ANÁLISE DO DESEMPENHO FUNCIONAL SENSÓRIO-MOTOR DE PACIENTES PÓS-AVC EM USO DE ÓRTESES FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA

Ana Lívia Mancilha[1], Tiago Kennedy Soares[1], Carlos Eduardo Oliveira da Silva[1], Luis Filipe Beloni [1], Maria Elizete Kunkel[2], Mario Oliveira Lima[1].

[1]Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, livinha.mancilha5@gmail.com, tiagoksoares@gmail.com, mol@univap.br.
[2]Universidade Federal de São Paulo, Rua Talim, 330 – Vila Nair – São José dos Campos – SP, Brasil.

Resumo

O acidente vascular cerebral (AVC) é uma das principais causas de incapacidade funcional no mundo, com sequelas motoras, como a espasticidade, que afetam significativamente a qualidade de vida. O uso de órteses pode prevenir deformidades e melhorar a mobilidade dos membros superiores. O objetivo deste estudo é analisar a performance sensório-motora de indivíduos com AVC após o uso de órteses de membros superiores (MMSS) confeccionadas por meio de manufatura aditiva. Foram incluídos 7 voluntários em fase crônica, avaliados quanto à espasticidade, força muscular, amplitude de movimento e funcionalidade. A geometria do membro foi obtida por escaneamento 3D, permitindo a modelagem e fabricação de órteses estáticas personalizadas. O estudo foi dividido em quatro etapas: avaliação clínica, escaneamento e modelagem, uso diário da órtese por 30 dias e reavaliações. Conclui-se que a utilização de órteses personalizadas, desenvolvidas por meio da manufatura aditiva (impressão 3D), contribuiu para a melhora do desempenho funcional sensório-motor dos membros superiores em pacientes acometidos por acidente vascular cerebral (AVC).

Palavras-chave: Acidente vascular cerebral. Hemiparesia espástica. Órtese. Manufatura aditiva.

Área do Conhecimento: Fisioterapia.

Introdução

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) acontece quando o fluxo sanguíneo para o cérebro é interrompido, levando à morte de células cerebrais (OMS, 2025). Essa interrupção do fluxo sanguíneo pode ocorrer devido a uma ruptura não traumática e espontânea de um vaso, ocasionando o AVC hemorrágico (Silva; Carmo, 2023), ou também por uma obstrução decorrente de um coágulo sanguíneo e/ou de um depósito de gordura provocado pela aterosclerose (Alexandrov; Krishnaiah; Levin, 2025). As manifestações clínicas do comprometimento da artéria cerebral média incluem hemiplegia, hemiparesia, afasia, hemi-hipostesia e outras alterações funcionais (Viana, et al., 2025).

Do ponto de vista biomecânico, pacientes após o AVC podem apresentar alterações importantes no controle e na execução dos movimentos do membro superior, relacionadas à fraqueza muscular, perda do controle motor seletivo, alterações sensoriais e aumento do tônus muscular. A espasticidade dos músculos pode favorecer a manutenção do membro em posturas pouco funcionais, com tendência à adução e rotação interna do ombro, flexão do cotovelo, pronação do antebraço e flexão do punho e dos dedos, modificando o alinhamento articular e a distribuição das forças sobre músculos, tendões e articulações (Kawamura et al., 2022; Demeco et al., 2023). Quando essas alterações permanecem por períodos prolongados, a redução da mobilidade e a manutenção dos tecidos em posições encurtadas podem contribuir para aumento da rigidez passiva, perda de amplitude de movimento e desenvolvimento de contraturas (Yang et al., 2021).

Uma órtese é um apoio ou dispositivo externo aplicado ao corpo para modificar aspectos funcionais ou estruturais do sistema neuromusculoesquelético, visando obter alguma vantagem mecânica ou ortopédica (Benasuly, Barragán., 2003). Aliadas ao processo de reabilitação após um AVC, destacam-se as órteses de membro superior fabricadas por manufatura aditiva, uma inovação que oferece personalização e proporciona melhor funcionalidade (Kunkel, et al., 2024). Além disso, o uso da impressão 3D para a confecção desses dispositivos apresenta baixo custo e maior precisão no desenvolvimento das peças (Morimoto, et al., 2020).

A Eletromiografia (EMG) analisa a atividade elétrica neuromuscular através da captação, via eletrodos de superfície, dos potenciais de ação das fibras musculares expressos em voltagem ao longo do tempo (Silva et al., 2012). Segundo a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para processar esses dados, utiliza-se a Transformada Rápida de Fourier (FFT), um algoritmo capaz de converter rapidamente essa série de sinais discretos na amostra de suas frequências correspondentes. A partir disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar e comparar o desempenho funcional sensório-motor do membro superior acometido em pacientes pós-AVC, decorrente da intervenção com órteses personalizadas confeccionadas via manufatura aditiva.

Metodologia

Esta pesquisa relata a média de sete Case Reports de pacientes que participaram voluntariamente. Após a avaliação e aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa (CEP), número de referência 7.294.417 o projeto foi realizado em parceria com o Laboratório Mão 3D UNIFESP – Campus Talim em São José dos Campos/SP com a participação do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento/ Laboratório de Engenharia de Reabilitação Sensório Motora /Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP). Foram desenvolvidas órteses estáticas personalizadas por manufatura aditiva, destinadas à reabilitação de pacientes pós-AVC. A abordagem do Human-Centred Design foi aplicada ao longo das quatro etapas da pesquisa.

As coletas de dados foram realizadas com pacientes de ambos os gêneros, com idade igual ou superior a 18 anos, diagnosticados com acidente vascular cerebral (AVC), e com diagnóstico fisioterápico de hemiparesia espástica com predomínio braquial, com ou sem presença de movimento ativo no cotovelo; grau 2-4 de espasticidade segundo a Escala de Ashworth Modificada e grau de força muscular mínimo de 1, para bíceps e tríceps braquial, flexores de punho e dedos e preensor palmar. Esses pacientes participaram voluntariamente de 4 etapas dentro da pesquisa,

Na Etapa 1 (E1), foi realizada a avaliação clínica dos participantes voluntários. Essa avaliação consistiu no preenchimento do questionário sociodemográfico, aplicação da Escala de Ashworth Modificada, mensuração do potencial elétrico dos músculos da articulação do punho nos gestos de flexão e extensão ativas por meio de eletromiografia de superfície dos músculos palmar longo e extensor radial do carpo, avaliação funcional utilizando a Medida de Independência Funcional (MIF) e investigação do impacto da espasticidade de predomínio braquial na qualidade de vida por meio do questionário Stroke-Specific Quality of Life (SS-QOL).

Na Etapa 2 (E2), realizou-se a aquisição da geometria do membro superior parético dos voluntários por meio de escaneamento 3D, utilizando o scanner EinStar v1.2, baseado em luz estruturada infravermelha VCSEL, com precisão entre 0,1 mm e 3 mm, acoplado a um computador modelo Avell 7 com alta capacidade processamento (Core i7) e processada por meio do software ExStar v1.2.2. Em seguida, foi realizada a modelagem tridimensional por meio de um software de modelamento 3D denominado Blender versão 5.0 e por fim, a impressão 3D do modelo escaneado. A impressão foi realizada utilizando-se de filamento de material polimérico PLAem uma impressora de alto fluxo modelo K1 (Creality).

A Etapa 3 (E3), consistiu na entrega da órtese personalizada aos pacientes, acompanhada das orientações para uso diário com intervalo intermitente de 3 horas por um período de 30 dias. Ao final desse período, os participantes retornaram para reavaliação funcional e aplicação da Escala Likert de Satisfação. Ajustes nas órteses foram realizados com base nas percepções individuais dos voluntários, considerando o design e o material utilizado.

Na Etapa 4 (E4), realizaram-se ajustes individualizados adicionais e, quando necessário, uma segunda órtese personalizada foi confeccionada e disponibilizada ao participante.

Para a análise dos dados obtidos, foram verificadas as normalidades dos dados pelo teste de Shapiro Wilk, e utilizado teste t pareado para dados normais e Wilcoxon para dados não normais, considerados os requisitos de variância. Para $p<0.05$ os dados avaliados não são semelhantes. O objetivo da análise foi verificar diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos parâmetros sensório-motores avaliados antes e após o uso das órteses personalizadas. Essa análise permitiu a comparação dos resultados em diferentes momentos da intervenção, considerando e atividade elétrica dos músculos, mensurada por meio de eletromiografia de superfície (EMG) permitindo a identificação de alterações significativas no desempenho funcional dos membros superiores ao longo do período de uso das órteses.

Resultados

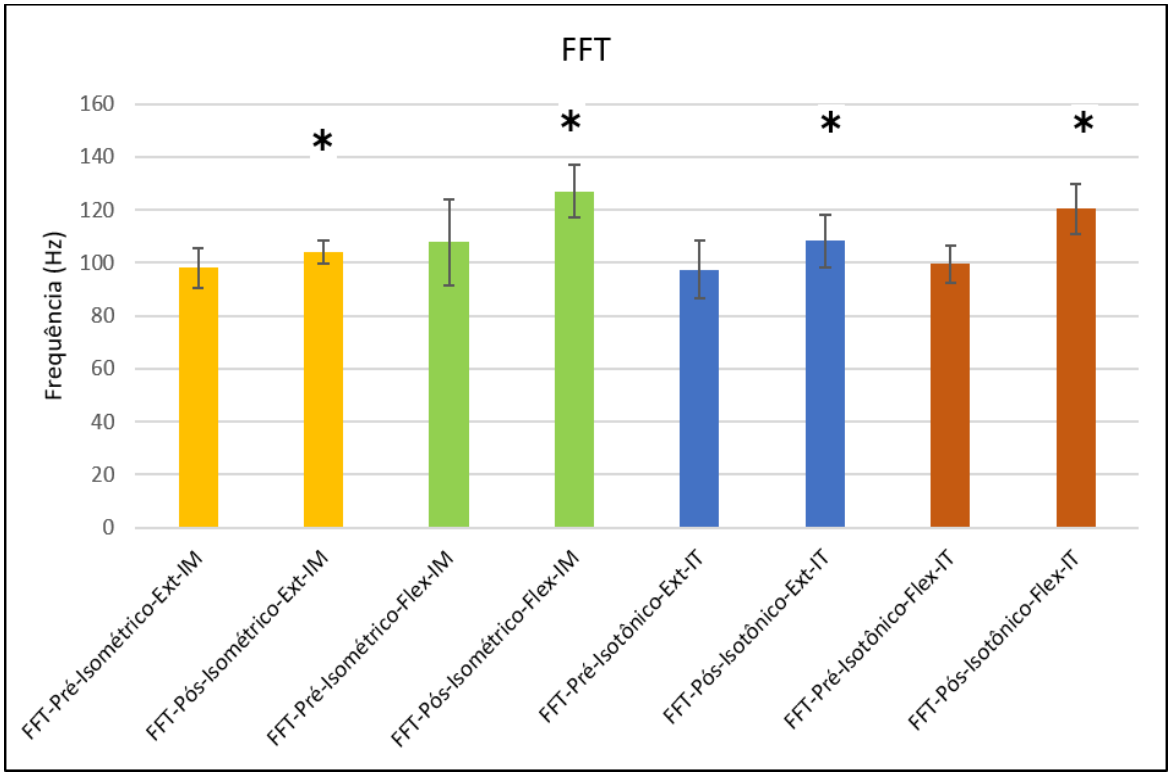
Os resultados estão expostos a seguir em formatos de tabela e expressão gráfica.

Tabela 1. Dados dos parâmetros analisados antes e depois do uso das órteses referentes.

	Extensão Isométrica		Flexão Isométrica		Extensão Isotônica		Flexão Isotônica	
	Pré	**Pós**	**Pré**	**Pós**	**Pré**	**Pós**	**Pré**	**Pós**
Média	98,0313	104,2112	107,7344	126,9884	97,5076	108,2201	99,4977	120,4847
Sd	4,4003	2,6880	10,7436	5,3358	5,2029	5,9800	3,5616	3,0232

Fonte: Elaborado pelos próprios Autores.

Figura 1. Exposição gráfica dos parâmetros analisados antes e depois do uso das órteses referentes.



Fonte: Elaborado pelos próprios Autores.

.

Na Tabela 1 observa-se que, na extensão isométrica, houve uma melhora funcional nos valores médios após o uso das órteses (de 98,03 ± 4,40 μV para 104,2112± 2,68 μV). Na flexão isométrica também foi possível observar melhora (107,73 ± 10,74 μV para 126,98 ± 5,33 μV) com aumento de 17,87%. Os valores obtidos na extensão isotônica, nota-se um pequeno aumento após o uso das órteses (de 97,50 ± 5,20 μV para 108,22 ± 5,98 μV). E na flexão isotônica, houve um aumento considerável nos valores (de 99,49 ± 3,56 μV para 120,48 ± 3,02 μV) registrando 21,10%.

Discussão

As tecnologias de manufatura avançada, como a impressão 3D, têm cada vez mais desempenhado um papel de destaque nos processos de reabilitação, principalmente por permitirem a criação de dispositivos personalizados, como órteses que se adaptam às necessidades específicas de cada paciente. Esse tipo de customização contribui para mais conforto e funcionalidade, além de melhorar a recuperação motora. Junto a esse avanço, a confiabilidade dos métodos de avaliação sensório-motora, como a eletromiografia de superfície (EMG), é fundamental para monitorar a resposta muscular e a força durante o tratamento. A EMG permite analisar a ativação dos músculos de forma não invasiva, enquanto fornece dados proporcionais e precisos a respeito da força desses músculos, essencial para ajustar e validar os protocolos de reabilitação (Radar, 2018).

Após a análise dos dados obtidos neste estudo, foi possível observar que os pacientes apresentaram melhora na performance sensório-motora com destaque para flexão de punho, tanto isométrica quanto isotônica. A observação dessa melhora ocorre devido a utilização da órtese o membro permanece em um alongamento passivo pelo determinando período e com a quebra do padrão patológico, causando uma acomodação do reflexo de estiramento, consequentemente reduzindo a resposta reflexa do tônus, assim facilitando o tratamento e a execução das tarefas do cotidiano

A literatura aponta casos similares como (Silva, Souza, Pereira et al. 2017) ao realizarem seus estudos utilizando EMG e teste de preensão palmar, puderam encontrar uma afinidade entre os dois tipos de avaliação, onde mostrou que o teste de força de preensão palmar e a EMG possuem uma semelhança na quantificação da atividade neuromuscular. Em uma análise realizada de maneira mais detalhada, foi possível observar um desempenho com diferentes particularidades entre os setes casos reportados. A exemplo:

Os pacientes apresentaram melhora significativa em flexão isotônica e isométrica; Pacientes com maior grau de funcionalidade demonstraram ganho expressivo em flexão isotônica, ganho substancial em flexão isométrica, ganho notável em extensão isotônica

Alguns pacientes relataram melhora nos movimentos finos e nas atividades do cotidiano. Para que isso fosse possível, atribuiu-se ao uso da órtese a potencialização de melhora em: extensão isométrica, ganhou aumento substancial flexão isométrica, ganho notável em flexão isotônica; resultando em uma melhora funcional. Sugere-se que estes pacientes tenham apresentado tal desempenho devido ao fato de encontrarem-se em uma etapa crônica de tratamento (Fase de treinamento) e possuírem maior grau de força muscular e independência.

Outros pacientes apresentaram melhora mais expressiva nos movimentos de extensão isotônica e isométrica do punho, embora essa melhora tenha sido menos acentuada em comparação aos outros pacientes. Essa diferença pode ser atribuída ao fato de os pacientes encontrarem-se em diferentes fases do tratamento. Alguns pacientes apresentaram desafios relacionados ao manejo do tratamento, manifestados por uma menor adesão às orientações prescritas, possivelmente decorrente de limitações na motivação para a realização dos exercícios. Essa condição causou impacto direto na consistência e a efetividade do tratamento, refletindo-se em um progresso mais lento na recuperação funcional.

Ao final do estudo, observou-se melhora no desempenho funcional e sensório-motor dos pacientes após o uso das órteses conforme hipoteticamente sugerido inicialmente. Esses resultados demonstram aspectos relevantes e promissores no uso da manufatura aditiva bem como nos métodos de avaliação propostos para casos de pacientes acometidos de AVC. Ainda que sejam necessários mais estudos neste âmbito com objetivo de reafirmar e consolidar as técnicas utilizadas, os resultados obtidos até então deixam pontos e conclusões interessantes para novas e futuras pesquisas.

Conclusão

A partir da análise quantitativa dos dados eletromiográficos obtidos, conclui-se que a intervenção com órteses personalizadas, confeccionadas por meio da tecnologia de manufatura aditiva (impressão 3D), promoveu uma melhora significativa no desempenho funcional sensório-motor dos membros superiores de pacientes acometidos por AVC. Tal evolução expressou-se de forma acentuada no ganho de controle e força muscular, com predomínio significativo nas ações de flexão isométrica e isotônica de punho.

A avaliação do sinal bioelétrico revelou uma reorganização neuromuscular favorável, evidenciando o potencial das órteses baseadas em manufatura aditiva para otimizar o alinhamento biomecânico e favorecer a neuroplasticidade. Dessa forma, a associação entre a impressão 3D e o monitoramento por eletromiografia demonstra ser uma estratégia altamente eficaz, viável e precisa para a reabilitação

neurofuncional personalizada, consolidando a tecnologia assistiva como um pilar fundamental no resgate da funcionalidade do membro superior parético.

Referências

ALEXANDROV, Andrei V.; KRISHNAIAH, Balaji. Acidente vascular cerebral isquêmico. Revisão colegiada por Michael C. Levin. **Manuais MSD**: Edição para Profissionais de Saúde, jun. 2025. Última atualização: jan. 2026. Disponível em: https://www.msdmanuals.com/pt/profissional/dist%C3%BArbios-neurol%C3%B3gicos/acidente-vascular-cerebral/acidente-vascular-cerebral-isqu%C3%AAmico. Acesso em: 17 ago. 2026.

BENASULY, A. E. L.; CORTÉS BARRAGÁN, J. M. Ortopodología y aparato locomotor. 1. ed. **Barcelona: Elsevier Masson**, 2003. 680 p. ISBN 978-84-458-1299-0. Disponível em: Agapea – Ortopodología y aparato locomotor. Acesso em: 17 ago. 2026.

DEMECO, A.; FORESTI, R.; FRIZZIERO, A.; DARACCHI, N.; RENZI, F.; ROVELLINI, M.; SALERNO, A.; MARTINI, C.; PELIZZARI, L.; COSTANTINO, C. The Upper Limb Orthosis in the Rehabilitation of Stroke Patients: The Role of 3D Printing. Bioengineering, Basel, v. 10, n. 11, art. 1256, 2023. DOI: 10.3390/bioengineering10111256. Disponível em: https://doi.org/10.3390/bioengineering10111256. Acesso em: 18 ago. 2026.

KAWAMURA, K.; ETOH, S.; NOMA, T. et al. Quantitative measurement of resistance force and subsequent attenuation during passive isokinetic extension of the wrist in patients with mild to moderate spasticity after stroke. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, [S. l.], v. 19, art. 110, 2022. DOI: 10.1186/s12984-022-01087-3. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12984-022-01087-3. Acesso em: 18 ago. 2026.

KUNKEL, M. E.; NEVES, M. F.; ORTEGA, L. M. R.; OMINE, B. Y.; GANGA, T. A. F. Inovação em reabilitação pós acidente vascular cerebral (AVC): órteses personalizadas com uso da manufatura aditiva. **Acta Fisiátrica**, [S. l.], v. 31, supl. 1, p. S56-S58, 2024. Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Medicina Física e Reabilitação. Acesso em: 17 ago. 2026.

MORIMOTO, S. Y. U.; CABRAL, A. K. P. S.; SANGUINETTI, D. C. M.; FREITAS, E. S. R.; MERINO, G. S. A. D.; COSTA, J. Â. P.; COELHO, W. K.; AMARAL, D. S. Órteses e próteses de membro superior impressas em 3D: uma revisão integrativa. **Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional**, [S. l.], v. 29, e2078, 2021. DOI: 10.1590/2526-8910.ctoAO2078. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoAO2078. Acesso em: 17 ago. 2026.

SILVA, D. D.; BORGES, A. C. L.; LIMA, M. O.; LIMA, F. P. S.; FREITAS, S. T. T.; NOGUEIRA, D. V.; LUCARELI, P. R. G.; JUNIOR, A. R. P.; COGO, J. C. Resistência ao movimento e atividade eletromiográfica dos músculos flexores e extensores de cotovelo em pacientes hemiparéticos espásticos submetidos à crioterapia e estimulação elétrica neuromuscular. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, [S. l.], v. 28, n. 3, p. 248-260, 2012. DOI: 10.4322/rbeb.2012.025. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbeb/a/Vkj8fG4JrbMDhhzHqLBc8Wd/. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, R. C. S.; CARMO, M. S. Acidente vascular cerebral: fisiopatologia e o papel da atenção primária à saúde. **Revista de Estudos Multidisciplinares**, São Luís, v. 3, n. 3, Edição Especial I JOMED UNDB, dez. 2023. ISSN 2238-7897. Acesso em: 15 ago. 2026.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. FFT. Física Computacional, Porto Alegre, [s. d.]. Disponível em: https://fiscomp.if.ufrgs.br/index.php/FFT. Acesso em: 20 ago. 2026.

VIANA, K. C. S.; COSTA, A. P. S; BELONI, L. F.; KUNKEL, M. E.; LIMA, M. O. Análise clínica: função sensório-motora em pacientes pós-AVC utilizando órtese produzida por manufatura aditiva. **Anais do**

XXIX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XXV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e XV Encontro de Iniciação à Docência, São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2025. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2025/anais/arquivos/0302_1023_01.pdf. Acesso em: 15 ago. 2026.

YANG, Y. S.; TSENG, C. H.; FANG, W. C.; HAN, I. W.; HUANG, S. C. Effectiveness of a New 3D-Printed Dynamic Hand-Wrist Splint on Hand Motor Function and Spasticity in Chronic Stroke Patients. Journal of Clinical Medicine, [S. l.], v. 10, n. 19, art. 4549, 2021. DOI: 10.3390/jcm10194549. Disponível em: https://doi.org/10.3390/jcm10194549. Acesso em: 18 ago. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Accident vasculaire cérébral (AVC). **World Health Organization**, Geneva, 19 dez. 2025. Disponível em: https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/stroke. Acesso em: 17 ago. 2026.

Agradecimentos

Agradecemos à instituição parceira, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), pela parceria e suporte fundamental na confecção das órteses. Expressamos também nossa gratidão aos discentes e docentes envolvidos em toda a trajetória deste projeto, bem como à Universidade do Vale do Paraíba (Univap) pelo contínuo incentivo acadêmico.