sim,%)	28 (25%)	18 (24,0%)	10 (27,0%)	0,728 ^c
Queixas de dor ou desconforto no ombro (sim, %)	66 (58,9%)	46 (61,3%)	20 (54,0%)	0,461 ^c
História de DM na família (sim,%)	73 (65,2%)	55 (73,3%)	18 (48,6%)	0,010^c
Tempo de doença – DM (anos)	-	11 [7 – 17]	-	-
Tipo da DM (Tipo 2, %)	-	59 (78,7%)	-	-
Última glicemia em jejum (mg/dl)	-	148,5 [126,0 – 207,0]	-	-
Última Hemoglobina Glicada (%)	-	8,2 [6,9 – 10,0]	-	-
Uso de insulina (sim,%)	-	36 (48,0%)	-	-
NPD (sim, %)	-	38 (50,7%)	-	-
Autorrelato de Retinopatia ou Nefropatia diagnosticada (sim, %)	-	6 (8,0%)	-	-
Ombro avaliado (Dominante, %)	82 (73,2%)	52 (69,3%)	30 (81,1%)	0,187 ^c
SPADI				
Incapacidade (pontuação 0 – 100)	8,7 [0,0 – 39,4]	13,7 [0,0 – 41,2]	2,5 [0,0 – 32,5]	0,222 ^a
Dor (pontuação 0 – 100)	22,0 [0,0 – 58,0]	26,0 [0,0 – 58,0]	2,0 [0,0 – 48,0]	0,138 ^a

Total (pontuação 0 – 100)	13,8 [0,0 – 44,2]	19,2 [0,0 – 47,7]	1,5 [0,0 – 41,5]	0,104 ^a
ADM ativa do ombro (°)				
Flexão	167,2 [157,2 – 175,5]	167,0 [156,0 – 174,5]	168,0 [159,5 – 178,5]	0,251 ^a
Rotação medial	71,4 ± 19,3	68,0 ± 15,6	78,3 ± 21,0	0,007^b
Rotação lateral	93,2 [81,5 – 102,5]	90,0 [80,0 – 101,5]	97,5 [82,0 – 103,5]	0,172 ^a
ADM passiva do ombro (°)				
Flexão	174,7 [166,7 – 179,0]	174,5 [166,0 – 179,0]	175,5 [170,5 – 181,5]	0,252 ^a
Rotação medial	95,3 ± 24,6	73,0 ± 17,2	81,0 ± 19,7	0,03^b
Rotação lateral	100,2 [88,0 – 112,0]	99,0 [87,0 – 109,0]	104,5 [90,5 – 115,0]	0,113 ^a
Força muscular do ombro (N/kg)				
Flexores	1,7 ± 0,8	1,6 ± 0,8	1,8 ± 0,7	0,147 ^b
Rotadores Mediais	1,6 [1,1 – 1,9]	1,5 [1,0 – 1,8]	1,6 [1,3 – 1,9]	0,232 ^a
Rotadores Laterais	1,2 ± 0,5	1,2 ± 0,5	1,3 ± 0,5	0,233 ^b
Serrátil anterior	2,9 [1,6 – 4,2]	2,9 [1,5 – 4,1]	3,0 [2,0 – 4,2]	0,397 ^a
TFAST (pontuação total)	77,6 ± 30,0	70,1 ± 26,8	92,7 ± 30,8	< 0,001^b

Os dados são apresentados como: média ± desvio padrão; mediana [1° - 3° quartil]; n (%).

ADM = amplitude de movimento; DM = Diabetes Mellitus; IMC = Índice de Massa Corporal; NPD = Neuropatia periférica diabética; SPADI = *Shoulder Pain and Disability Index*; TFAST = *Timed Functional Arm and Shoulder Test*.

O p valor é fornecido pelos testes de Mann-Whitney (^a) ou t de Student (^b) para variáveis contínuas e pelos testes qui-quadrado (^c) ou teste exato de Fisher (^d) para variáveis categóricas.

Todos os modelos de regressão linear foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$), e a inclusão de covariáveis (idade, IMC e nível de exercício físico) ajustou os modelos (**Tabela 2**). Os modelos que avaliaram desfechos de força do ombro – particularmente dos flexores, rotadores mediais e rotadores laterais do ombro –

demonstraram maior poder explicativo (38 – 45%). Em contrapartida, os modelos que avaliaram a ADM do ombro demonstraram menor poder explicativo (7 – 17%), embora ainda estatisticamente significativos (**Tabela 2**).

Tabela 2. Coeficientes de determinação (R^2) e significância estatística dos modelos de regressão linear que avaliaram a associação entre a presença da DM e os desfechos relacionados à dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro.

Modelo (Desfecho)	Pr(>χ^2)	R²	R² ajustado
Modelo 1 (SPADI Incapacidade)	< 0,001	0,21	0,18
Modelo 2 (SPADI Dor)*	< 0,001	0,19	0,15
Modelo 3 (SPADI Total)	< 0,001	0,20	0,17
Modelo 4 (Flexão ativa do ombro)	< 0,001	0,20	0,17
Modelo 5 (Flexão passiva do ombro)	< 0,001	0,17	0,14
Modelo 6 (Rotação Medial ativa do ombro)	0,016	0,10	0,07
Modelo 7 (Rotação Medial passiva do ombro)	0,012	0,11	0,07
Modelo 8 (Rotação Lateral ativa do ombro)	0,001	0,16	0,12
Modelo 9 (Rotação Lateral passiva do ombro)#	< 0,001	0,21	0,17
Modelo 10 (Força muscular – Flexores do ombro)	< 0,001	0,47	0,45
Modelo 11 (Força muscular – Rotadores Mediais do ombro)*	< 0,001	0,41	0,39
Modelo 12 (Força muscular – Rotadores Laterais do ombro)	< 0,001	0,40	0,38
Modelo 13 (Força muscular – Serrátil Anterior)	< 0,001	0,31	0,29
Modelo 14	< 0,001	0,39	0,37

(TFAST)

DM = Diabetes Mellitus; SPADI = *Shoulder Pain and Disability Index*; TFAST = *Timed Functional Arm and Shoulder Test*.

*Ajuste de função *spline* para Idade

#Ajuste de função *spline* para Índice de Massa Corporal (IMC)

Após ajustes para idade, IMC e nível de exercício físico, a presença da DM esteve significativamente associada a menor ADM ativa e passiva de rotação medial do ombro e ao pior desempenho funcional do ombro (TFAST) ($p < 0,05$) (**Tabela 3**). Para os demais desfechos, não foram observadas associações estatisticamente significativas.

Tabela 3. Estimativas de efeito da presença da DM sobre desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro em modelos de regressão linear múltipla ajustados para idade, IMC e nível de exercício físico.

Modelo (Desfecho)	p-valor	Efeito Estimado (β)	Erro Padrão	IC 95%
Modelo 1 (SPADI Incapacidade)	0,878	- 0,77	4,65	- 10,16; 8,25
Modelo 2 (SPADI Dor)	0,792	1,69	6,18	- 9,97; 13,41
Modelo 3 (SPADI Total)	0,968	- 0,22	5,18	- 10,25; 9,63
Modelo 4 (Flexão ativa do ombro)	0,667	- 1,28	2,65	- 6,24; 3,81
Modelo 5 (Flexão passiva do ombro)	0,744	- 0,95	2,72	- 5,76; 4,73
Modelo 6 (Rotação Medial ativa do ombro)	0,006	- 10,98	3,93	- 18,34; - 2,87
Modelo 7 (Rotação Medial passiva do ombro)	0,031	- 8,10	3,60	- 15,00; - 0,76
Modelo 8 (Rotação Lateral ativa do ombro)	0,650	- 2,04	3,88	- 9,50; 5,75

Modelo 9 (Rotação Lateral passiva do ombro)	0,659	- 2,09	4,25	- 9,91; 5,99
Modelo 10 (Força muscular – Flexores do ombro)	0,342	0,12	0,13	- 0,14; 0,37
Modelo 11 (Força muscular – Rotadores Mediais do ombro)	0,275	0,10	0,09	- 0,08; 0,28
Modelo 12 (Força muscular – Rotadores Laterais do ombro)	0,312	0,08	0,09	- 0,85; 0,27
Modelo 13 (Força muscular – Serrátil Anterior)	0,335	0,28	0,31	- 0,42; 0,85
Modelo 14 (TFAST)	0,012	- 12,78	5,28	- 23,43; - 2,48

SPADI = *Shoulder Pain and Disability Index*; TFAST = *Timed Functional Arm and Shoulder Test*.

4.4 Discussão

O presente estudo investigou a associação entre a DM e desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, por meio de análises ajustadas para idade, IMC e nível de exercício físico. Os resultados mostraram que a presença de DM teve um impacto negativo e significativo na ADM ativa e passiva na rotação medial do ombro, bem como no desempenho funcional do ombro, independentemente dos potenciais fatores de confusão considerados no modelo.

Em relação à ADM ativa de rotação medial, observou-se uma magnitude de efeito de aproximadamente 11° de redução associada à presença da DM. Embora estatisticamente significativa, essa estimativa apresenta considerável incerteza, uma vez que o intervalo de confiança de 95% indica que o efeito pode variar desde uma redução clinicamente mais expressiva (-18,34°) até uma redução pequena (-2,87°). Achados semelhantes foram observados para a ADM passiva de rotação medial

(Tabela 3; IC 95% = -15,00 a -0,76). A associação da DM com a redução tanto da ADM ativa quanto da passiva sugere que essas limitações de movimento observadas não se restringem apenas a fatores funcionais ou relacionados à dor, mas podem refletir alterações estruturais dos tecidos periarticulares do ombro nas pessoas com DM.

Esses achados estão parcialmente em consonância com os resultados de Younas e Fatima (2020), que relataram menor ADM de rotação medial do ombro em indivíduos com ombro congelado e DM quando comparados a àqueles com ombro congelado sem DM. Além disso, os autores observaram reduções adicionais na ADM de flexão, abdução, e rotação lateral no grupo com DM (Younas *et al.*, 2020), o que não foi verificado no presente estudo. É importante considerar que o estudo de Younas e Fatima (2020) incluiu exclusivamente indivíduos com ombro congelado, uma condição caracterizada por dor intensa e importante limitação funcional, e a amostra do presente estudo não apresentava a mesma condição.

Resultados distintos também foram descritos por Shah e colaboradores (2015b), que observaram menor ADM de flexão, abdução e rotação lateral em indivíduos com DM em comparação a controles sem a doença, sem diferença significativa para a rotação medial. Nesse estudo, o grupo controle era composto por indivíduos assintomáticos em relação à dor no ombro, enquanto o grupo com DM apresentava níveis substancialmente mais elevados de dor e incapacidade, conforme avaliado pelo SPADI (0 ± 0 vs. $31,1 \pm 27,9$) (Shah *et al.*, 2015b). Embora essa diferença não tenha sido estatisticamente testada entre os grupos, ela pode ter influenciado os achados relacionados à ADM, uma vez que a dor pode atuar como um importante fator limitante do movimento. No presente estudo, a distribuição de indivíduos com sintomas de dor no ombro foi semelhante entre os participantes com

e sem DM; ainda assim, é plausível considerar um possível papel mediador da dor, uma vez que parte da associação observada entre a DM e a redução da ADM pode estar relacionada a mecanismos dolorosos que induzem proteção articular e desuso do membro superior.

A redução da mobilidade articular do ombro em condições atraumáticas é multifatorial e pode resultar de alterações degenerativas, doenças inflamatórias crônicas e dor, nas quais condições metabólicas e sistêmicas, como o envelhecimento e a DM, podem representar fatores adicionais relevantes. O envelhecimento e a DM estão associados ao aumento da glicosilação não enzimática do colágeno e ao acúmulo de AGEs em tecidos de baixa renovação, incluindo a cápsula articular, ligamentos e unidades músculo-tendíneas, levando ao aumento da rigidez do tecido e ao comprometimento das propriedades mecânicas periarticulares (Abate *et al.*, 2010; Gautieri *et al.*, 2017; Haus *et al.*, 2007; Kamml *et al.*, 2023). Evidências experimentais apoiam esses mecanismos, visto que Shinohara e colaboradores (2022) relataram níveis mais elevados de AGE, maior estresse oxidativo, aumento da atividade inflamatória e redução da ADM do ombro em indivíduos com DM e rupturas degenerativas do manguito rotador em comparação àqueles sem DM, embora a influência da dor e o tamanho da amostra devam ser considerados (Shinohara *et al.*, 2022). Em conjunto, esses achados fornecem bases para interpretar os resultados do presente estudo, no qual a presença de DM foi associada à redução da ADM passiva da rotação medial do ombro, refletindo potencialmente o aumento da rigidez capsular glenoumeral relacionada às alterações teciduais associadas à DM.

Nosso estudo observou uma redução média de aproximadamente 13 repetições no TFAST associada à presença de DM, o qual é um teste representativo

de tarefas funcionais do ombro, além de apresentar boa confiabilidade e capacidade de resposta em indivíduos com diferentes condições musculoesqueléticas do ombro (Safford *et al.*, 2023). Para pacientes com dor no ombro, a mínima diferença clinicamente importante (MDCI) estabelecida para o teste corresponde a uma mudança de 21 repetições, representando uma melhora moderada (Safford *et al.*, 2023).

Embora a magnitude média do efeito observada neste estudo não atinja a MDCI sugerida, o intervalo de confiança de 95% (-23,43 a -2,48) indica que o efeito pode variar desde reduções discretas até valores compatíveis com uma diferença clinicamente relevante. Essa amplitude sugere heterogeneidade no impacto da DM sobre o desempenho funcional do ombro, indicando que uma parcela dos indivíduos com DM pode apresentar comprometimento funcional mais acentuado do que outros.

Adicionalmente, deve-se considerar que a MDCI do TFAST foi estabelecida para mudanças longitudinais em indivíduos com dor no ombro (Safford *et al.*, 2023), enquanto os achados do presente estudo decorrem de uma análise transversal entre grupos. Soma-se a isso o fato de que no presente estudo, uma das tarefas que compõem o TFAST (levantamento de galão) sofreu adaptação em relação ao peso originalmente utilizado. Dessa forma, a interpretação da relevância clínica dos resultados deve ser realizada com cautela. Ainda assim, os achados reforçam a possível influência da DM sobre o desempenho funcional do ombro e apontam para a necessidade de estudos longitudinais que investiguem a progressão dessas alterações ao longo do tempo.

A ausência de associação entre a DM e outros desfechos avaliados, como a ADM de outros movimentos do ombro e a força muscular, pode ser explicada por diferentes fatores. A rotação medial parece ser particularmente sensível a alterações

capsulares precoces, uma vez que grande parte desse movimento ocorre na articulação glenoumeral (Koishi *et al.*, 2011), enquanto movimentos como a flexão do ombro dependem mais da participação escapulotorácica (Scibek *et al.*, 2012). Além disso, a heterogeneidade clínica da DM — incluindo variáveis como tempo de doença, controle glicêmico e presença de complicações — pode ter atenuado associações com desfechos que refletem comprometimento mais avançado. A falta de associação entre a DM e os desfechos da força muscular do ombro pode resultar da não estratificação quanto à presença de NPD, já que essa condição pode influenciar a força muscular (Oh *et al.*, 2019). Por fim, o delineamento transversal do estudo impede a interpretação de causalidade da DM com as associações observadas.

Do ponto de vista clínico, os achados do presente estudo ressaltam a necessidade de maior atenção por parte dos profissionais de saúde aos possíveis acometimentos musculoesqueléticos em pacientes com DM, levando em conta o complexo do ombro. Avaliações precoces do ombro podem ser fundamentais para a identificação de alterações iniciais, permitindo intervenções oportunas com o objetivo de minimizar perdas funcionais e melhorar a qualidade de vida dessa população.

4.5 Conclusão

A DM impacta negativamente a ADM ativa e passiva da rotação medial e o desempenho funcional do ombro, avaliado pelo TFAST, independentemente da idade, do IMC e do nível de exercício físico. Não foram observadas associações com os demais desfechos analisados. Embora as magnitudes de efeito observadas apresentem variabilidade e devam ser interpretadas com cautela em função do delineamento transversal, os achados reforçam a relevância clínica da DM como fator associado ao comprometimento musculoesquelético do ombro e destacam a

importância de avaliações precoces e de estudos longitudinais futuros para melhor compreender a progressão dessas alterações e orientar estratégias preventivas e terapêuticas nessa população.

Os achados do presente estudo demonstraram que a DM está associada a alterações específicas da mobilidade e do desempenho funcional do ombro, mesmo após o controle de importantes fatores de confusão. Entretanto, considerando que a DM frequentemente é acompanhada por complicações crônicas capazes de influenciar o sistema neuromusculoesquelético, torna-se relevante investigar quais fatores relacionados à progressão da doença podem estar envolvidos nesse comprometimento. Nesse contexto, a NPD, uma das complicações mais prevalentes da DM e associada a alterações sensório-motoras, surge como possível moduladora dos desfechos relacionados ao ombro. Assim, a partir das lacunas identificadas no presente estudo, o próximo estudo buscou investigar o papel da NPD nos desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro em indivíduos com DM.

5 ESTUDO 2

Acometimento musculoesquelético do ombro na diabetes mellitus: o papel da neuropatia periférica diabética

Julia Kortstee Ferreira¹, Milena Stephanie Bezerra Balbino¹, Airlon Nery¹, Lívia Bernardi Nardini¹, Isabel de Camargo Neves Sacco², Paula Rezende Camargo¹

¹ Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.

² Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.

Situação editorial em 08 de maio de 2026 - O artigo será submetido para publicação em periódico internacional de impacto na área.

A revista científica à qual este artigo será submetido será informada de que o mesmo compõe esta tese, a qual estará depositada no Repositório Institucional (RI) da UFSCar.

Todos os coautores deste artigo permitiram a utilização do trabalho completo a ser submetido para publicação no âmbito desta tese.

Resumo

Introdução: Indivíduos com DM apresentam maior prevalência de desordens musculoesqueléticas, especialmente no complexo do ombro. A NPD pode contribuir para alterações funcionais musculoesqueléticas, porém sua associação com desfechos do ombro ainda é pouco explorada. **Delineamento:** Estudo observacional transversal. **Objetivo:** Comparar a dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro entre indivíduos com DM com e sem NPD e controles sem DM, bem como investigar a associação entre a severidade da NPD e esses desfechos relacionados ao ombro em indivíduos com DM. **Métodos:** Foram avaliados 112 participantes (DM com NPD: n = 38; DM sem NPD: n = 37; controles: n = 37). Os desfechos relacionados ao ombro incluíram a dor e incapacidade (SPADI), ADM ativa e passiva, força muscular isométrica e o desempenho funcional (TFAST). A presença e a severidade da NPD foram classificadas por um sistema de apoio à decisão. As comparações entre grupos foram realizadas por testes paramétricos ou não paramétricos, e modelos de regressão linear múltipla avaliaram associações ajustadas por idade, IMC e nível de exercício físico. **Resultados:** Indivíduos com DM e NPD apresentaram maiores níveis de dor e incapacidade no ombro, menor rotação medial ativa e menor força muscular do ombro e pior desempenho funcional do ombro em comparação aos demais grupos. Nas análises ajustadas, a severidade da NPD não se associou de forma independente à maioria dos desfechos do ombro, exceto pela força do serrátil anterior, interagindo com o nível de exercício físico, mas que apresentou ampla incerteza das estimativas. **Conclusão:** Indivíduos com DM e NPD apresentaram piores desfechos do ombro em comparação aos demais grupos; entretanto, fatores como idade, IMC e nível de exercício físico parecem influenciar essa relação, destacando a necessidade de estudos futuros que considerem o papel de fatores

comportamentais.

Palavras-chave: complicações da diabetes, capacidade funcional, dor, extremidade superior, força, mobilidade do ombro

5.1 Introdução

A dor musculoesquelética constitui um importante problema de saúde pública em nível mundial, representando um fardo expressivo tanto para os sistemas de saúde quanto para os indivíduos afetados (GBD 2021 Other Musculoskeletal Disorders Collaborators, 2023). Trata-se de uma das principais causas de dor crônica e incapacidade funcional, contribuindo de forma relevante para o absentismo laboral (Bevan, 2015). Evidências indicam que a prevalência de desordens musculoesqueléticas é significativamente maior entre indivíduos com DM do que na população não diabética (Alabdali *et al.*, 2021; Molsted *et al.*, 2012). Entre pessoas com DM, as regiões mais frequentemente acometidas são as mãos e o ombro (Kaka *et al.*, 2019), sendo comuns condições como ombro congelado, contratura de Dupuytren, dor no ombro não especificada e limitação da mobilidade das mãos (Aydeniz *et al.*, 2008). De forma específica, indivíduos com DM apresentam um risco aproximadamente 3,7 vezes maior de desenvolver ombro congelado em comparação à população não diabética (Dyer *et al.*, 2023). Ainda, as lesões do manguito rotador são mais comuns nessa população, com pessoas com DM tendo aproximadamente três vezes mais risco de desenvolver a condição em comparação com a população geral (Fuentes-Murguia *et al.*, 2024).

Apesar da elevada prevalência dessas alterações, os mecanismos responsáveis pelo maior acometimento do ombro em indivíduos com DM ainda não estão completamente esclarecidos. Estudos sugerem a existência de uma via fisiopatológica relacionada ao acúmulo acelerado de AGEs decorrente da hiperglicemia crônica, o que poderia desencadear alterações degenerativas nos tecidos conjuntivos do manguito rotador e da cápsula articular (Gautieri *et al.*, 2017; Kamml *et al.*, 2023; Reddy, 2004). No entanto, os achados disponíveis ainda são

limitados. Outro estudo longitudinal aponta que fatores como idade, controle glicêmico e presença de complicações microvasculares podem estar associados à piora progressiva da dor e da função do ombro ao longo do tempo (Laslett *et al.*, 2008).

Nesse contexto, Cole e colaboradores (2009) identificaram inicialmente uma associação direta entre a presença de DM e maiores níveis de dor e rigidez no ombro. Contudo, após ajustar as análises para potenciais fatores de confusão, como idade, sexo, obesidade e tabagismo, essas associações deixaram de ser estatisticamente significativas (Cole *et al.*, 2009). Esses achados sugerem que a relação entre a DM e as alterações no ombro pode ser multifatorial e fortemente influenciada por características clínicas e demográficas, reforçando a necessidade de investigar outros fatores envolvidos.

Além dos possíveis efeitos diretos dos AGEs sobre as estruturas musculoesqueléticas, essas moléculas também têm sido associadas a lesões de nervos periféricos e a complicações vasculares relacionadas à DM (Papachristou *et al.*, 2021; Rhee *et al.*, 2018). A NPD é uma das complicações mais frequentes da DM, afetando mais de 50% dos indivíduos ao longo da evolução da doença (Feldman *et al.*, 2019). Embora seja tradicionalmente investigada nos MMII, evidências mais recentes indicam que alterações sensoriais e motoras também podem acometer os MMSS, manifestando-se por redução da força de preensão manual e maior incidência de síndromes compressivas (Oh *et al.*, 2019; Rydberg *et al.*, 2020). Apesar disso, a apresentação clínica da NPD nos MMSS ainda não está bem caracterizada, e não há evidência sobre sua associação com alterações no complexo do ombro.

Corroborando essa lacuna, um estudo (Tural *et al.*, 2025) que investigou fatores de risco associados à pior função do ombro, avaliada por meio do *UCLA Shoulder Score*, em indivíduos com DM, analisou o papel de variáveis que podem

refletir maior gravidade da doença, como IMC, controle glicêmico (HbA1c), tempo de diagnóstico e presença de complicações crônicas, incluindo retinopatia, nefropatia e NPD. Os resultados demonstraram que, dentre essas variáveis, a retinopatia esteve associada à pior função do ombro, reforçando a hipótese de que complicações microvasculares, mais do que a presença isolada da DM, podem estar relacionadas a desfechos musculoesqueléticos desfavoráveis (Tural *et al.*, 2025).

Apesar desses achados, lacunas importantes ainda persistem. Em especial, permanece incerto se a NPD, uma complicação frequente e indicativa de maior severidade da DM, desempenha um papel relevante nos desfechos relacionados ao ombro. Considerando o potencial impacto da NPD sobre componentes neuromusculares e musculoesqueléticos, torna-se pertinente investigar sua influência específica sobre a dor e capacidades funcionais do ombro em indivíduos com DM. Dessa forma, o objetivo primário deste estudo foi comparar os níveis de dor, o movimento, a força e o desempenho funcional do ombro entre indivíduos com DM com e sem NPD e um grupo controle sem DM. Adicionalmente, como objetivo secundário, buscou-se analisar o efeito da NPD sobre esses desfechos em pessoas com DM, por meio de modelos ajustados para idade, IMC e nível de exercício físico.

5.2 Métodos

5.2.1 Desenho do Estudo e Participantes

Este é um estudo observacional de delineamento transversal, conduzido de acordo com as diretrizes do STROBE e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos (CAAE: 52273521.8.0000.5504). O recrutamento ocorreu entre julho de 2022 e novembro de 2025, por meio de divulgação institucional, redes sociais, distribuição de panfletos na comunidade e

contatos pessoais e profissionais dos pesquisadores. Indivíduos de ambos os sexos, com idades entre 18 e 65 anos, com ou sem queixas de dor no ombro, foram elegíveis. As avaliações foram realizadas no Laboratório de Avaliação e Intervenção do Complexo do Ombro, vinculado ao Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, em São Carlos, Brasil. Um total de 112 indivíduos (38 com DM e NPD, 37 com DM sem NPD, e 37 controles sem DM) participaram deste estudo. Todos os participantes receberam informações verbais e por escrito sobre o estudo e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes de participar.

A presença da DM foi confirmada por meio da história clínica e de exames prévios de hemoglobina glicada (HbA1c), em que a presença da DM é considerada pela $HbA1c \geq 6,5\%$ (EISayed *et al.*, 2023). A ausência da DM foi verificada através do autorrelato dos participantes, quando os mesmos confirmavam não terem recebido nenhum diagnóstico médico prévio da doença ou de pré-diabetes. Os indivíduos não eram incluídos se apresentassem: neuropatias de origem não diabética, pré-diabetes, hipotireoidismo, doenças osteomioarticulares, histórico de fraturas ou cirurgias ortopédicas nos MMSS, amputação de membro superior, dor no ombro com irradiação compatível com origem cervical ou torácica, tratamento fisioterapêutico para o ombro nos últimos seis meses, injeção de corticosteroide no ombro nas seis semanas anteriores à avaliação, ou uso de medicamentos que interferem na força muscular esquelética. Também não foram incluídos os indivíduos com DM que relataram início da dor no ombro anterior ao diagnóstico da doença.

O tamanho amostral foi estimado a priori com o software G*Power 3.1 (Faul *et al.*, 2007) (versão 3.1.9.7.), assumindo uma análise de variância unidirecional (ANOVA), um tamanho de efeito moderado (0,3) (Cohen, 1992), um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e um poder de 80% ($1-\beta = 0,80$). O tamanho da amostra

resultante foi de 111 indivíduos. A premissa de ter de 10 a 15 participantes por preditor independente (cinco no total) em qualquer modelo de regressão linear múltipla (Green, 1991; Peduzzi *et al.*, 1996) foi atendida dentro do tamanho da amostra calculado ($n = 74$, considerando os participantes com DM). Foram incluídos cinco preditores no modelo, o que resultaria em um mínimo de 50 indivíduos: um preditor principal (severidade da NPD), três covariáveis (idade, IMC e nível de exercício físico) e um termo adicional para interação entre o preditor principal e uma das covariáveis.

5.2.2 Procedimentos

Todos os participantes foram avaliados por um fisioterapeuta capacitado, com mais de 5 anos de experiência. Inicialmente, foram coletadas informações demográficas e clínicas de todos os participantes, incluindo idade, sexo, IMC, nível de exercício físico, dominância do membro superior, histórico familiar de DM, presença ou ausência de dor no ombro e o lado acometido. Para os participantes diagnosticados com DM, também foram registradas informações específicas sobre a doença, como tipo e tempo de diagnóstico, uso de medicamentos e/ou insulina, controle glicêmico recente e relato de complicações associadas à DM, como retinopatia e nefropatia.

Os participantes com DM foram então avaliados quanto à presença e severidade da NPD utilizando o *Michigan Neuropathy Screening Instrument* (MNSI) e um exame físico padronizado, incluindo testes de sensibilidade tátil com um monofilamento de 10 g aplicado em quatro regiões plantares e avaliação da sensibilidade vibratória com um diapasão de 128 Hz na articulação interfalangeana do hálux (Armstrong *et al.*, 1998; Boulton *et al.*, 2005; Sartor *et al.*, 2018; Weinstein, 1993). A severidade da NPD foi determinada por meio de um sistema de inteligência artificial baseado na lógica *fuzzy* – o Sistema de Apoio à Decisão Para a Classificação da

Polineuropatia Diabética – que integra variáveis clínicas para gerar um valor de pertinência que varia de 0 a 10 (Picon *et al.*, 2012; Watari *et al.*, 2014). As pontuações são interpretadas da seguinte forma: 0 – 1,9 = ausência de NPD; 2,0 – 4,5 = NPD leve; 4,6 – 7,5 = NPD moderada; e $\geq 7,6$ = NPD grave (Watari *et al.*, 2014). Esse modelo apresenta forte correlação com a avaliação clínica (coeficiente de correlação de Pearson $r = 0,94$) e alta precisão discriminatória (ROC = 0,91) (Picon *et al.*, 2012; Watari *et al.*, 2014). Os participantes com pontuação $< 2,0$ foram classificados como DM sem NPD, enquanto aqueles com pontuação $\geq 2,0$ foram classificados como DM com NPD.

Por fim, todos os participantes relataram seus hábitos de exercício físico, preencheram um questionário sobre dor e incapacidade no ombro e foram submetidos a avaliações físicas da ADM do ombro, força muscular e desempenho funcional, conforme descrito abaixo.

Nível de Exercício Físico

O nível de exercício físico foi classificado conforme as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), publicadas em 2020. Essas diretrizes preconizam a realização semanal de, no mínimo, 150 a 300 minutos de exercício aeróbico de intensidade moderada ou 75 a 150 minutos de exercício aeróbico vigoroso (Bull *et al.*, 2020). Com base nesses critérios, os participantes que relataram praticar exercício físico por um período igual ou superior a 150 minutos por semana foram classificados como fisicamente ativos, enquanto aqueles que não atingiram esse limiar foram considerados sedentários.

Dor e Incapacidade do Ombro (SPADI)

A avaliação da dor e da incapacidade do ombro foi realizada por meio da versão brasileira do SPADI (Martins *et al.*, 2010). O instrumento é composto por 13 itens,

distribuídos em dois domínios: dor (cinco itens) e incapacidade (oito itens). Cada item é pontuado em uma escala numérica de 0 a 10.

As pontuações obtidas são convertidas em escores percentuais, variando de 0 a 100, tanto para os domínios individuais quanto para o escore total, sendo valores mais elevados indicativos de maior intensidade da dor e de maior grau de incapacidade. A versão brasileira do SPADI apresenta confiabilidade e consistência interna adequadas (ICC = 0,94; α de Cronbach = 0,89) (Martins *et al.*, 2010).

ADM Ativa e Passiva do Ombro

A ADM do ombro foi mensurada ativamente e passivamente nos movimentos de flexão, rotação medial e rotação lateral, utilizando um inclinômetro digital (Acumar™, Lafayette Instrument Company, Lafayette, IN), com precisão de 1°.

O ombro avaliado foi aquele que apresentava queixa no momento da avaliação; na ausência de queixas, optou-se pela avaliação do ombro dominante, definido como o membro utilizado para a escrita. As medidas máximas de ADM foram registradas conforme os procedimentos descritos a seguir:

Flexão (Figuras 1A e 1B, página 30): Para a flexão ativa, os participantes permaneceram sentados (Kolber *et al.*, 2012; Sabari *et al.*, 1998; Shah *et al.*, 2015b). Para padronização do movimento no plano escapular, uma fita foi posicionada no chão formando um ângulo de 45° em relação ao plano sagital. O inclinômetro foi apoiado na porção distal do úmero, e os participantes foram orientados a elevar o braço até a máxima ADM possível, evitando compensações, como a extensão do tronco ou a flexão do cotovelo. Para a flexão passiva, os participantes foram posicionados em decúbito dorsal (Sabari *et al.*, 1998; Shah *et al.*, 2015b). O avaliador realizou passivamente a flexão do ombro até a ADM máxima, enquanto o participante permanecia

relaxado. A medida foi registrada com o inclinômetro posicionado na porção distal do úmero.

Rotação medial (Figura 1C, página 30): A avaliação foi realizada com o participante em decúbito dorsal, com o ombro posicionado a 90° de abdução e o cotovelo flexionado a 90° (Cools *et al.*, 2014; Kolber *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2015b). O inclinômetro foi colocado na face dorsal e distal do antebraço. Na condição ativa, o participante realizou o movimento até a máxima ADM; na condição passiva, o avaliador conduziu o movimento, solicitando que o participante mantivesse o membro relaxado. Em ambas as situações, as compensações escapulares foram monitorizadas continuamente e evitadas.

Rotação lateral (Figura 1D, página 30): Mantendo o mesmo posicionamento descrito para a rotação medial, o inclinômetro foi posicionado na face palmar e distal do antebraço (Cools *et al.*, 2014; Kolber *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2015b). O procedimento ativo e passivo seguiu os mesmos critérios, com monitoramento contínuo para evitar compensações.

Foram realizadas duas repetições para cada movimento, sendo utilizada a média dos valores obtidos para análise estatística. Para reduzir viés durante as medidas, o visor do inclinômetro foi encoberto com fita adesiva, impedindo a visualização dos valores pelo avaliador durante a coleta.

Força Muscular do Ombro

A força muscular do ombro foi avaliada por meio da isometria máxima dos músculos flexores, rotadores mediais, rotadores laterais e serrátil anterior, utilizando um dinamômetro manual (Lafayette Instrument Company, Lafayette, IN, USA). O posicionamento dos participantes variou de acordo com o grupo muscular avaliado, conforme descrito a seguir:

Flexores (Figura 2A, página 33): Os participantes estavam sentados, com o membro avaliado posicionado no plano escapular (delimitado por uma fita colocada no chão, formando um ângulo de 45° em relação ao plano sagital) e o ombro a 90° de flexão. O dinamômetro foi colocado na região distal e dorsal do úmero e estabilizado por meio de uma cinta inelástica fixada ao solo pelo pé do avaliador (Kato, 2015).

Rotadores mediais e laterais (Figura 2B e C, página 33): Os participantes foram posicionados em decúbito dorsal, com o ombro em posição neutra ao longo do corpo e o cotovelo flexionado a 90°. Para os rotadores mediais, o dinamômetro foi posicionado na face ventral do punho; para os rotadores laterais, na face dorsal (Cools *et al.*, 2014). O equipamento foi estabilizado manualmente pelo avaliador.

Serrátil anterior (Figura 2D, página 33): A avaliação foi realizada com os participantes em decúbito dorsal, com o ombro e o cotovelo posicionados a 90° de flexão e a escápula mantida em retração. O dinamômetro foi colocado próximo ao cotovelo, na região proximal da ulna, e estabilizado com uma cinta inelástica envolvendo a maca (Michener *et al.*, 2005; Ribeiro *et al.*, 2020).

Primeiramente, os participantes realizaram uma contração submáxima de familiarização para cada grupo muscular. Em seguida, foram executadas duas contrações isométricas máximas com duração de 5 segundos, separadas por intervalos de 1 minuto, com estímulo verbal padronizado do avaliador. A média do pico de força das duas tentativas foi normalizada pela massa corporal (N/kg) e utilizada nas análises estatísticas.

Desempenho Funcional do Ombro (TFAST)

O desempenho funcional do ombro foi avaliado por meio do TFAST (Shah *et al.*, 2017), composto por três tarefas funcionais destinadas a mensurar capacidades

relacionadas à mobilidade, resistência e força do membro superior. O teste foi adaptado quanto ao peso do galão utilizado na terceira tarefa, visando maior adequação à população brasileira.

As tarefas avaliadas foram:

Mão na cabeça e costas (Figura 3A, página 35): Em posição ortostática, o participante foi instruído a tocar alternadamente a região posterior da cabeça e a região inferior das costas com a mão. O número total de repetições realizadas em 30 segundos foi registrado.

Lavar parede (Figura 3B, página 35): Utilizando uma toalha em contato com a parede, o participante realizou movimentos circulares contínuos dentro de um círculo demarcado com 30,5 cm de diâmetro, na altura do ombro. Os movimentos foram realizados inicialmente no sentido horário e, após 1 minuto de descanso, no sentido anti-horário. O número de repetições foi registrado durante 60 segundos para cada sentido.

Levantamento de galão (Figura 3C, página 35): O participante realizou o deslocamento repetido de um galão de 2 kg entre um balcão a 91,5 cm do solo e uma prateleira a 50,8 cm acima do balcão. Cada contato do galão com a prateleira foi contabilizado como uma repetição, e o total foi registrado no tempo de 30 segundos.

Antes do início do teste, os participantes receberam instruções padronizadas quanto à execução segura e contínua das tarefas. Foi concedido um intervalo de 1 minuto entre as tarefas. Caso necessário, o participante poderia realizar pausas sem interrupção do cronômetro. Foi permitido ao participante optar por não realizar alguma tarefa caso sentisse grande desconforto, recebendo pontuação zero para a tarefa.

O escore final do TFAST foi calculado conforme descrito por Shah e colaboradores (Shah *et al.*, 2017), considerando a equivalência temporal das tarefas.

5.2.3 Análise Estatística

Os dados foram analisados com o software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 31.0., e com R (versão 4.4.0) e RStudio (versão 2025.09.2+418). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados. As comparações dos dados antropométricos, demográficos e clínicos entre os três grupos (DM com NPD, DM sem NPD e controles) foram realizadas de acordo com o tipo de variável e distribuição dos dados, utilizando a análise de variância de uma via (one-way ANOVA) (seguida do teste post hoc de Tukey), o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis (seguido de comparações pareadas pelo teste de Mann–Whitney), o teste qui-quadrado (χ^2) ou o teste exato de Fisher, conforme apropriado. Os tamanhos dos efeitos foram quantificados usando *d* de Cohen e *r* de Pearson. De acordo com os parâmetros de referência convencionais, os valores 0,2, 0,5 e 0,8 representam efeitos pequenos, médios e grandes, respectivamente (Cohen, 1992).

Com o objetivo de explorar o efeito da NPD sobre os desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro em indivíduos com DM ($n = 75$), realizou-se uma análise secundária por meio de modelos de regressão linear múltipla. Ao todo, foram ajustados doze modelos, tendo a severidade da NPD como variável independente principal. As variáveis idade, exercício físico (ativo vs. sedentário) e IMC foram consideradas potenciais fatores de confusão e, portanto, incluídas como covariáveis nos modelos. Cada modelo foi construído para avaliar um desfecho específico relacionado à dor, movimento, força ou desempenho funcional do ombro, conforme definido com base na DAG apresentada na **Figura 5**.

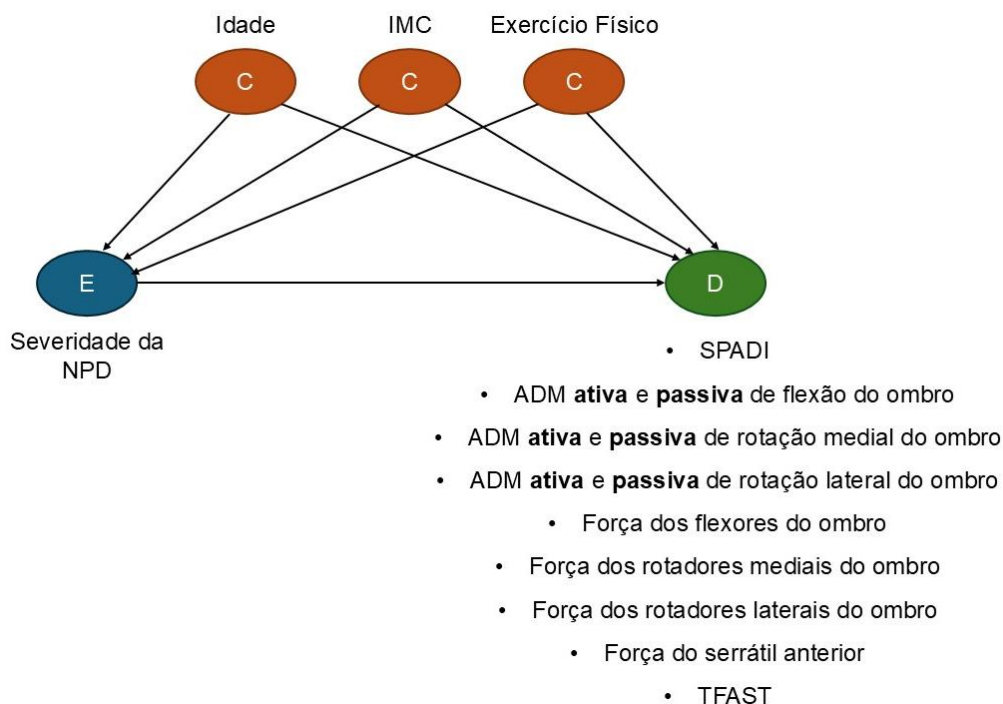


Figura 5. DAG proposta para ilustrar o modelo teórico com as variáveis de interesse deste estudo e sua associação com a severidade da NPD. E = Exposição, C = Fatores de confusão, D = Desfecho, NPD = Neuropatia periférica diabética, IMC = Índice de massa corporal, SPADI = *Shoulder Pain and Disability Index*, ADM = Amplitude de movimento, TFAST = *Timed Functional Arm and Shoulder Test*.

A hipótese de interação entre a variável principal de exposição (severidade da NPD) e as demais covariáveis (idade, nível de atividade física e IMC) foi avaliada por meio da inclusão de termos de interação em cada modelo. Entre os modelos que contemplaram essas interações, selecionou-se aquele com melhor desempenho segundo o critério de informação de Akaike (AIC), adotando-se o menor valor como indicativo de melhor ajuste. Na ausência de evidência de melhoria no ajuste do modelo, as variáveis foram mantidas na forma linear.

Os casos com informações ausentes foram excluídos das análises. Para a estimativa dos erros-padrão e a construção de intervalos de confiança mais robustos, empregou-se o método de bootstrapping, baseado na reamostragem dos dados originais. A adequação dos modelos foi avaliada por meio da inspeção dos resíduos

e do coeficiente de determinação (R^2). Para todas as análises estatísticas, foi considerado um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5.3 Resultados

Os participantes com DM e NPD eram mais velhos do que os controles, apresentavam maior IMC e eram mais sedentários do que aqueles sem NPD e os controles ($p < 0,05$) (**Tabela 4**). Os controles relataram com maior frequência histórico de prática de esportes com o braço acima da cabeça (*overhead*) quando comparados aos participantes com DM e NPD, enquanto os participantes com DM, independentemente da presença de NPD, relataram com maior frequência histórico familiar de DM em comparação aos controles ($p < 0,05$) (**Tabela 4**).

Dentro dos grupos com DM, os participantes com NPD eram em sua maioria DM tipo 2, exibiram níveis mais elevados de glicemia de jejum e de HbA1c, maior severidade da NPD e reportaram com maior frequência complicações relacionadas à DM, como retinopatia ou nefropatia, em comparação àqueles sem NPD ($p < 0,05$) (**Tabela 4**).

Tabela 4. Características antropométricas, demográficas e clínicas dos participantes (n = 112).

	DM e NPD (n = 38)	DM sem NPD (n = 37)	Controles (n = 37)	p-valor
Idade (anos)	56 [50 – 60]*	49 [30 – 59]	45 [37 – 56]*	0,010^a
Sexo (homens,%)	21 (55,3%)	24 (64,9%)	24 (64,9%)	0,613 ^c
IMC (kg/m ²)	32,0 [26,9 – 35,4]**#	26,8 [24,8 – 29,7]#	26,2 [23,5 – 28,1]*	< 0,001^a
Exercício físico ≥ 150 minutos/semana (sim,%)	12 (31,6%)**#	25 (67,6%)*	25 (67,6%)#	0,001^c
Ocupação <i>overhead</i> atual (sim,%)	8 (21,1%)	7 (18,9%)	7 (18,9%)	0,964 ^c

História de prática esportiva <i>overhead</i> (sim,%)	1 (2,6%)*	4 (10,8%)	7 (18,9%)*	0,028^d
História de tabagismo (sim,%)	11 (28,9%)	7 (18,9%)	10 (27,0%)	0,569 ^c
Queixas de dor ou desconforto no ombro (sim, %)	27 (71,1%)	19 (51,4%)	20 (54,0%)	0,170 ^c
Ombro avaliado (Dominante, %)	24 (63,2%)	28 (75,7%)	30 (81,1%)	0,198 ^c
História de DM na família (sim,%)	28 (73,7%)*	27 (73,0%) [#]	18 (48,6%)* [#]	0,036^c
Tempo de doença – DM (anos)	11 [7 – 17]	10 [7 – 17]	-	0,754 ^b
Tipo da DM (Tipo 2, %)	36 (94,7%)	23 (62,2%)	-	< 0,001^c
Última glicemia em jejum (mg/dl)	176,5 [132,0 – 229,0]	137,0 [120,0 – 166,0]	-	0,006^b
Última Hemoglobina Glicada (%)	9,6 [8,4 – 10,9]	7,1 [6,5 – 8,2]	-	< 0,001^b
Uso de insulina (sim,%)	17 (44,7%)	19 (51,3%)	-	0,566 ^c
Severidade da NPD (0 – 10)	3,5 [2,2 – 4,3]	0,7 [0,7 – 1,7]	-	< 0,001^b
Autorrelato de Retinopatia ou Nefropatia diagnosticada (sim, %)	6 (15,8%)	0 (0,0%)	-	0,025^d

Os dados são apresentados como: média ± desvio padrão; mediana [1° - 3° quartil]; n (%).

DM = diabetes mellitus; NPD = neuropatia periférica diabética; IMC = índice de massa corporal.

O p valor é fornecido pelos testes de Kruskal-Wallis ^(a) ou Mann-Whitney^(b) para variáveis contínuas e pelos testes qui-quadrado ^(c) ou teste exato de Fisher ^(d) para variáveis categóricas.

* e # mostram, por meio de testes post hoc, em quais pares há diferença entre os grupos.

Em relação aos desfechos relacionados ao ombro, os participantes com DM e NPD apresentaram maior dor e incapacidade no ombro, evidenciadas por escores mais elevados no SPADI, além de menor rotação medial ativa do ombro quando comparados aos controles ($p < 0,05$) (**Tabela 5**). Ademais, esse grupo demonstrou menor força muscular do ombro em todos os músculos avaliados (flexores, rotadores

mediais e laterais e serrátil anterior), bem como pior desempenho funcional do ombro, mensurado pelo TFAST, em comparação aos participantes com DM sem NPD e aos controles ($p < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5. Comparações entre os grupos para os desfechos avaliados relacionados ao ombro.

	DM e NPD (n = 38)	DM sem NPD (n = 37)	Controles (n = 37)	p-valor
SPADI (pontuação 0 – 100)	26,1 [5,4 – 67,7]*	8,5 [0,0 – 33,8]	1,5 [0,0 – 41,5]*	0,022^a
ADM ativa do ombro (°)				
Flexão	160,8 [150,5 – 173,0]	169,5 [163,5 – 177,0]	168,0 [159,5 – 178,5]	0,047^a ^s
Rotação medial	68,0 ± 18,9*	67,9 ± 16,3	78,3 ± 21,0*	0,026^b
Rotação lateral	88,0 [80,0 – 99,0]	97,0 [82,0 – 101,5]	97,5 [82,0 – 103,5]	0,195 ^a
ADM passiva do om- bro (°)				
Flexão	172,8 [164,5 – 178,5]	176,0 [171,0 – 179,0]	175,5 [170,5 – 181,5]	0,183 ^a
Rotação medial	72,8 ± 17,7	73,3 ± 16,9	81,0 ± 19,7	0,096 ^b
Rotação lateral	97,0 [83,5 – 104,0]	107,0 [88,5 – 113,0]	104,5 [90,5 – 115,0]	0,061 ^a
Força muscular do ombro (N/kg)				
Flexores	1,2 ± 0,7**	2,0 ± 0,7*	1,8 ± 0,7 [#]	< 0,001^b
Rotadores Mediais	1,1 [0,8 – 1,6]**	1,8 [1,3 – 1,9]*	1,6 [1,3 – 1,9] [#]	< 0,001^a
Rotadores Laterais	1,0 ± 0,5**	1,4 ± 0,5*	1,3 ± 0,5 [#]	< 0,001^b
Serrátil anterior	1,7 [1,1 – 3,7]**	3,7 [2,6 – 4,5]*	3,0 [2,0 – 4,2] [#]	0,002^a
TFAST (pontuação total)	61,1 ± 25,2**	79,4 ± 25,5*	92,7 ± 30,8 [#]	< 0,001^b

Os dados são apresentados como: média ± desvio padrão; mediana [1° - 3° quartil]; n (%). ADM = amplitude de movimento; DM = diabetes mellitus; NPD = neuropatia periférica diabética; IMC = índice de masa corporal.

O p valor é fornecido pelos testes de Kruskal-Wallis (a) ou One-Way ANOVA (b).

§Após ajuste de Bonferroni, os valores de p foram > 0,05 mostrando não haver diferença significativa para as comparações entre pares.

* e # mostram, por meio de testes post hoc, em quais pares há diferença entre os grupos.

As comparações par a par dos desfechos relacionados ao ombro que apresentaram diferenças significativas entre os grupos, incluindo as estimativas das diferenças e os respectivos tamanhos de efeito, estão apresentadas nas **Tabelas 6 e 7**.

Tabela 6. Comparação par a par dos desfechos significativamente diferentes entre os grupos com DM e NPD e controles.

DM e NPD vs. Controles	Diferença média ^a / Diferença entre medianas ^b	IC 95% da diferença	Tamanho de efeito (d ou r)
SPADI	12,30 ^b	0,00; 24,61	r = 0,27
ADM ativa do ombro (°)			
Rotação Medial	-10,36 ^a	-19,56; -1,17	d = - 0,52
Força muscular do ombro (N/kg)			
Flexores	- 0,61 ^a	- 0,93; - 0,29	d = - 0,87
Rotadores Mediais	- 0,41 ^b	- 0,66; - 0,15	r = 0,35
Rotadores Laterais	- 0,31 ^a	- 0,53; - 0,09	d = - 0,65
Serrátil anterior	- 0,95 ^b	- 1,68; - 0,20	r = 0,28
TFAST (pontuação total)	- 31,66 ^a	- 44,58; - 18,73	d = - 1,13

DM = diabetes mellitus; NPD = neuropatia periférica diabética; SPADI = *Shoulder Pain and Disability Index*; TFAST = *Timed Functional Arm and Shoulder Test*.

Tabela 7. Comparação par a par dos desfechos significativamente diferentes entre os grupos com DM e NPD e com DM sem NPD.

DM e NPD vs. DM sem NPD	Diferença média ^a / Diferença entre Medianas ^b	IC 95% da diferença	Tamanho de efeito (d ou r)
Força muscular do			

ombro (N/kg)			
Flexores	- 0,77 ^a	- 1,09; - 0,44	d = - 1,09
Rotadores Mediais	- 0,54 ^b	- 0,75; - 0,26	r = 0,46
Rotadores Laterais	- 0,39 ^a	- 0,60; - 0,17	d = - 0,82
Serrátil anterior	- 1,33 ^b	- 2,11; - 0,59	r = 0,36
TFAST (pontuação total)	- 18,31 ^a	- 29,95; - 6,66	d = - 0,72

DM = diabetes mellitus; NPD = neuropatia periférica diabética; TFAST = Timed *Functional Arm and Shoulder Test*.

A maioria dos modelos de regressão linear que verificaram as associações entre a severidade da NPD e os desfechos relacionados ao ombro, após ajuste para idade, IMC e nível de exercício físico, apresentou significância estatística ($p < 0,05$), com exceção dos modelos 4 (rotação medial ativa do ombro) e 5 (rotação medial passiva do ombro) ($p > 0,05$) (**Tabela 8**). Os modelos que avaliaram desfechos de força do ombro demonstraram maior poder explicativo (43–51%), enquanto os modelos que avaliaram a ADM do ombro apresentaram menor poder explicativo (9–15%) (**Tabela 8**). A severidade da NPD esteve significativamente associada à força do músculo serrátil anterior (efeito modificado pelo nível de exercício físico, $p = 0,026$); entretanto, a estimativa desse efeito apresentou ampla incerteza, conforme evidenciado pelo IC 95% (Tabela 5). Para os demais desfechos, as análises de regressão não identificaram associações estatisticamente significativas com a severidade da NPD (**Tabela 8**).

Tabela 8. Significância estatística ($\text{Pr}(> \chi^2)$) e coeficientes de determinação (R^2 e R^2_{adj}) dos modelos, e efeitos estimados da severidade da NPD sobre os desfechos de dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, ajustados para idade, IMC e nível de exercício físico.

Modelo Desfecho	Pr(>χ^2)	R²	R²_{adj}	p- valor	Efeito (β)	Erro Padrão	IC 95%
----------------------------	------------------------------------	----------------------	------------------------------------	---------------------	--	------------------------	---------------

Modelo 1 SPADI	< 0,001	0,24	0,19	0,652	- 2,05	5,60	- 10,25; 12,08
Modelo 2 Flexão ativa do ombro	0,002	0,20	0,15	0,128	- 4,02	2,75	- 9,97; 0,55
Modelo 3 Flexão passiva do ombro	0,015	0,15	0,10	0,283	- 2,50	2,55	- 7,16; 2,92
Modelo 4* Rotação Medial ativa do ombro	0,050	0,14	0,07	0,064	- 4,26	3,54	- 10,91; 2,63
Modelo 5* Rotação Medial passiva do ombro	0,055	0,13	0,07	0,038	- 3,22	3,70	- 10,16; 4,56
Modelo 6# Rotação Lateral ativa do ombro	0,031	0,15	0,09	0,088	- 4,82	5,08	- 16,13; 4,69
Modelo 7# Rotação Lateral passiva do ombro	0,016	0,17	0,11	0,068	- 5,30	5,30	- 17,00; 4,10
Modelo 8§ Força dos Flexores do ombro	< 0,001	0,54	0,51	0,137	0,146	0,134	- 0,196; 0,346
Modelo 9 Força dos Rotadores Mediais do ombro	< 0,001	0,46	0,43	0,975	0,002	0,081	- 0,152; 0,161
Modelo 10 Força dos	< 0,001	0,51	0,48	0,969	- 0,002	0,064	- 0,132; 0,119

Rotadores Laterais do ombro								
Modelo 11 [§]	< 0,001	0,48	0,44	0,026	0,692	0,317	- 0,125; 1,163	
Força do Serrátil Anterior								
Modelo 12 TFAST	< 0,001	0,31	0,27	0,858	0,72	4,31	- 8,40; 9,06	

NPD = neuropatia periférica diabética; SPADI = *Shoulder Pain and Disability Index*; TFAST = *Timed Functional Arm and Shoulder Test*.

*Ajuste de interação: severidade da NPD com o Índice de Massa Corporal (IMC)

Ajuste de interação: severidade da NPD com a idade

§ Ajuste de interação: severidade da NPD com o nível de exercício físico

5.4 Discussão

O presente estudo investigou a possível relação da NPD com desfechos relacionados à dor, movimento, força e desempenho funcional do ombro, comparando indivíduos com DM com e sem NPD a um grupo controle sem DM. Adicionalmente, avaliou-se a associação entre a severidade da NPD e esses desfechos em indivíduos com DM, por meio de análises ajustadas para potenciais fatores de confusão, como idade, IMC e nível de exercício físico. Os principais achados das análises comparativas indicam que indivíduos com DM e NPD apresentam pior dor e incapacidade do ombro, redução da ADM ativa de rotação medial e, sobretudo, pior força muscular do ombro e pior desempenho funcional do ombro, quando comparados tanto a indivíduos com DM sem NPD quanto a controles. Esses resultados reforçam a hipótese de que a NPD, mais do que a presença isolada da DM, pode desempenhar um papel relevante nos desfechos do complexo do ombro.

Embora os grupos não tenham apresentado diferenças quanto ao autorrelato inicial de dor ou desconforto no ombro, os indivíduos com DM e NPD exibiram maiores níveis de dor e incapacidade do ombro, avaliados pelo SPADI, quando comparados

ao grupo controle. A diferença entre as medianas foi de 12,30 pontos percentuais e alcançou significância estatística; no entanto, demonstrou tamanho de efeito pequeno ($r = 0,27$) e ampla incerteza nas estimativas (IC 95% = 0,00; 24,61). Esses resultados indicam que, embora a dor e a incapacidade do ombro tenham sido mais acentuadas no grupo com DM e NPD, a magnitude desse comprometimento variou consideravelmente entre os indivíduos.

No que se refere à ADM do ombro, as diferenças entre os grupos foram restritas à rotação medial ativa, evidenciando uma redução de magnitude moderada no grupo com DM e NPD em comparação aos controles (diferença média = $-10,36^\circ$; IC 95% = $-19,56$ a $-1,17^\circ$; tamanho de efeito = $-0,52$). A ausência de diferenças consistentes na ADM passiva sugere que as limitações observadas podem estar mais relacionadas a déficits neuromusculares do que a alterações estruturais capsulares relevantes, como aquelas tipicamente observadas em condições como o ombro congelado (Choi *et al.*, 2020).

O aspecto mais consistente e clinicamente relevante dos resultados foi a redução significativa da força muscular do ombro no grupo com DM e NPD. Diferenças significativas foram observadas em todos os grupos musculares avaliados, com tamanhos de efeito variando de moderados a grandes, especialmente quando comparados aos indivíduos com DM sem NPD. Esses achados sugerem que a NPD pode estar associada a um comprometimento mais difuso da força muscular do membro superior, possivelmente mediado por mecanismos como degeneração axonal, alterações na condução nervosa, redução do recrutamento motor e descondicionamento físico (Orlando *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2023).

De forma complementar, o pior desempenho funcional no TFAST observado no grupo com DM e NPD reforça a relevância clínica desses déficits musculares.

Diferentemente de medidas isoladas de força muscular ou de ADM, o TFAST avalia tarefas funcionais integradas que exigem coordenação, resistência e força, refletindo, de forma mais realista, as demandas do cotidiano. Assim, os resultados indicam que indivíduos com DM e NPD podem apresentar maior dificuldade para executar atividades funcionais com o membro superior, mesmo na ausência de dor intensa ou de grandes limitações de movimento.

Entretanto, ao considerar exclusivamente a população com DM e ajustar as análises para idade, IMC e nível de exercício físico, a maioria das associações entre a severidade da NPD e os desfechos do ombro não foi estatisticamente significativa. A exceção foi observada para a força muscular do serrátil anterior, cuja associação com a severidade da NPD foi modificada pelo nível de exercício físico, considerando a interação adotada no modelo. Ainda assim, a ampla incerteza dessa estimativa, evidenciada pelo intervalo de confiança que abrange tanto valores de redução quanto de aumento da força muscular (IC 95% = -0,125 a 1,163), sugere cautela nas interpretações. Esses resultados sugerem a possível mediação que fatores comportamentais e antropométricos podem desempenhar na relação entre a NPD e as desordens do ombro, em consonância com estudos que indicam que complicações microvasculares e pior controle metabólico frequentemente coexistem com sedentarismo e maior adiposidade corporal (Geng *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2019).

Observações semelhantes foram relatadas por Cole e colaboradores (2009) ao considerar a DM como exposição, demonstrando que a associação entre a doença e a dor e incapacidade no ombro pode ser influenciada por múltiplos fatores, como idade, obesidade e nível de prática de exercícios físicos. Nesse contexto, comportamentos de estilo de vida mais saudáveis, incluindo a prática regular de exercícios físicos e uma alimentação adequada, podem atenuar parcialmente os

efeitos negativos da NPD sobre a força muscular e a função do ombro (Gracia-Sanchez *et al.*, 2025; Zilliox *et al.*, 2019). Contudo, são necessários mais estudos longitudinais para confirmar essa hipótese.

Entre os pontos fortes deste estudo, destacam-se a avaliação detalhada e multidimensional do ombro e a estratificação dos indivíduos com DM de acordo com a presença da NPD, o que permitiu isolar, ao menos parcialmente, o efeito dessa complicação crônica sobre os desfechos musculoesqueléticos. Esses aspectos contribuem para o avanço do conhecimento sobre a relação entre as complicações comuns da DM (como a NPD) e as alterações no complexo do ombro. Por outro lado, algumas limitações devem ser consideradas. O delineamento transversal impede inferências causais, não permitindo determinar se a NPD precede as alterações observadas no ombro. Além disso, a avaliação da NPD foi restrita aos MMII, o que pode não refletir o comprometimento neurológico nos MMSS, embora represente um marcador de maior gravidade da doença.

Futuros estudos longitudinais são necessários para elucidar a direção temporal da relação entre NPD e alterações no complexo do ombro, bem como para investigar os mecanismos fisiopatológicos subjacentes a essa associação. Investigações que incluam avaliações neurofisiológicas dos MMSS e que testem intervenções voltadas à prática de exercícios físicos, ao controle da doença e ao fortalecimento muscular nesta população podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias preventivas e terapêuticas mais eficazes.

5.5 Conclusão

Este estudo demonstrou que indivíduos com DM e NPD apresentaram maiores níveis de dor e incapacidade no ombro, menor ADM ativa de rotação medial e, sobretudo, prejuízos na força muscular e no desempenho funcional do ombro, quando

comparados a indivíduos com DM sem NPD e a controles sem DM. Entretanto, nas análises ajustadas, a severidade da NPD não se associou de forma independente à maioria dos desfechos do ombro, sugerindo que fatores como idade, IMC e nível de exercício físico exercem influência relevante nessa relação. Em conjunto, esses achados indicam que a presença da NPD pode estar relacionada a um maior comprometimento funcional do complexo do ombro, mas ressalta-se a importância de considerar fatores comportamentais modificáveis, como o exercício físico e hábitos alimentares, nesta relação.

Os resultados do presente estudo demonstraram que indivíduos com DM e NPD apresentaram piores desfechos relacionados ao ombro quando comparados aos demais grupos, reforçando a hipótese de que complicações neurológicas da DM podem estar associadas ao comprometimento musculoesquelético e funcional dos MMSS. Contudo, embora a NPD seja tradicionalmente caracterizada como uma neuropatia comprimento-dependente com acometimento predominante dos MMII, ainda existem importantes lacunas quanto à sua manifestação clínica nos MMSS. A literatura disponível sobre o tema permanece limitada, especialmente no que se refere à caracterização sistemática das alterações sensoriais e motoras dos MMSS e à relação entre a severidade da NPD nos MMII e o possível acometimento dos MMSS. Nesse contexto, considerando que uma melhor compreensão da manifestação da NPD nos MMSS pode contribuir para o refinamento da avaliação clínica e para o entendimento dos mecanismos envolvidos no comprometimento funcional observado em indivíduos com DM, o próximo estudo teve como objetivo caracterizar a manifestação da NPD nos MMSS e investigar sua relação com a severidade da neuropatia nos MMII.

6 ESTUDO 3

Acometimento dos membros superiores na neuropatia periférica diabética: manifestações clínicas e associação com a severidade da neuropatia

Julia Kortstee Ferreira¹, Isabel de Camargo Neves Sacco², Milena Stephanie
Bezerra Balbino¹, Paula Rezende Camargo¹

¹ Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.

² Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.

Situação editorial em 08 de maio de 2026 - O artigo será submetido para publicação em periódico internacional de impacto na área.

A revista científica à qual este artigo será submetido será informada de que o mesmo compõe esta tese, a qual estará depositada no Repositório Institucional (RI) da UFSCar.

Todos os coautores deste artigo permitiram a utilização do trabalho completo a ser submetido para publicação no âmbito desta tese.

Resumo

Introdução: A NPD é uma das complicações crônicas mais prevalentes da DM, associada à incapacidade funcional e redução da qualidade de vida. Embora a investigação da NPD se concentre predominantemente nos MMII, a manifestação nos MMSS permanece pouco caracterizada, assim como sua relação com a NPD nos MMII. **Objetivo:** Caracterizar e comparar a manifestação da NPD nos MMSS entre indivíduos com DM com e sem NPD nos MMII, bem como verificar a associação entre a severidade da NPD nos MMII e os desfechos da manifestação da NPD nos MMSS. **Desenho do estudo:** Estudo transversal. **Métodos:** Este estudo incluiu 76 indivíduos com DM (38 com NPD nos MMII e 38 sem NPD nos MMII). A presença e a severidade da NPD nos MMII foram determinadas pelo Sistema de Apoio à Decisão para Classificação da Polineuropatia Diabética. A manifestação da NPD nos MMSS foi investigada por meio do autorrelato de sintomas neuropáticos e da avaliação da sensibilidade tátil (nervos mediano, ulnar e radial) e vibratória da mão, força de preensão palmar máxima e destreza manual (Teste de *Jebsen Taylor*). As comparações entre grupos utilizaram testes paramétricos ou não paramétricos, e as associações foram analisadas pelo coeficiente de correlação de Spearman ($p < 0,05$). **Resultados:** Indivíduos com NPD nos MMII apresentaram maior frequência de sintomas neuropáticos nos MMSS, pior sensibilidade tátil nos trajetos dos nervos mediano e ulnar, pior sensibilidade vibratória da mão, menor força de preensão palmar e pior destreza manual em comparação aos indivíduos sem NPD nos MMII ($p < 0,05$). A severidade da NPD nos MMII esteve positivamente associada a alterações sensoriais e déficits de destreza manual, e negativamente associada à força de preensão palmar ($p < 0,05$). **Conclusão:** Indivíduos com DM e NPD nos MMII apresentam maior comprometimento sensorial, motor e funcional nos MMSS. A associação entre a severidade da

NPD nos MMII e os desfechos dos MMSS reforça o caráter sistêmico e progressivo da NPD e destaca a importância da inclusão da avaliação dos MMSS nos protocolos clínicos de rastreio e intervenção em pessoas com DM.

Palavras-chave: diabetes mellitus, extremidade superior, função sensitiva, habilidades motoras, mãos, polineuropatia diabética

6.1 Introdução

A NPD representa uma das complicações crônicas mais prevalentes da DM e acomete mais de 50% dos indivíduos ao longo da progressão da doença (Savelieff *et al.*, 2025). Essa condição envolve predominantemente uma neuropatia sensório-motora simétrica e comprimento-dependente, cujo comprometimento costuma iniciar nas regiões mais distais, com progressão para áreas mais proximais (Elafros *et al.*, 2022). Indivíduos com NPD frequentemente relatam dor profunda ou em queimação, parestesias e hiperestesia, acompanhadas de redução da sensibilidade térmica, vibratória e tátil, alterações que são atribuídas ao comprometimento de fibras nervosas de pequeno e grande calibre (Elafros *et al.*, 2022; Pop-Busui *et al.*, 2017).

Apesar do caráter sistêmico da NPD, grande parte das evidências científicas concentra-se nos MMII, em razão da forte associação entre o acometimento dos pés e o desenvolvimento de úlceras, infecções e amputações (Feldman *et al.*, 2019; Savelieff *et al.*, 2025). Nesse contexto, o rastreamento clínico e o diagnóstico da NPD priorizam, predominantemente, a avaliação de sinais e sintomas nos MMII, enquanto o envolvimento dos MMSS permanece pouco investigado e pouco descrito na literatura (Atmaca *et al.*, 2024).

Essa lacuna apresenta relevância clínica, uma vez que os MMSS exercem papel central na realização das atividades de vida diária e na manutenção da independência funcional e da participação social (Simon-Vicente *et al.*, 2024). Estudos prévios demonstram que pessoas com DM podem apresentar alterações sensoriais e motoras nas mãos, incluindo redução da força de preensão manual, prejuízos na destreza dos dedos e maior ocorrência de síndromes compressivas, como a síndrome do túnel do carpo (Ochoa *et al.*, 2014; Oh *et al.*, 2019; Rydberg *et al.*, 2020).

Além disso, a natureza comprimento-dependente da NPD sustenta a hipótese de que alterações neuromusculares possam ocorrer de forma concomitante nos MMII e MMSS (Allen *et al.*, 2014). Nesse sentido, Hastings e colaboradores (2020) identificaram correlações moderadas e positivas entre dor, incapacidade, força e ADM dos MMII e MMSS em indivíduos com DM tipo 2 e NPD. Entretanto, a ausência de um grupo composto por indivíduos com DM sem NPD limita a interpretação desses resultados, pois impede a distinção entre alterações atribuíveis à NPD e aquelas relacionadas à própria DM. Em consonância com essa limitação, Lima e Freitas (2012) não identificaram diferenças na função manual, destreza ou força de preensão ao comparar indivíduos com DM sem NPD a indivíduos controle, sugerindo que o comprometimento funcional dos MMSS pode ocorrer predominantemente na presença da NPD.

Apesar desses achados, poucos estudos investigaram de forma sistemática os sinais e sintomas neuropáticos nos MMSS de pessoas com DM e sua relação com a presença e a severidade da NPD nos MMII. A escassez de evidências sobre a expressão clínica da NPD nos MMSS, bem como sobre sua relação com a severidade do acometimento nos MMII, limita a compreensão do impacto sistêmico dessa complicação e dificulta o desenvolvimento de estratégias de rastreamento e intervenção mais abrangentes.

Diante desse cenário, torna-se relevante investigar se a manifestação da NPD nos MMSS difere entre indivíduos com DM com e sem NPD nos MMII, assim como examinar se a severidade da NPD nos MMII se relaciona com a intensidade dos sinais e sintomas apresentados nos MMSS. Essa abordagem pode favorecer a identificação precoce de comprometimentos funcionais, ampliar a compreensão da progressão sistêmica da NPD e subsidiar avaliações clínicas e intervenções mais direcionadas.

Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar e comparar a manifestação da NPD nos MMSS entre indivíduos com DM com e sem a NPD diagnosticada nos MMII, e verificar se existe correlação entre a severidade da NPD nos MMII com os diferentes sinais e sintomas da manifestação da NPD nos MMSS.

6.2 Métodos

6.2.1 Desenho do Estudo e Participantes

Estudo transversal, conduzido de acordo com as diretrizes do STROBE e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos (CAAE: 52273521.8.0000.5504). O processo de recrutamento foi realizado entre julho de 2022 e novembro de 2025, por meio da divulgação do estudo em plataformas de redes sociais, distribuição de panfletos na comunidade e contatos profissionais e pessoais dos pesquisadores. Todos os participantes receberam informações verbais e escritas sobre o estudo e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes da participação.

O presente estudo integra um projeto maior que incluiu 134 participantes (97 indivíduos com DM e 37 controles sem DM). Considerando especificamente os objetivos e análises deste estudo, foi realizado um cálculo amostral independente por meio de uma ferramenta online da Universidade de São Paulo (<http://calculoamostral.bauru.usp.br/calculoamostral/index.php>), adotando-se o teste *t* de Student para amostras independentes. A força de preensão palmar máxima foi definida como desfecho primário, por ser o desfecho relacionado aos MMSS mais utilizado e melhor documentado na literatura em indivíduos com DM. Para o cálculo, foram considerados um desvio-padrão estimado de 2,9 kgf e uma diferença mínima clinicamente relevante de 2,55 kgf, com base em estudo prévio conduzido em

população semelhante (Lima *et al.*, 2017). Assumindo poder estatístico de 80% e nível de significância de 5%, estimou-se a necessidade mínima de 44 participantes, distribuídos igualmente entre os grupos (22 por grupo). Assim, foram incluídos 76 indivíduos com DM, divididos em dois grupos: 38 com NPD nos MMII e 38 sem NPD nos MMII.

Indivíduos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 65 anos, com diagnóstico de DM confirmado por histórico clínico e exames laboratoriais prévios, considerando-se valores de hemoglobina glicada (HbA1c) $\geq 6,5\%$, conforme critérios da *American Diabetes Association* eram elegíveis (EISayed *et al.*, 2023). Os critérios de não-inclusão foram: presença de neuropatias de origem não diabética, pré-diabetes, doenças reumatológicas, histórico de fraturas ou cirurgias ortopédicas nos MMSS, amputação de membro superior, dor de origem cervical ou torácica irradiada para o membro superior, fisioterapia prévia para os MMSS nos últimos seis meses, infiltração de corticosteroides nos MMSS nas seis semanas anteriores à avaliação ou uso de medicamentos que alteram a força muscular esquelética (testosterona, GH ou IGF-1).

6.2.2 Procedimentos

As avaliações foram realizadas por um fisioterapeuta treinado, com mais de cinco anos de experiência clínica. Foram coletados dados demográficos e clínicos, incluindo idade, sexo, IMC, dominância do membro superior e nível de exercício físico. Informações relacionadas à DM também foram registradas, como tempo de diagnóstico, tipo de DM, uso de medicamentos e/ou insulina, controle glicêmico recente e presença de complicações (retinopatia e nefropatia). A presença e a severidade da NPD nos MMII foram avaliadas e todos os participantes relataram a presença ou ausência de sintomas de NPD nos MMSS e foram submetidos a testes

clínicos para avaliação da sensibilidade tátil e vibratória das mãos, da força de preensão palmar e da destreza manual.

Nível de Exercício Físico

O nível de exercício físico foi determinado por autorrelato, considerando as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) publicadas em 2020 que preconizam a realização de, no mínimo, 150 a 300 minutos semanais de exercício físico aeróbico de intensidade moderada ou, alternativamente, 75 a 150 minutos semanais de exercício aeróbico vigoroso (Bull *et al.*, 2020). Com base nesses critérios, os participantes que relataram realizar ≥ 150 minutos semanais de exercício físico foram classificados como fisicamente ativos, enquanto aqueles abaixo desse limiar foram considerados sedentários.

Avaliação e classificação da NPD nos MMII

A presença e a gravidade da NPD nos MMII foram determinadas por meio do *Michigan Neuropathy Screening Instrument* (MNSI), além da avaliação de sintomas e de um exame físico, que incluiu a sensibilidade tátil por meio de monofilamento de 10 g em quatro áreas plantares e a sensibilidade vibratória por meio de um diapasão de 128 Hz na articulação interfalangeana do hálux (Armstrong *et al.*, 1998; Boulton *et al.*, 2005; Sartor *et al.*, 2018; Weinstein, 1993). A classificação da gravidade da NPD foi realizada utilizando um sistema de suporte à decisão baseado em inteligência artificial com lógica fuzzy (Picon *et al.*, 2012; Watari *et al.*, 2014), no qual variáveis clínicas (sintomas de NPD e percepção das sensibilidades tátil e vibratória) foram utilizadas como variáveis de entrada (<http://www.usp.br/labimph/fuzzy/index.php>). A análise combinada desses dados gera um escore de pertinência variando de 0 a 10, que estabelece a gravidade da NPD (Watari *et al.*, 2014).

Os escores foram interpretados da seguinte forma: ausência de NPD (0 – 1,9), leve (2,0 – 4,5), moderada (4,6 – 7,5) e grave ($\geq 7,6$) (Watari *et al.*, 2014). Validações prévias demonstram forte correlação com a avaliação clínica ($r = 0,94$) e elevado poder discriminatório (AUC = 0,91) (Picon *et al.*, 2012; Watari *et al.*, 2014). Os participantes foram classificados em dois grupos: sem NPD nos MMII (escore < 2,0) e com NPD nos MMII (escore $\geq 2,0$). O escore contínuo foi utilizado para analisar correlações com sintomas e sinais clínicos de NPD nos MMSS.

Avaliação da manifestação da NPD nos MMSS

A manifestação da NPD nos MMSS foi investigada por meio do autorrelato de sintomas baseado no instrumento MNSI, adaptando e direcionando as questões para os MMSS (**Apêndice 1**). A avaliação física foi realizada por meio dos seguintes testes clínicos: (1) limiar de sensibilidade tátil das mãos; (2) sensibilidade vibratória das mãos; (3) teste de força de preensão palmar máxima; e (5) Teste de Jepsen Taylor. As avaliações foram conduzidas bilateralmente; entretanto, para fins de análise estatística, considerou-se o membro superior dominante.

A sensibilidade tátil foi avaliada com o uso de monofilamentos de Semmes–Weinstein (Estesiômetro-SORRI, Bauru, SP) (Birke *et al.*, 2000; Wexler *et al.*, 2007). Os monofilamentos foram aplicados nas regiões cutâneas correspondentes aos territórios dos nervos mediano (superfície palmar da falange distal do polegar), ulnar (superfície palmar da falange distal do dedo mínimo) e radial (dorso da mão entre o segundo e o terceiro metacarpos) (**Figura 6A**) (Weinstein, 1993). Durante a avaliação, os participantes permaneceram vendados e foram orientados a relatar a percepção do estímulo e a região estimulada. A aplicação seguiu uma sequência do monofilamento mais espesso para o mais fino, sendo registrado como limiar de sensibilidade o monofilamento de menor força percebido corretamente.

A sensibilidade vibratória das mãos foi avaliada por meio de um diapásio de 128 Hz, aplicado sobre a superfície dorsal da articulação metacarpofalangeana do segundo dedo (**Figura 6B**) (Dellon, 1980; Dellon, 1981). Os participantes foram instruídos a informar o momento em que deixassem de perceber a vibração. A diferença de tempo entre o relato do participante e o momento em que o avaliador deixava de perceber a vibração foi registrada e utilizada como medida quantitativa da sensibilidade vibratória.



Figura 6. Avaliação do limiar de sensibilidade tátil (A) e da sensibilidade vibratória (B) da mão.

A força de preensão palmar máxima foi mensurada com um dinamômetro hidráulico de mão (Lafayette®, EUA), de acordo com as recomendações da *American Society of Hand Therapists* (Mathiowetz *et al.*, 1985). Os participantes permaneceram sentados, com o ombro em posição neutra, cotovelo fletido a 90°, antebraço e punho

em posição neutra (**Figura 7**) (Lima *et al.*, 2012; Mathiowetz *et al.*, 1985). Foram realizadas três tentativas máximas, com intervalo de um minuto entre elas para minimizar efeitos de fadiga (Guerra *et al.*, 2009; Mathiowetz *et al.*, 1985). A média das três medições foi utilizada para análise.



Figura 7. Avaliação da força de preensão palmar máxima.

A destreza manual foi avaliada por meio do Teste de Jebsen Taylor, composto por sete tarefas que simulam atividades manuais do cotidiano (Jebsen *et al.*, 1969), dividido em sete subtestes, conforme representado na **Figura 8**: (1) escrita, (2) simulação de uma tarefa de virar cartas, (3) levantamento de objetos pequenos, (4) simulação do uso da colher para alimentação, (5) empilhamento de blocos, (6) levantamento de objetos grandes e leves e (7) levantamento de objetos grandes e pesados.

O subtteste de escrita foi excluído devido à influência da dominância manual e do nível educacional, conforme recomendado por estudos prévios (Sears *et al.*, 2010). O tempo de execução dos subtestes restantes foi registrado com cronômetro digital, e a soma dos tempos foi utilizada como medida global de desempenho da destreza manual (Lima *et al.*, 2012).

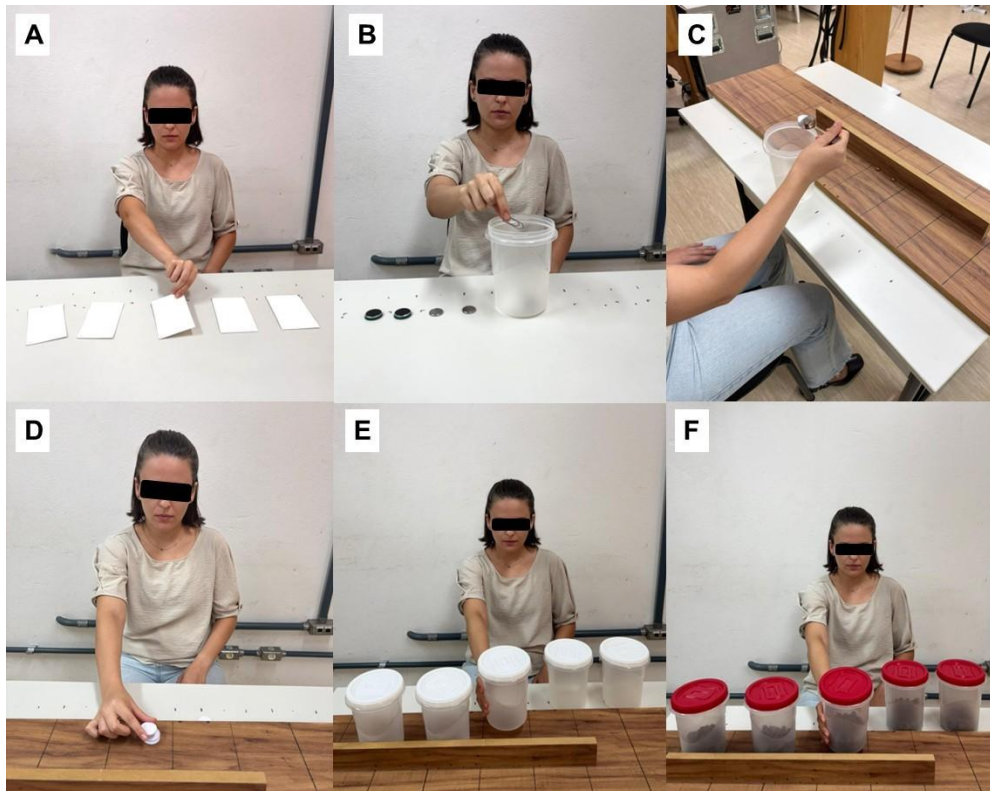


Figura 8. Teste de Jebsen Taylor: (A) virar cartas; (B) levantamento de objetos pequenos; (C) uso da colher para alimentação; (D) empilhamento de blocos; (E) levantamento de objetos grandes e leves; e (F) levantamento de objetos grandes e pesados.

6.2.3 Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas no software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 31. Os grupos de comparação foram definidos pela presença ou ausência de NPD nos MMII. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro–Wilk. Comparações entre grupos foram realizadas por meio do

teste *t* de Student para amostras independentes ou do teste de Mann–Whitney, conforme apropriado. Para variáveis categóricas, utilizaram-se os testes qui-quadrado ou exato de Fisher. A associação entre a severidade da NPD nos MMII e os sinais e sintomas nos MMSS foi analisada por meio do coeficiente de correlação de Spearman (*r*). A correlação foi considerada positiva quando $r > 0$ ou negativa quando $r < 0$, e foi classificada como fraca (0,00 a $\pm 0,25$), razoável ($\pm 0,26$ a $\pm 0,50$), moderada ($\pm 0,51$ a $\pm 0,75$), ou forte ($\pm 0,76$ a $\pm 1,00$) (Portney, 2009). Para todas as análises, adotou-se o nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

6.3 Resultados

Quando comparados, os grupos não apresentaram diferenças quanto à idade, sexo, IMC, história de tabagismo e de síndrome do túnel do carpo, dominância, tempo de doença, tipo da DM, e uso de insulina. No entanto, o grupo com DM e NPD nos MMII apresentou uma amostra com indivíduos mais sedentários, com pior controle glicêmico (conforme evidenciado pelos valores da última glicemia em jejum e HbA1c), maior presença de outras complicações da DM (retinopatia e nefropatia), e maior severidade da NPD nos MMII ($p < 0,05$) (**Tabela 9**).

Tabela 9. Características antropométricas, demográficas e clínicas dos participantes ($n = 76$).

	DM com NPD MMII (n = 38)	DM sem NPD MMII (n = 38)	p-valor
Idade (anos)	53 [48 – 59]	53 [47 – 59]	0,888 ^a
Sexo (homens,%)	21 (55,3%)	24 (63,1%)	0,484 ^b
IMC (kg/m ²)	30,2 [26,2 – 34,2]	29,0 [26,2 – 31,2]	0,372 ^a
Exercício físico \geq 150 minutos/semana (sim,%)	11 (28,9%)	22 (57,9%)	0,011^b

História de tabagismo (sim,%)	13 (34,2%)	9 (23,7%)	0,312 ^b
Lado dominante (Direito, %)	34 (89,5%)	38 (100%)	0,115 ^c
História de Síndrome do Túnel do Carpo (sim, %)	1 (2,6%)	2 (5,3%)	1,000 ^c
Tempo de doença – DM (anos)	11,0 [5,0 – 15,0]	10,0 [5,0 – 15,0]	0,456 ^a
Tipo da DM (Tipo 2, %)	35 (92,1%)	33 (86,8%)	0,711 ^c
Última glicemia em jejum (mg/dl)	176,5 [132,0 – 229,0]	133,5 [120,0 – 150,0]	< 0,001^a
Última Hemoglobina Glicada (%)	9,3 [8,1 – 10,7]	7,1 [6,5 – 7,8]	< 0,001^a
Uso de insulina (sim,%)	14 (36,8%)	13 (34,2%)	0,811 ^b
Severidade da NPD (0 – 10)	3,5 [2,2 – 4,3]	0,7 [0,7 – 1,7]	< 0,001^a
Autorrelato de Retinopatia ou Nefropatia diagnosticada (sim, %)	6 (31,6%)	0 (0,0%)	0,025^c

Os dados são apresentados como: média ± desvio padrão; mediana [1° - 3° quartil]; n (%). DM = diabetes mellitus; NPD = neuropatia periférica diabética; MMII = membros inferiores; IMC = índice de massa corporal.

O p-valor é fornecido pelos testes de Mann-Whitney (^a) para variáveis contínuas e pelos testes qui-quadrado (^b) ou teste exato de Fisher (^c) para variáveis categóricas.

Na avaliação clínica dos MMSS, quanto à manifestação da NPD, observou-se que o grupo com NPD nos MMII apresentou pior sensibilidade tátil (maior limiar) nos trajetos dos nervos mediano e ulnar, pior sensibilidade vibratória na mão, menor força de preensão palmar e pior destreza manual, quando comparado ao grupo sem NPD nos MMII ($p < 0,05$) (**Tabela 10**).

Tabela 10. Comparações entre os grupos com e sem NPD nos MMII para os desfechos relacionados à manifestação da NPD nos MMSS.

	DM com NPD MMII (n = 38)	DM sem NPD MMII (n = 38)	p-valor
--	--------------------------------	--------------------------------	---------

Nº de sintomas neuropáticos nos MMSS	Nenhum	13 (34,2%)	24 (63,2%)	0,021^d
	1 sintoma	2 (5,3%)	6 (15,8%)	
	2 sintomas	4 (14,3%)	4 (14,3%)	
	3 sintomas	9 (23,7%)	2 (5,3%)	
	4 sintomas	4 (14,3%)	1 (2,6%)	
	5 sintomas	2 (5,3%)	1 (2,6%)	
	6 sintomas	2 (5,3%)	0 (0%)	
	7 sintomas	1 (2,6%)	0 (0%)	
	8 sintomas	1 (2,6%)	0 (0%)	
Limiar de sensibilidade tátil – nervo mediano	0,07gf	14 (36,8%)	28 (73,7%)	0,006^d
	0,2gf	16 (42,1%)	8 (21,0%)	
	2,0gf	7 (18,4%)	2 (5,3%)	
	4,0gf	1 (2,6%)	0 (0%)	
Limiar de sensibilidade tátil – nervo ulnar	0,07gf	13 (34,2%)	27 (71,0%)	0,005^c
	0,2gf	15 (39,5%)	8 (21,0%)	
	2,0gf	10 (26,3%)	3 (7,9%)	
	4,0gf	0 (0%)	0 (0%)	
Limiar de sensibilidade tátil – nervo radial	0,07gf	25 (65,8%)	24 (63,2%)	0,357 ^d
	0,2gf	6 (15,8%)	11 (28,9%)	
	2,0gf	4 (14,3%)	3 (7,9%)	
	4,0gf	2 (5,3%)	0 (0%)	
	10,0gf	1 (2,6%)	0 (0%)	
Sensibilidade vibratória (segundos)		5,64 [2,74 – 7,23]	2,80 [1,00 – 4,22]	0,002^a
Força de preensão palmar máxima (N/kg)		3,38 ± 1,22	4,08 ± 1,17	0,013^b
Jebsen Taylor (segundos)		43,38 [37,97 – 52,67]	37,40 [34,70 – 40,57]	< 0,001^a

Os dados são apresentados como: média ± desvio padrão; mediana [1º - 3º quartil]; n (%). DM = diabetes mellitus; NPD = neuropatia periférica diabética; MMII = membros inferiores; MMSS = membros superiores

O p-valor é fornecido pelos testes de Mann-Whitney (^a) ou t de Student (^b) para variáveis contínuas e pelos testes qui-quadrado (^c) ou teste exato de Fisher (^d) para variáveis categóricas.

Os sintomas mais frequentemente relatados nos MMSS entre todos os indivíduos com DM foram formigamento, dormência e sensação de agulhadas, piora dos sintomas em repouso e piora dos sintomas à noite (**Tabela 11**). Além disso, estes sintomas nos MMSS foram significativamente mais frequentes no grupo com NPD nos MMII do que no grupo sem NPD nos MMII ($p < 0,05$) (**Tabela 11**).

Tabela 11. Descrição e comparação da frequência de sintomas neuropáticos relatados nos MMSS entre os grupos com e sem NPD nos MMII.

	DM com NPD MMII (n = 38)	DM sem NPD MMII (n = 38)	p-valor
Formigamentos (sim, %)	19 (50,0%)	8 (21,0%)	0,008^a
Dormência (sim, %)	15 (39,5%)	7 (18,4%)	0,043^a
Sensação de agulhadas (sim, %)	12 (31,6%)	3 (7,9%)	0,009^a
Piora dos sintomas no repouso (sim, %)	11 (28,9%)	3 (7,9%)	0,018^a
Piora dos sintomas à noite (sim, %)	8 (21,1%)	2 (5,3%)	0,042^a
Câimbra muscular (sim, %)	6 (15,8%)	2 (5,3%)	0,262 ^b
Pele muito seca (sim, %)	5 (13,2%)	4 (10,5%)	1,000 ^b
Queimação (sim, %)	5 (13,2%)	0 (0%)	0,054 ^b
Hipersensibilidade ao toque (sim, %)	5 (13,2%)	0 (0%)	0,054 ^b
Dor/incômodo ao toque do lençol (sim, %)	5 (13,2%)	0 (0%)	0,054 ^b
Dificuldade em diferenciar temperaturas (sim, %)	0 (0%)	0 (0%)	NA

Os dados são apresentados como n (%).

DM = diabetes mellitus; NPD = neuropatia periférica diabética; MMSS = membros superiores; MMII = membros inferiores

NA = não se aplica (teste qui-quadrado não calculado devido à variável constante)

O p-valor é fornecido pelo teste qui-quadrado (^a) ou teste exato de Fisher (^b)

A severidade da NPD nos MMII se correlacionou de forma positiva com a quantidade de sintomas de NPD nos MMSS, com o limiar de sensibilidade tátil nos trajetos dos nervos mediano e ulnar, com a sensibilidade vibratória da mão, e com a destreza da mão (teste de Jepsen Taylor), e se correlacionou de forma negativa com a força de preensão palmar ($p < 0,05$) (**Tabela 12**).

Tabela 12. Correlações entre a severidade da NPD nos MMII e os diferentes desfechos associados à manifestação da NPD nos MMSS, em pessoas com DM (n = 76).

	Coefficiente de correlação	p-valor
Quantidade de sintomas de neuropatia nos MMSS	0,411*	< 0,001
Limiar de sensibilidade tátil – nervo	0,323*	0,004

Mediano		
Limiar de sensibilidade tátil – nervo ulnar	0,422*	< 0,001
Limiar de sensibilidade tátil – nervo radial	0,025	0,831
Sensibilidade vibratória (segundos)	0,384*	< 0,001
Força de preensão palmar máxima (N/kg)	-0,233*	0,043
Jebsen Taylor (segundos)	0,469*	< 0,001

NPD = neuropatia periférica diabética; MMII = membros inferiores; MMSS = membros superiores; DM = diabetes mellitus

6.4 Discussão

O presente estudo investigou as características da manifestação da NPD nos MMSS de indivíduos com DM por meio do autorrelato de sintomas neuropáticos e da avaliação de desfechos sensoriais, motores e funcionais dos MMSS, e comparou estes desfechos entre indivíduos com e sem NPD nos MMII. Além disso, a associação entre a severidade da NPD nos MMII com os desfechos representativos da manifestação da NPD nos MMSS também foi analisada. Os resultados demonstram que indivíduos com NPD nos MMII apresentam maior frequência de sintomas neuropáticos nos MMSS, pior sensibilidade tátil (maior limiar) nos trajetos dos nervos mediano e ulnar, pior sensibilidade vibratória da mão, menor força de preensão palmar e pior destreza manual (representado pelo teste de Jebsen Taylor) do que os indivíduos sem NPD nos MMII. Ainda, a severidade da NPD nos MMII correlacionou-se de forma consistente (exceto pela sensibilidade tátil no trajeto do nervo radial) com a magnitude do comprometimento sensório-motor e funcional dos MMSS, reforçando a possível natureza sistêmica e progressiva dessa complicação.

No que diz respeito à sintomatologia neuropática, observou-se que os sintomas mais frequentemente relatados nos MMSS — como formigamento, dormência, sensação de agulhadas e piora dos sintomas em repouso e no período noturno — são semelhantes àqueles classicamente descritos nos MMII (Boulton *et al.*, 2005; Pop-Busui *et al.*, 2017). Essa similaridade sugere que os mecanismos fisiopatológicos

subjacentes à NPD se manifestam de forma comparável nas extremidades superiores e inferiores, ainda que com menor reconhecimento clínico nos MMSS. Ademais, embora indivíduos sem NPD nos MMII também tenham relatado sintomas nos MMSS, a maior frequência e intensidade dessas queixas no grupo com NPD reforça a hipótese de que a NPD nos MMSS se torna mais evidente à medida que a doença progride nos MMII.

Cabe destacar que a presença ou ausência de sintomas não reflete, necessariamente, a real extensão do comprometimento neuropático. Estudos prévios indicam que até 50% dos indivíduos com NPD podem ser assintomáticos, especialmente nas fases iniciais da doença (Feldman *et al.*, 2019; Pop-Busui *et al.*, 2017). Assim, os achados deste estudo reforçam a importância da avaliação clínica objetiva dos MMSS, uma vez que a ausência de queixas não exclui a presença de alterações sensoriais e funcionais clinicamente relevantes.

O comprometimento sensorial identificado, especialmente nos territórios dos nervos mediano e ulnar, está em consonância com estudos eletrofisiológicos que demonstram elevada prevalência de alterações nesses nervos em indivíduos com DM, com taxas em torno de 45% a 70% (Karsidag *et al.*, 2005; Rota *et al.*, 2005; Sierra-Silvestre *et al.*, 2024). Alterações estruturais e bioquímicas decorrentes da hiperglicemia crônica — como deposição de produtos finais de glicação avançada, redução do fluxo sanguíneo neural e diminuição da densidade das fibras nervosas — podem tornar esses nervos mais suscetíveis à disfunção e à compressão (Galiero *et al.*, 2023; Mooshage *et al.*, 2025). A redução da sensibilidade vibratória observada no presente estudo reforça o comprometimento de fibras de grande calibre e está de acordo com evidências que associam a NPD à desmielinização e degeneração axonal progressiva (Galiero *et al.*, 2023; Sasaki *et al.*, 2020). Nesse contexto, a avaliação

vibro-tátil se mostra um recurso clínico relevante e sensível para a identificação precoce da NPD nos MMSS.

Em relação à força de preensão palmar, observou-se redução significativa no grupo com NPD nos MMII, embora a magnitude dessa diferença tenha sido modesta. A literatura sugere que, em estágios leves a moderados da NPD, o comprometimento sensorial pode não ser suficiente para gerar déficits expressivos na capacidade máxima de geração de força, mas pode afetar de maneira mais pronunciada o controle motor fino e a destreza manual (Kender *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2021). Ademais, a força de preensão é influenciada por múltiplos fatores, como sexo, idade, nível de atividade física, dominância manual e composição corporal (Zaccagni *et al.*, 2020), o que pode explicar a variabilidade observada. Ainda assim, a correlação negativa entre a severidade da NPD nos MMII e a força de preensão sugere que o avanço da NPD pode contribuir para um declínio progressivo da força muscular das mãos.

O pior desempenho no Teste de Jebsen Taylor no grupo com NPD nos MMII destaca o impacto clínico do comprometimento sensório-motor das mãos. A função manual é fundamental para a interação com o ambiente e para a execução de atividades de vida diária, desde tarefas simples até aquelas que exigem alta destreza. A correlação razoável entre a severidade da NPD nos MMII e a destreza manual indica que, à medida que a NPD se agrava, maior tende a ser a limitação funcional das mãos. Esses achados estão em consonância com estudos prévios que identificaram prejuízos na destreza manual em indivíduos com DM e sinais de NPD (Lima *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2021), reforçando a relevância da avaliação funcional dos MMSS na prática fisioterapêutica.

Do ponto de vista clínico, os resultados deste estudo sugerem que o foco

predominante da avaliação da NPD nos MMII pode levar à subnotificação do comprometimento nos MMSS. Alterações sensoriais nas mãos podem resultar em consequências relevantes, como maior risco de lesões cutâneas, dificuldade na manipulação de objetos e redução da autonomia funcional. Assim, a inclusão sistemática da avaliação dos MMSS nos protocolos clínicos pode favorecer o rastreio precoce, o planejamento de intervenções fisioterapêuticas mais abrangentes e a prevenção de incapacidades.

Entre as limitações do presente estudo, destaca-se o delineamento transversal, que impossibilita inferências causais e limita a compreensão da progressão temporal das alterações observadas. Além disso, o protocolo de avaliação empregado nos MMSS não possui caráter diagnóstico específico para a NPD nessa região, diferentemente do protocolo consolidado para os MMII, que permite a classificação da severidade da NPD a partir de valores de pertinência. Ainda assim, diante da ausência de um protocolo estabelecido e validado para a avaliação da NPD nos MMSS, o presente estudo propôs um protocolo estruturado, fundamentado nas melhores evidências disponíveis, incorporando instrumentos de avaliação acessíveis e metodologicamente comparáveis àqueles utilizados para os MMII.

Dessa forma, pesquisas futuras devem priorizar o desenvolvimento e a validação de protocolos padronizados para a avaliação dos MMSS, incluindo valores de referência que auxiliem na identificação e estratificação da NPD nesses segmentos. Ademais, estudos longitudinais são necessários para elucidar a progressão dos comprometimentos sensoriais, motores e funcionais dos MMSS ao longo do curso da NPD, bem como para investigar manifestações ainda pouco exploradas, como a dor neuropática e os distúrbios musculoesqueléticos relacionados à DM que acometem os MMSS.

6.5 Conclusão

Indivíduos com DM e NPD nos MMII apresentam maior comprometimento sensorial, motor e funcional nos MMSS quando comparados a indivíduos com DM sem NPD nos MMII. Além disso, a maior severidade da NPD nos MMII associa-se à maior carga de sintomas neuropáticos, à pior sensibilidade tátil nos trajetos dos nervos mediano e ulnar, à pior sensibilidade vibratória da mão, à menor força de preensão palmar e à pior destreza manual. Esses achados reforçam que a NPD deve ser compreendida e avaliada como uma condição sistêmica, destacando a necessidade de incorporar a avaliação dos MMSS na prática clínica e nos protocolos de rastreio e intervenção em pessoas com DM.

7 CONCLUSÕES DA TESE DE DOUTORADO

Os estudos desta tese concluem que a DM está associada a comprometimentos específicos do complexo do ombro e dos MMSS, com impacto clínico relevante sobre a mobilidade e desempenho funcional. Mesmo após o controle por idade, IMC e nível de exercício físico, a DM associou-se à redução da ADM da rotação medial e a pior desempenho funcional do ombro, sugerindo que alterações funcionais podem estar presentes de forma precoce nessa população.

A presença da NPD mostrou-se um fator adicional de agravamento, uma vez que indivíduos com DM e NPD apresentaram maiores níveis de dor e incapacidade no ombro, menor ADM, redução da força muscular e pior desempenho funcional do ombro em comparação a indivíduos com DM sem NPD e a controles. No entanto, a severidade da NPD não se associou de forma independente à maioria dos desfechos do ombro, indicando que essa relação é influenciada por múltiplos fatores e que aspectos clínicos e comportamentais potencialmente modificáveis, como a prática de exercícios físicos, devem ser considerados no contexto dessa relação.

De forma complementar, esta tese demonstra que a NPD também se manifesta nos MMSS de pessoas com DM e que sua progressão está associada a comprometimentos sensoriais, motores e funcionais da mão, caracterizados por pior sensibilidade tátil e vibratória, redução da força de preensão palmar e prejuízos na destreza manual. Esses achados reforçam o caráter sistêmico e progressivo da NPD e evidenciam a necessidade de ampliar o foco da prática clínica e dos protocolos de rastreio, tradicionalmente centrados nos MMII.

Em conjunto, os resultados ressaltam a importância da inclusão sistemática da avaliação do ombro e dos MMSS no acompanhamento de pessoas com DM, visando

à identificação precoce de disfunções nesse segmento e ao direcionamento de estratégias preventivas e de reabilitação mais abrangentes, individualizadas e clinicamente relevantes.

8 REFERÊNCIAS

ABATE, M.; SCHIAVONE, C.; PELOTTI, P.; SALINI, V. Limited joint mobility in diabetes and ageing: recent advances in pathogenesis and therapy. **Int J Immunopathol Pharmacol**, v. 23, n. 4, p. 997-1003, Oct-Dec 2010. Doi: 10.1177/039463201002300404. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21244749>.

ALABDALI, L. A. S.; JAEKEN, J.; DINANT, G. J.; VAN DEN AKKER, M. *et al.* Prevalence of Upper Extremity Musculoskeletal Disorders in Patients with Type 2 Diabetes in General Practice. **Medicines (Basel)**, v. 8, n. 2, Feb 1 2021. Doi: 10.3390/medicines8020008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33535409>.

ALLEN, M. D.; KIMPINSKI, K.; DOHERTY, T. J.; RICE, C. L. Length dependent loss of motor axons and altered motor unit properties in human diabetic polyneuropathy. **Clin Neurophysiol**, v. 125, n. 4, p. 836-843, Apr 2014. Doi: 10.1016/j.clinph.2013.09.037. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24168843>.

ARMSTRONG, D. G.; HUSSAIN, S. K.; MIDDLETON, J.; PETERS, E. J. *et al.* Vibration perception threshold: are multiple sites of testing superior to single site testing on diabetic foot examination? **Ostomy Wound Manage**, v. 44, n. 5, p. 70-74, 76, May 1998. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9697548>.

ATMACA, A.; KETENCI, A.; SAHIN, I.; SENGUN, I. S. *et al.* Expert opinion on screening, diagnosis and management of diabetic peripheral neuropathy: a multidisciplinary approach. **Front Endocrinol (Lausanne)**, v. 15, p. 1380929, 2024. Doi: 10.3389/fendo.2024.1380929. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38952393>.

AYDENIZ, A.; GURSOY, S.; GUNEY, E. Which musculoskeletal complications are most frequently seen in type 2 diabetes mellitus? **J Int Med Res**, v. 36, n. 3, p. 505-511, May-Jun 2008. Doi: 10.1177/147323000803600315. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18534132>.

BEVAN, S. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. **Best Pract Res Clin Rheumatol**, v. 29, n. 3, p. 356-373, Jun 2015. Doi: 10.1016/j.berh.2015.08.002. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26612235>.

BIRKE, J. A.; BRANDSMA, J. W.; SCHREUDERS, T. A.; PIEFER, A. Sensory testing with monofilaments in Hansen's disease and normal control subjects. **Int J Lepr Other Mycobact Dis**, v. 68, n. 3, p. 291-298, Sep 2000. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11221092>.

BOULTON, A. J.; VINIK, A. I.; AREZZO, J. C.; BRIL, V. *et al.* Diabetic neuropathies: a statement by the American Diabetes Association. **Diabetes Care**, v. 28, n. 4, p. 956-962, Apr 2005. Doi: 10.2337/diacare.28.4.956. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15793206>.

BULL, F. C.; AL-ANSARI, S. S.; BIDDLE, S.; BORODULIN, K. *et al.* World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. **Br J Sports Med**, v. 54, n. 24, p. 1451-1462, Dec 2020. Doi: 10.1136/bjsports-2020-102955. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33239350>.

CHOI, Y. H.; KIM, D. H. Correlations between clinical features and MRI findings in early adhesive capsulitis of the shoulder: a retrospective observational study. **BMC**

Musculoskelet Disord, v. 21, n. 1, p. 542, Aug 13 2020. Doi: 10.1186/s12891-020-03569-8. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32791997>.

COHEN, J. A power primer. **Psychol Bull**, v. 112, n. 1, p. 155-159, Jul 1992. Doi: 10.1037//0033-2909.112.1.155. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19565683>.

COLE, A.; GILL, T. K.; SHANAHAN, E. M.; PHILLIPS, P. *et al.* Is diabetes associated with shoulder pain or stiffness? Results from a population based study. **J Rheumatol**, v. 36, n. 2, p. 371-377, Feb 2009. Doi: 10.3899/jrheum.080349. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19012358>.

COOLS, A. M.; DE WILDE, L.; VAN TONGEL, A.; CEYSSENS, C. *et al.* Measuring shoulder external and internal rotation strength and range of motion: comprehensive intra-rater and inter-rater reliability study of several testing protocols. **J Shoulder Elbow Surg**, v. 23, n. 10, p. 1454-1461, Oct 2014. Doi: 10.1016/j.jse.2014.01.006. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24726484>.

CZELUSNIAK, P.; WALCZAK, T. G.; SKARE, T. L. Shoulder pain and dysfunction in 150 type 2 diabetes mellitus patients. **Arq Bras Endocrinol Metabol**, v. 56, n. 4, p. 233-237, Jun 2012. Doi: 10.1590/s0004-27302012000400003. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22790467>.

DE KLERK, S.; GQADA, L.; HONIBALL, R. M.; JULIUS, L. *et al.* The Impact of Upper Limb Injury or Conditions on Daily Occupations: A Qualitative Inquiry. **Occup Ther Health Care**, v. 39, n. 1, p. 145-161, Jan 2025. Doi: 10.1080/07380577.2023.2243509. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37547999>.

DE LA CORTE-RODRIGUEZ, H.; ROMAN-BELMONTE, J. M.; RESINO-LUIS, C.; MADRID-GONZALEZ, J. *et al.* The Role of Physical Exercise in Chronic Musculoskeletal Pain: Best Medicine-A Narrative Review. **Healthcare (Basel)**, v. 12, n. 2, Jan 18 2024. Doi: 10.3390/healthcare12020242. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38255129>.

DELLON, A. L. Clinical use of vibratory stimuli to evaluate peripheral nerve injury and compression neuropathy. **Plast Reconstr Surg**, v. 65, n. 4, p. 466-476, Apr 1980. Doi: 10.1097/00006534-198004000-00011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7360814>.

DELLON, A. L. **Evaluation of sensibility and re-education of sensation in the hand.** . 1981. 978-0-692-33095-1

DYER, B. P.; BURTON, C.; RATHOD-MISTRY, T.; BLAGOJEVIC-BUCKNALL, M. *et al.* Diabetes as a Prognostic Factor in Frozen Shoulder: A Systematic Review. **Arch Rehabil Res Clin Transl**, v. 3, n. 3, p. 100141, Sep 2021. Doi: 10.1016/j.arrct.2021.100141.

DYER, B. P.; BURTON, C.; RATHOD-MISTRY, T.; BLAGOJEVIC-BUCKNALL, M. *et al.* Type 2 diabetes, metabolic health, and the development of frozen shoulder: a cohort study in UK electronic health records. **BMC Musculoskelet Disord**, v. 26, n. 1, p. 471, May 14 2025. Doi: 10.1186/s12891-025-08672-2. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/40369566>.

DYER, B. P.; RATHOD-MISTRY, T.; BURTON, C.; VAN DER WINDT, D. *et al.* Diabetes as a risk factor for the onset of frozen shoulder: a systematic review and meta-analysis. **BMJ Open**, v. 13, n. 1, p. e062377, Jan 4 2023. Doi: 10.1136/bmjopen-2022-062377. Disponível

em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36599641>.

ELAFROS, M. A.; ANDERSEN, H.; BENNETT, D. L.; SAVELIEFF, M. G. *et al.* Towards prevention of diabetic peripheral neuropathy: clinical presentation, pathogenesis, and new treatments. **Lancet Neurol**, v. 21, n. 10, p. 922-936, Oct 2022. Doi: 10.1016/S1474-4422(22)00188-0. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36115364>.

ELSAYED, N. A.; ALEPPO, G.; ARODA, V. R.; BANNURU, R. R. *et al.* 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2023. **Diabetes Care**, v. 46, n. Suppl 1, p. S19-S40, Jan 1 2023. Doi: 10.2337/dc23-S002. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36507649>.

FAUL, F.; ERDFELDER, E.; LANG, A. G.; BUCHNER, A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behav Res Methods**, v. 39, n. 2, p. 175-191, May 2007. Doi: 10.3758/bf03193146. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17695343>.

FELDMAN, E. L.; CALLAGHAN, B. C.; POP-BUSUI, R.; ZOCHODNE, D. W. *et al.* Diabetic neuropathy. **Nat Rev Dis Primers**, v. 5, n. 1, p. 41, Jun 13 2019. Doi: 10.1038/s41572-019-0092-1. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31197153>.

FUENTES-MURGUÍA, M.; CARRAZCO-PEÑA, K. B.; DELGADO-ENCISO, O. G.; CASTELLANOS-GÓMEZ, J. *et al.* Types of Injuries and the Severity of Shoulder Dysfunction Associated with Diabetes Mellitus in Patients with Functional Impairment: A Case–Control Study. **Biomedicines**, v. 12, n. 11, p. 2634, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9059/12/11/2634>.

GALIERO, R.; CATURANO, A.; VETRANO, E.; BECCIA, D. *et al.* Peripheral Neuropathy in Diabetes Mellitus: Pathogenetic Mechanisms and Diagnostic Options. **Int J Mol Sci**, v. 24, n. 4, Feb 10 2023. Doi: 10.3390/ijms24043554. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36834971>.

GAUTIERI, A.; PASSINI, F. S.; SILVAN, U.; GUIZAR-SICAÍROS, M. *et al.* Advanced glycation end-products: Mechanics of aged collagen from molecule to tissue. **Matrix Biol**, v. 59, p. 95-108, May 2017. Doi: 10.1016/j.matbio.2016.09.001. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27616134>.

GBD 2021 OTHER MUSCULOSKELETAL DISORDERS COLLABORATORS. Global, regional, and national burden of other musculoskeletal disorders, 1990-2020, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. **Lancet Rheumatol**, 20231023, v.5, n. 11, p. e670-e682, DOI: 10.1016/S2665-9913(23)00232-1. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37927903>. Acesso em: Nov.

GENG, T.; ZHU, K.; LU, Q.; WAN, Z. *et al.* Healthy lifestyle behaviors, mediating biomarkers, and risk of microvascular complications among individuals with type 2 diabetes: A cohort study. **PLoS Med**, v. 20, n. 1, p. e1004135, Jan 2023. Doi: 10.1371/journal.pmed.1004135. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36626356>.

GRACIA-SANCHEZ, A.; LOPEZ-PINEDA, A.; NOUNI-GARCIA, R.; ZUNICA-GARCIA, S. *et al.* Impact of Exercise Training in Patients with Diabetic Peripheral Neuropathy: An Umbrella Review. **Sports Med Open**, v. 11, n. 1, p. 75, Jun 15 2025. Doi: 10.1186/s40798-025-00863-4. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/40517337>.

GREEN, S. B. How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis. **Multivariate**

Behav Res, v. 26, n. 3, p. 499-510, Jul 1 1991. Doi: 10.1207/s15327906mbr2603_7.
Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26776715>.

GUERRA, R. S.; AMARAL, T. F. Comparison of hand dynamometers in elderly people. **J Nutr Health Aging**, v. 13, n. 10, p. 907-912, Dec 2009. Doi: 10.1007/s12603-009-0250-3.
Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19924352>.

HAMED HAMED, D.; STRUYF, F.; PRUIMBOOM, L.; NAVARRO-LEDESMA, S. Efficacy of combined strategies of physical activity, diet and sleep disorders as treatment in patients with chronic shoulder pain. A systematic review. **Front Physiol**, v. 14, p. 1221807, 2023. Doi: 10.3389/fphys.2023.1221807. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37731546>.

HARDING, J. L.; PAVKOV, M. E.; MAGLIANO, D. J.; SHAW, J. E. *et al.* Global trends in diabetes complications: a review of current evidence. **Diabetologia**, v. 62, n. 1, p. 3-16, Jan 2019. Doi: 10.1007/s00125-018-4711-2. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30171279>.

HASTINGS, M. K.; JEONG, H. J.; SORENSEN, C. J.; ZELLERS, J. A. *et al.* Relationships within and between lower and upper extremity dysfunction in people with diabetes. **Foot (Edinb)**, v. 44, p. 101680, Sep 2020. Doi: 10.1016/j.foot.2020.101680. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32679515>.

HAUS, J. M.; CARRITHERS, J. A.; TRAPPE, S. W.; TRAPPE, T. A. Collagen, cross-linking, and advanced glycation end products in aging human skeletal muscle. **J Appl Physiol (1985)**, v. 103, n. 6, p. 2068-2076, Dec 2007. Doi: 10.1152/jappphysiol.00670.2007. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17901242>.

JEBSEN, R. H.; TAYLOR, N.; TRIESCHMANN, R. B.; TROTTER, M. J. *et al.* An objective and standardized test of hand function. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 50, n. 6, p. 311-319, Jun 1969. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5788487>.

JUEL, N. G.; BROX, J. I.; BRUNBORG, C.; HOLTE, K. B. *et al.* Very High Prevalence of Frozen Shoulder in Patients With Type 1 Diabetes of ≥ 45 Years' Duration: The Dialong Shoulder Study. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 98, n. 8, p. 1551-1559, Aug 2017. Doi: 10.1016/j.apmr.2017.01.020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28219686>.

KAKA, B.; MAHARAJ, S. S.; FATOYE, F. Prevalence of musculoskeletal disorders in patients with diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. **J Back Musculoskelet Rehabil**, v. 32, n. 2, p. 223-235, 2019. Doi: 10.3233/BMR-171086. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30248032>.

KAMML, J.; ACEVEDO, C.; KAMMER, D. S. Advanced-Glycation Endproducts: How cross-linking properties affect the collagen fibril behavior. **J Mech Behav Biomed Mater**, v. 148, p. 106198, Dec 2023. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2023.106198. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37890341>.

KARSIDAG, S.; MORALI, S.; SARGIN, M.; SALMAN, S. *et al.* The electrophysiological findings of subclinical neuropathy in patients with recently diagnosed type 1 diabetes mellitus. **Diabetes Res Clin Pract**, v. 67, n. 3, p. 211-219, Mar 2005. Doi: 10.1016/j.diabres.2004.07.017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15713353>.

KATOH, M. Test-retest reliability of isometric shoulder muscle strength measurement with a

handheld dynamometer and belt. **J Phys Ther Sci**, v. 27, n. 6, p. 1719-1722, Jun 2015. Doi: 10.1589/jpts.27.1719. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26180305>.

KELLEY, M. J.; SHAFFER, M. A.; KUHN, J. E.; MICHENER, L. A. *et al.* Shoulder pain and mobility deficits: adhesive capsulitis. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 43, n. 5, p. A1-31, May 2013. Doi: 10.2519/jospt.2013.0302. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23636125>.

KENDER, Z.; GROENER, J. B.; JENDE, J. M. E.; KURZ, F. T. *et al.* Diabetic neuropathy is a generalized phenomenon with impact on hand functional performance and quality of life. **Eur J Neurol**, v. 29, n. 10, p. 3081-3091, Oct 2022. Doi: 10.1111/ene.15446. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35700123>.

KOISHI, H.; GOTO, A.; TANAKA, M.; OMORI, Y. *et al.* In vivo three-dimensional motion analysis of the shoulder joint during internal and external rotation. **Int Orthop**, v. 35, n. 10, p. 1503-1509, Oct 2011. Doi: 10.1007/s00264-011-1219-5. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21674293>.

KOLBER, M. J.; FULLER, C.; MARSHALL, J.; WRIGHT, A. *et al.* The reliability and concurrent validity of scapular plane shoulder elevation measurements using a digital inclinometer and goniometer. **Physiother Theory Pract**, v. 28, n. 2, p. 161-168, Feb 2012. Doi: 10.3109/09593985.2011.574203. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21721999>.

LASLETT, L. L.; BURNET, S. P.; REDMOND, C. L.; MCNEIL, J. D. Predictors of shoulder pain and shoulder disability after one year in diabetic outpatients. **Rheumatology (Oxford)**, v. 47, n. 10, p. 1583-1586, Oct 2008. Doi: 10.1093/rheumatology/ken333. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18713767>.

LIAGHAT, B.; FOLKESTAD, L.; SKOU, S. T.; KOES, B. *et al.* Prevalence and consequences of musculoskeletal pain in the upper and lower extremities: A cross-sectional analysis of patients with type 1 and type 2 diabetes in Denmark. **Prim Care Diabetes**, v. 17, n. 3, p. 267-272, Jun 2023. Doi: 10.1016/j.pcd.2023.02.003. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36890059>.

LIMA, K.; DE FREITAS, P. Avaliação da função manual e da força de preensão palmar máxima em indivíduos com diabetes mellitus. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 19, 12/01 2012. Doi: 10.1590/S1809-29502012000400014.

LIMA, K. C. A.; BORGES, L. D. S.; HATANAKA, E.; ROLIM, L. C. *et al.* Grip force control and hand dexterity are impaired in individuals with diabetic peripheral neuropathy. **Neurosci Lett**, v. 659, p. 54-59, Oct 17 2017. Doi: 10.1016/j.neulet.2017.08.071. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28867590>.

LIU, X.; XU, Y.; AN, M.; ZENG, Q. The risk factors for diabetic peripheral neuropathy: A meta-analysis. **PLoS One**, v. 14, n. 2, p. e0212574, 2019. Doi: 10.1371/journal.pone.0212574. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30785930>.

MAGLIANO, D. I. D. A. T. E. S. C. **IDF DIABETES ATLAS [Internet]. 10th edition.** Brussels: 2021. 978-2-930229-98-0. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK581934/>.

MARTINS, J.; NAPOLES, B. V.; HOFFMAN, C. B.; OLIVEIRA, A. S. The Brazilian version of Shoulder Pain and Disability Index: translation, cultural adaptation and reliability. **Rev Bras**

Fisioter, v. 14, n. 6, p. 527-536, Nov-Dec 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21340248>.

MATHIOWETZ, V.; KASHMAN, N.; VOLLAND, G.; WEBER, K. *et al.* Grip and pinch strength: normative data for adults. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 66, n. 2, p. 69-74, Feb 1985. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3970660>.

MICHENER, L. A.; BOARDMAN, N. D.; PIDCOE, P. E.; FRITH, A. M. Scapular muscle tests in subjects with shoulder pain and functional loss: reliability and construct validity. **Phys Ther**, v. 85, n. 11, p. 1128-1138, Nov 2005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16253043>.

MOLSTED, S.; TRIBLER, J.; SNORGAARD, O. Musculoskeletal pain in patients with type 2 diabetes. **Diabetes Res Clin Pract**, v. 96, n. 2, p. 135-140, May 2012. Doi: 10.1016/j.diabres.2011.12.022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22244365>.

MOOSHAGE, C. M.; TSILINGIRIS, D.; SCHIMPFLE, L.; FLEMING, T. *et al.* Intra-dermal Advanced Glycation End-products Relate to Reduced Sciatic Nerve Structural Integrity in Type 2 Diabetes. **Clin Neuroradiol**, v. 35, n. 2, p. 385-394, Jun 2025. Doi: 10.1007/s00062-024-01493-1. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/39880998>.

OCHOA, N.; GORNIK, S. L. Changes in sensory function and force production in adults with type II diabetes. **Muscle Nerve**, v. 50, n. 6, p. 984-990, Dec 2014. Doi: 10.1002/mus.24261. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24710967>.

OH, T. J.; KANG, S.; LEE, J. E.; MOON, J. H. *et al.* Association between deterioration in muscle strength and peripheral neuropathy in people with diabetes. **J Diabetes Complications**, v. 33, n. 8, p. 598-601, Aug 2019. Doi: 10.1016/j.jdiacomp.2019.04.007. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31129004>.

ORLANDO, G.; BALDUCCI, S.; BOULTON, A. J. M.; DEGENS, H. *et al.* Neuromuscular dysfunction and exercise training in people with diabetic peripheral neuropathy: A narrative review. **Diabetes Res Clin Pract**, v. 183, p. 109183, Jan 2022. Doi: 10.1016/j.diabres.2021.109183. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34929255>.

PAGE, M. J.; O'CONNOR, D. A.; MALEK, M.; HAAS, R. *et al.* Patients' experience of shoulder disorders: a systematic review of qualitative studies for the OMERACT Shoulder Core Domain Set. **Rheumatology (Oxford)**, Mar 6 2019. Doi: 10.1093/rheumatology/kez046. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30843587>.

PAPACHRISTOU, S.; PAFILI, K.; PAPANAS, N. Skin AGEs and diabetic neuropathy. **BMC Endocr Disord**, v. 21, n. 1, p. 28, Feb 23 2021. Doi: 10.1186/s12902-021-00697-7. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33622304>.

PEDUZZI, P.; CONCATO, J.; KEMPER, E.; HOLFORD, T. R. *et al.* A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis. **J Clin Epidemiol**, v. 49, n. 12, p. 1373-1379, Dec 1996. Doi: 10.1016/s0895-4356(96)00236-3. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8970487>.

PEREA, J.; KORTSTEE, J.; GOOSSENS, Z.; RUNGE, N. *et al.* Identifying comorbid obstructive sleep apnea in chronic musculoskeletal pain: A systematic review. **J Pain**, v. 30, p. 105351, May 2025. Doi: 10.1016/j.jpain.2025.105351. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/40015580>.

PICON, A. P.; ORTEGA, N. R.; WATARI, R.; SARTOR, C. *et al.* Classification of the severity of diabetic neuropathy: a new approach taking uncertainties into account using fuzzy logic. **Clinics (Sao Paulo)**, v. 67, n. 2, p. 151-156, 2012. Doi: 10.6061/clinics/2012(02)10. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22358240>.

POP-BUSUI, R.; BOULTON, A. J.; FELDMAN, E. L.; BRIL, V. *et al.* Diabetic Neuropathy: A Position Statement by the American Diabetes Association. **Diabetes Care**, v. 40, n. 1, p. 136-154, Jan 2017. Doi: 10.2337/dc16-2042. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27999003>.

PORTNEY, L. W., MP. **Foundations of Clinical Research: Applications to Practice**. 3rd Edition ed. 2009.

REDDY, G. K. Cross-linking in collagen by nonenzymatic glycation increases the matrix stiffness in rabbit achilles tendon. **Exp Diabetes Res**, v. 5, n. 2, p. 143-153, Apr-Jun 2004. Doi: 10.1080/15438600490277860. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15203885>.

RHEE, S. Y.; KIM, Y. S. The Role of Advanced Glycation End Products in Diabetic Vascular Complications. **Diabetes Metab J**, v. 42, n. 3, p. 188-195, Jun 2018. Doi: 10.4093/dmj.2017.0105. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29885110>.

RIBEIRO, L. P.; BARRETO, R. P. G.; PEREIRA, N. D.; CAMARGO, P. R. Comparison of scapular kinematics and muscle strength between those with a positive and a negative Scapular Assistance Test. **Clin Biomech (Bristol)**, v. 73, p. 166-171, Mar 2020. Doi: 10.1016/j.clinbiomech.2019.12.030. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32000046>.

RIETZ, M.; LEHR, A.; MINO, E.; LANG, A. *et al.* Physical Activity and Risk of Major Diabetes-Related Complications in Individuals With Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. **Diabetes Care**, v. 45, n. 12, p. 3101-3111, Dec 1 2022. Doi: 10.2337/dc22-0886. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36455117>.

ROTA, E.; QUADRI, R.; FANTI, E.; ISOARDO, G. *et al.* Electrophysiological findings of peripheral neuropathy in newly diagnosed type II diabetes mellitus. **J Peripher Nerv Syst**, v. 10, n. 4, p. 348-353, Dec 2005. Doi: 10.1111/j.1085-9489.2005.00046.x. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16279983>.

RYDBERG, M.; ZIMMERMAN, M.; GOTTSATER, A.; NILSSON, P. M. *et al.* Diabetes mellitus as a risk factor for compression neuropathy: a longitudinal cohort study from southern Sweden. **BMJ Open Diabetes Res Care**, v. 8, n. 1, Apr 2020. Doi: 10.1136/bmjdr-2020-001298. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32299900>.

SABARI, J. S.; MALTZEV, I.; LUBARSKY, D.; LISZKAY, E. *et al.* Goniometric assessment of shoulder range of motion: comparison of testing in supine and sitting positions. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 79, n. 6, p. 647-651, Jun 1998. Doi: 10.1016/s0003-9993(98)90038-7. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9630143>.

SACCO, I. C. N.; SUDA, E. Y.; GOMES, A. A. Management of neuropathy musculoskeletal deficits is much more than general global exercises: physiotherapy-based programs for diabetes long-term complications. **J Appl Physiol (1985)**, v. 122, n. 6, p. 1523-1524, Jun 1

2017. Doi: 10.1152/japplphysiol.00128.2017. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28637833>.

SAFFORD, D. W.; SHAH, K. M.; TURNER, J. A.; MCCLURE, P. W. Measurement Properties of the Timed Functional Arm and Shoulder Test in Patients With Shoulder Problems. **Phys Ther**, v. 103, n. 2, Feb 1 2023. Doi: 10.1093/ptj/pzac144. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36300293>.

SARTOR, C. D.; OLIVEIRA, M. D.; CAMPOS, V.; FERREIRA, J. *et al.* Cross-cultural adaptation and measurement properties of the Brazilian Version of the Michigan Neuropathy Screening Instrument. **Braz J Phys Ther**, v. 22, n. 3, p. 222-230, May-Jun 2018. Doi: 10.1016/j.bjpt.2017.10.004. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29175181>.

SASAKI, H.; KAWAMURA, N.; DYCK, P. J.; DYCK, P. J. B. *et al.* Spectrum of diabetic neuropathies. **Diabetol Int**, v. 11, n. 2, p. 87-96, Apr 2020. Doi: 10.1007/s13340-019-00424-7. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32206478>.

SAVELIEFF, M. G.; ELAFROS, M. A.; VISWANATHAN, V.; JENSEN, T. S. *et al.* The global and regional burden of diabetic peripheral neuropathy. **Nat Rev Neurol**, v. 21, n. 1, p. 17-31, Jan 2025. Doi: 10.1038/s41582-024-01041-y. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/39639140>.

SCIBEK, J. S.; CARCIA, C. R. Assessment of scapulohumeral rhythm for scapular plane shoulder elevation using a modified digital inclinometer. **World J Orthop**, v. 3, n. 6, p. 87-94, Jun 18 2012. Doi: 10.5312/wjo.v3.i6.87. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22720268>.

SEARS, E. D.; CHUNG, K. C. Validity and responsiveness of the Jebsen-Taylor Hand Function Test. **J Hand Surg Am**, v. 35, n. 1, p. 30-37, Jan 2010. Doi: 10.1016/j.jhsa.2009.09.008. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19954898>.

SHAH, K. M.; BAKER, T.; DINGLE, A.; HANSMEIER, T. *et al.* Early Development and Reliability of the Timed Functional Arm and Shoulder Test. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 47, n. 6, p. 420-431, Jun 2017. Doi: 10.2519/jospt.2017.7136. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28257615>.

SHAH, K. M.; CLARK, B. R.; MCGILL, J. B.; LANG, C. E. *et al.* Relationship Between Skin Intrinsic Fluorescence--an Indicator of Advanced Glycation End Products--and Upper Extremity Impairments in Individuals With Diabetes Mellitus. **Phys Ther**, v. 95, n. 8, p. 1111-1119, Aug 2015a. Doi: 10.2522/ptj.20140340. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25858973>.

SHAH, K. M.; CLARK, B. R.; MCGILL, J. B.; MUELLER, M. J. Upper extremity impairments, pain and disability in patients with diabetes mellitus. **Physiotherapy**, v. 101, n. 2, p. 147-154, Jun 2015b. Doi: 10.1016/j.physio.2014.07.003. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25442298>.

SHAH, K. M.; RUTH CLARK, B.; MCGILL, J. B.; LANG, C. E. *et al.* Shoulder limited joint mobility in people with diabetes mellitus. **Clin Biomech (Bristol)**, v. 30, n. 3, p. 308-313, Mar 2015c. Doi: 10.1016/j.clinbiomech.2014.12.013. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25595462>.

SHAH, S. Z. A.; KARAM, J. A.; ZEB, A.; ULLAH, R. *et al.* Movement is Improvement: The

Therapeutic Effects of Exercise and General Physical Activity on Glycemic Control in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. **Diabetes Ther**, v. 12, n. 3, p. 707-732, Mar 2021. Doi: 10.1007/s13300-021-01005-1. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33547579>.

SHINOHARA, I.; MIFUNE, Y.; INUI, A.; NISHIMOTO, H. *et al.* Advanced glycation end products are associated with limited range of motion of the shoulder joint in patients with rotator cuff tears associated with diabetes mellitus. **BMC Musculoskelet Disord**, v. 23, n. 1, p. 271, Mar 22 2022. Doi: 10.1186/s12891-022-05229-5. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35317765>.

SIERRA-SILVESTRE, E.; SMITH, R. E.; ANDRADE, R. J.; KENNEDY, B. *et al.* Microstructural changes in the median and ulnar nerve in people with and without diabetic neuropathy in their hands: A cross-sectional diffusion MRI study. **Eur J Radiol**, v. 181, p. 111721, Dec 2024. Doi: 10.1016/j.ejrad.2024.111721. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/39260209>.

SIMON-VICENTE, L.; RIVADENEYRA, J.; MARISCAL, N.; AGUADO, L. *et al.* Impact of Upper Limb Function on Activities of Daily Living and Quality of Life in Huntington's Disease. **J Clin Med**, v. 14, n. 1, Dec 31 2024. Doi: 10.3390/jcm14010168. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/39797251>.

SIU, K. K.; ZHENG, L. B.; KO, J. Y.; WANG, F. S. *et al.* Increased interleukin 1beta levels in the subacromial fluid in diabetic patients with rotator cuff lesions compared with nondiabetic patients. **J Shoulder Elbow Surg**, v. 22, n. 11, p. 1547-1551, Nov 2013. Doi: 10.1016/j.jse.2013.01.011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23523071>.

SORENSEN, C. J.; HASTINGS, M. K.; LANG, C. E.; MCGILL, J. B. *et al.* Relationship of shoulder activity and skin intrinsic fluorescence with low level shoulder pain and disability in people with type 2 diabetes. **J Diabetes Complications**, v. 31, n. 6, p. 983-987, Jun 2017. Doi: 10.1016/j.jdiacomp.2017.03.005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28392042>.

STRUYF, F.; MERTENS, M. G.; NAVARRO-LEDESMA, S. Causes of Shoulder Dysfunction in Diabetic Patients: A Review of Literature. **Int J Environ Res Public Health**, v. 19, n. 10, May 20 2022. Doi: 10.3390/ijerph19106228. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35627764>.

TURAL, E.; DAYAN, A. Shoulder pain and functionality in Type-2 diabetic patients: A cross-sectional study of relationships with HbA1c levels and diabetes complications. **Pak J Med Sci**, v. 41, n. 8, p. 2213-2219, Aug 2025. Doi: 10.12669/pjms.41.8.12122. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/40980364>.

WATARI, R.; SARTOR, C. D.; PICON, A. P.; BUTUGAN, M. K. *et al.* Effect of diabetic neuropathy severity classified by a fuzzy model in muscle dynamics during gait. **J Neuroeng Rehabil**, v. 11, p. 11, Feb 8 2014. Doi: 10.1186/1743-0003-11-11. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24507153>.

WATSON, J. C.; DYCK, P. J. Peripheral Neuropathy: A Practical Approach to Diagnosis and Symptom Management. **Mayo Clin Proc**, v. 90, n. 7, p. 940-951, Jul 2015. Doi: 10.1016/j.mayocp.2015.05.004. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26141332>.

WEINSTEIN, S. Fifty years of somatosensory research: from the Semmes-Weinstein

monofilaments to the Weinstein Enhanced Sensory Test. **J Hand Ther**, v. 6, n. 1, p. 11-22; discussion 50, Jan-Mar 1993. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8343870>.

WEXLER, R.; MELCHIOR, H. Dorsal sensory impairment in hands and feet of people affected by Hansen's disease in Israel. **Lepr Rev**, v. 78, n. 4, p. 362-368, Dec 2007. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18309710>.

YOUNAS, S.; FATIMA, A. COMPARISON OF SHOULDER PAIN, DISABILITY AND RANGE OF MOTION IN DIABETIC AND NON-DIABETIC PATIENTS WITH FROZEN SHOULDER. **KHYBER MEDICAL UNIVERSITY JOURNAL**, v. 12, n. 3, p. 221-224, 09/30 2020. Doi: 10.35845/kmuj.2020.19483. Disponível em: <https://www.kmuj.kmu.edu.pk/article/view/19483>. Acesso em : 2026/02/02.

ZACCAGNI, L.; TOSELLI, S.; BRAMANTI, B.; GUALDI-RUSSO, E. *et al.* Handgrip Strength in Young Adults: Association with Anthropometric Variables and Laterality. **Int J Environ Res Public Health**, v. 17, n. 12, Jun 15 2020. Doi: 10.3390/ijerph17124273. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32549283>.

ZHANG, Q.; LIN, Y.; LIU, X.; ZHANG, L. *et al.* Diabetic Peripheral Neuropathy Affects Pinch Strength and Hand Dexterity in Elderly Patients. **Neural Plast**, v. 2021, p. 9959103, 2021. Doi: 10.1155/2021/9959103. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34335735>.

ZHU, J.; HU, Z.; LUO, Y.; LIU, Y. *et al.* Diabetic peripheral neuropathy: pathogenetic mechanisms and treatment. **Front Endocrinol (Lausanne)**, v. 14, p. 1265372, 2023. Doi: 10.3389/fendo.2023.1265372. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38264279>.

ZILLIOX, L. A.; RUSSELL, J. W. Physical activity and dietary interventions in diabetic neuropathy: a systematic review. **Clin Auton Res**, v. 29, n. 4, p. 443-455, Aug 2019. Doi: 10.1007/s10286-019-00607-x. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31076938>.

ZREIK, N. H.; MALIK, R. A.; CHARALAMBOUS, C. P. Adhesive capsulitis of the shoulder and diabetes: a meta-analysis of prevalence. **Muscles Ligaments Tendons J**, v. 6, n. 1, p. 26-34, Jan-Mar 2016. Doi: 10.11138/mltj/2016.6.1.026. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27331029>.

9 APÊNDICE

9.1 Apêndice 1

Avaliação dos sintomas de NPD nos MMSS
Você sente dormência nos braços e/ou mãos?
Você sente dor em queimação nos braços e/ou nas mãos?
Seus braços e/ou mãos são muito sensíveis ao toque?
Você tem câibras musculares nos braços e/ou nas mãos?
Você sente formigamentos nos braços e/ou mãos?
Você tem sensação de agulhadas nos braços e/ou mãos?
Dói quando a roupa de cama toca a pele dos seus braços ou mãos?
Quando você entra na banheira ou no chuveiro, consegue distinguir a água quente da fria nos seus braços e mãos?
Os seus sintomas nos braços e/ou mãos pioram à noite?
Os seus sintomas nos braços e/ou mãos pioram quando está em repouso?
A pele dos seus braços e/ou mãos é muito seca?