

StepAmpute: Abordagem de Análise de Marcha de Amputados Baseado na Captura de Movimentos Ópticos Sem Marcadores

Jeam Carlos Braun¹, Tiago Rios Da Rocha²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) - Campus Ibirubá
Rua Nelsi Ribas Fritsch, 1111 – CEP: 98200-000 – Ibirubá – RS – Brasil

jeam.braun@ibiruba.ifrs.edu.br, tiago.rios@ibiruba.ifrs.edu.br

Abstract. *The use of prostheses provides greater autonomy for amputees, but their gait often shows notable biomechanical changes. This study presents StepAmpute, an accessible gait analysis approach using computer vision and short videos captured by smartphones. The system automatically extracts symmetry and cadence parameters without physical markers or specialized equipment. Results showed good accuracy compared to Kinovea, highlighting the tool's potential to support rehabilitation.*

Resumo. *O uso de próteses oferece maior autonomia a pessoas amputadas, mas sua marcha apresenta alterações biomecânicas relevantes. Este estudo propõe o StepAmpute, uma abordagem acessível de análise da marcha por visão computacional, a partir de vídeos curtos capturados por smartphones. O sistema extrai automaticamente parâmetros de simetria e cadência, sem necessidade de marcadores ou equipamentos especializados. Os resultados mostraram boa precisão em relação ao software Kinovea, destacando o potencial da ferramenta como apoio à reabilitação.*

1. Introdução

Nos últimos anos, o número de amputações de membros inferiores tem aumentado significativamente. No Brasil, entre 2020 e 2021, cerca de 56.513 brasileiros passaram por amputação ou desarticulação de membros inferiores, segundo a Sociedade Brasileira de Angiologia e de Cirurgia Vascular (SBACV) [GRANDA 2022]. Durante a reabilitação, muitos amputados apresentam marcha atípica e assimétrica, com menor fluidez e maior deslocamento vertical, o que pode gerar complicações secundárias, como dores lombares, osteoartrite e sobrecarga no membro intacto [Ribeiro 2017, Gailey et al. 2008].

Diante disso, torna-se essencial a utilização de métodos de avaliação acessíveis. Diferentemente de soluções que exigem marcadores físicos ou câmeras de profundidade, o StepAmpute foi desenvolvido em Python como uma ferramenta baseada em visão computacional para análise da marcha de amputados a partir de vídeos capturados por smartphones. A abordagem automatiza a extração de métricas biomecânicas, como cadência e simetria, gerando gráficos interativos para auxiliar fisioterapeutas, apresentando alta precisão (diferença média de 1,63 pixels) quando comparada ao software Kinovea.

2. Trabalhos Correlatos

Nesta seção são apresentados trabalhos relacionados à análise de marcha. Diversos estudos exploram abordagens computacionais para avaliação biomecânica, com diferentes níveis de complexidade e acessibilidade. O trabalho de [Schurr et al. 2017] comparou medições 2D e 3D em tarefas funcionais de membros inferiores, mostrando que a análise em 2D pode ser pragmática no plano sagital. [Coutinho 2022] desenvolveu um software para análise da marcha de amputados utilizando smartphone e marcadores físicos. Já [Espitia-Mora et al. 2024] apresentou uma solução sem marcadores baseada em câmeras de profundidade.

Tabela 1. Comparativo entre artigos de Análise de Marcha

Artigo		Equipamento Necessário	Análise Realizada	Erro Reportado
Trabalho [Schurr et al. 2017]	1	Câmeras, sistema de captura de movimento 3D (Flock of Birds)	Comparação de deslocamentos articulares nos planos frontal e sagital	Não informado
Trabalho [Coutinho 2022]	2	Marcadores no corpo, smartphone, software Kino-vea	Análise da marcha de amputados focada no alinhamento de próteses	Erro médio absoluto de 1,89%
Trabalho [Espitia-Mora et al. 2024]	3	Câmera de profundidade estéreo Intel D415, esteira (opcional)	Quantificação de parâmetros antropométricos e da marcha	Desvio médio absoluto de 3,14%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A proposta deste projeto destaca-se pela praticidade e baixo custo, utilizando apenas câmeras de smartphones, sem necessidade de marcadores ou equipamentos sofisticados. Enquanto estudos como [Coutinho 2022] e [Escamilla-Nunez et al. 2020] empregam sistemas complexos voltados ao ajuste protético, e [Espitia-Mora et al. 2024] utiliza câmeras de profundidade, esta solução foca na análise objetiva da simetria e cadência da marcha, oferecendo uma alternativa eficiente e economicamente viável para usuários amputados.

3. StepAmpute

O StepAmpute é uma ferramenta em Python para análise quantitativa da marcha de amputados por meio de visão computacional. Foi projetada para ser acessível, operando com vídeos comuns de smartphones, sem marcadores físicos.

Sua arquitetura compreende seis etapas: (1) coleta dos vídeos no plano sagital; (2) extração de frames com *OpenCV*, responsável pela leitura e manipulação das imagens;;

(3) detecção automática de pontos anatômicos via *MediaPipe*, que rastreia 33 pontos corporais; (4) exportação das coordenadas em CSV com *Pandas*; (5) filtragem *Butterworth* para suavização; e (6) geração de gráficos interativos no *Plotly* com parâmetros de simetria e cadência.

4. Resultados

A validação foi conduzida com vídeos de um participante masculino de 23 anos, amputado transfemoral, comparando duas próteses: mecânica (SUS) e eletrônica (C-Leg 4), sob diferentes vestimentas (calça e calção). As medições automáticas do StepAmputee foram comparadas ao software Kinovea, padrão-ouro em análise 2D de marcha, considerando a diferença média, em pixels, entre a ponta do pé e o tornozelo contralateral. Observou-se forte concordância entre os métodos, com menores diferenças para a condição C-Leg 4 com calça (1,63 px), seguida de C-Leg 4 com calção (4,17 px) e SUS com calção (5,51 px). A precisão foi maior quando a vestimenta suavizou o contorno da prótese, favorecendo a detecção dos pontos anatômicos.

Tabela 2. Diferença média entre StepAmputee e o software Kinovea

Condição	Diferença Média (pixels)
Prótese SUS com Calção	5,51
C-Leg 4 com Calção	4,17
C-Leg 4 com Calça	1,63

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na análise dos parâmetros temporoespaciais, a prótese C-Leg 4 apresentou maior cadência (112,08 passos/min) e melhor simetria, resultando em marcha mais fluida e estável. Já a prótese SUS teve menor cadência (92,80 passos/min) e maior irregularidade, indicando menor controle dinâmico. Os resultados mostram que o tipo de prótese influencia diretamente a qualidade da marcha, com a tecnologia eletrônica promovendo maior estabilidade e naturalidade. A Figura 1 apresenta um exemplo de frame com os pontos anatômicos detectados.



Figura 1. Exemplo de frame capturado do vídeo, com os pontos anatômicos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Essa representação ilustra o processo de identificação automática dos pontos corporais realizado pelo StepAmpute, etapa em que são registradas as coordenadas dos pontos anatômicos e executados os cálculos de simetria e cadênciа dos passos.

5. Conclusão

Em conclusão, este trabalho demonstrou a viabilidade de uma abordagem computacional acessível para análise da marcha em amputados, utilizando visão computacional e smartphones. O StepAmpute se mostrou preciso na extração de métricas de cadênciа e simetria quando comparado a ferramentas já consolidadas. Além disso, a análise revelou diferenças significativas entre os tipos de próteses, reforçando o potencial da metodologia como um avanço para a reabilitação de baixo custo.

Apesar de algumas limitações na detecção de próteses visíveis, a abordagem estabelece uma base sólida para desenvolvimentos futuros. Como perspectivas de trabalho, planeja-se a criação de um banco de dados mais abrangente, a integração de técnicas de deep learning para a análise automatizada de variáveis biomecânicas mais complexas, como ângulos articulares, e o desenvolvimento de uma plataforma clínica para monitoramento de longo prazo. Também é um objetivo futuro a conversão da métrica de pixels para unidades de medida mais compreensíveis clinicamente, como centímetros, e a realização de um estudo multi-institucional em diversos centros de reabilitação e hospitais especializados. Esses avanços visam transformar o StepAmpute em uma ferramenta clínica robusta e de fácil acesso para a reabilitação.

Referências

- Coutinho, T. M. C. (2022). Software para a análise da marcha em amputados de membro inferior. *Escola Católica superior de biotecnologia de Porto*, pages 1–109.
- Escamilla-Nunez, R., Michelini, A., and Andrysek, J. (2020). Biofeedback systems for gait rehabilitation of individuals with lower-limb amputation: A systematic review. *Sensors*, 20(6).
- Espitia-Mora, L. A., Vélez-Guerrero, M. A., and Callejas-Cuervo, M. (2024). Development of a low-cost markerless optical motion capture system for gait analysis and anthropometric parameter quantification. *Sensors*, 24(11):3371.
- Gailey, R., Allen, K., Castles, J., Kucharik, J., and Roeder, M. (2008). Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 45(1).
- GRANDA, A. (2022). A cada hora, 3 brasileiros sofrem amputação de pernas ou pés. Agência Brasil. Acesso em: 25 jun. 2022.
- Ribeiro, A. S. (2017). Análise das alterações biomecânicas na marcha em amputados transfemorais: Revisão bibliográfica.
- Schurr, S. A., Marshall, A. N., Resch, J. E., and Saliba, S. A. (2017). Two-dimensional video analysis is comparable to 3d motion capture in lower extremity movement assessment. *International journal of sports physical therapy*, 12(2):163.