CONTROLE POR PARES RELACIONADOS (CPR): UM CONTROLADOR 3D DE POSIÇÃO DE BRAÇO ANTROPOMÓRFICO POR IMAGENS BIDIMENSIONAIS

Luca Mateo Rangel, Nilton Charlie Sare Vargas, Aureo Guilherme Dobrikopf, Douglas Wildgrube Bertol

INTRODUÇÃO

A combinação de visão computacional e robótica já vem sendo explorada há anos, desde movimentos pré-programados (Oliveira Júnior et al. (2019)) ativados por reconhecimento de gestos até controles onde o usuário performa uma ação e o robô mimetiza em tempo real (Drăgoi et al. (2026)), demonstrando o potencial e versatilidade dessa combinação.

Esta abordagem é demonstrada ser eficiente e mais natural para teleoperação, permitindo operadores controlar os manipuladores robóticos sem a necessidade de interfaces complexas ou conhecimento técnico avançado. Entretanto, as ferramentas usadas para este tipo de controle tipicamente utilizam de câmeras com captação de profundidade, o que aumenta significativamente o custo do sistema e restringe a adoção dessa abordagem por pesquisadores e indústrias com recursos limitados.

Visto esta necessidade, este estudo propõe o desenvolvimento de um software funcional, eficiente e acessível, utilizando o corpo do próprio usuário como principal controle e entrada de dados identificados por imagens capturadas por uma webcam convencional. A falta de sensores de profundidade representa um dos principais diferenciais deste trabalho, transformando em uma solução de baixo custo e facilmente replicável.

DESENVOLVIMENTO

O framework proposto divide o controle do manipulador em dois processos principais: arm e gripper. Um sistema captura em tempo real os movimentos do usuário usando uma câmera RGB e, baseado nessa análise, gera diversos pontos de referências e replica seus movimentos em cada um dos atuadores; para este primeiro processamento das imagens e sua identificação de pontos de juntas foi utilizado o Mediapipe, uma biblioteca open-source criada e mantida pela Google (2025).

A Figura 1 ilustra o workflow da solução proposta. Somado aos modos de controle, o framework inclui o modo de calibração, no qual o usuário pode alternar utilizando o teclado que é lido em tempo real, junto ao processamento das imagens simultaneamente. Após a normalização, os dados são enviados via ROS 2 para o D1 controller.

Como capturas de imagens 2D não apresentam profundidade, o movimento do braço robótico se limitaria no eixo X e Y. Como solução, é apresentado o controle por pares relacionados. O método funciona da seguinte forma: cada par de keypoints do braço do usuário é relacionado a um atuador do braço robótico, controlando cada motor de forma individual.

Como visto na Figura 2, o controle do motor A é definido pelo eixo X do par de pontos 1 e 2; o motor B é controlado pelo mesmo par, mas rotacionando de acordo com a distância dos pontos em relação ao eixo Y, sendo análogo a todos os motores.

RESULTADOS

A separação do sistema em dois controles independentes, um para o gripper e outro para o braço como um todo, confere ao usuário maior liberdade e precisão para as mais diversas aplicações. Para manter essa eficiência, o modo de calibração é essencial: o usuário deve posicionar-se à mesma distância da câmera utilizada no momento da calibração de ambos os modos, fator determinante para a consistência do controle.

Apesar de não apresentar precisão absoluta, a solução demonstrou-se capaz de reproduzir os movimentos orientados pelo usuário com fidelidade suficiente para a execução de tarefas completas de teleoperação, como o pick and place de objetos.

A transmissão de pacotes para o hardware do D1 ocorre por meio do Cyclone DDS, o que garante respostas com mínimo de delay. No entanto, o processamento das imagens representa o principal gargalo de latência do sistema, sendo um ponto de atenção para otimizações futuras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

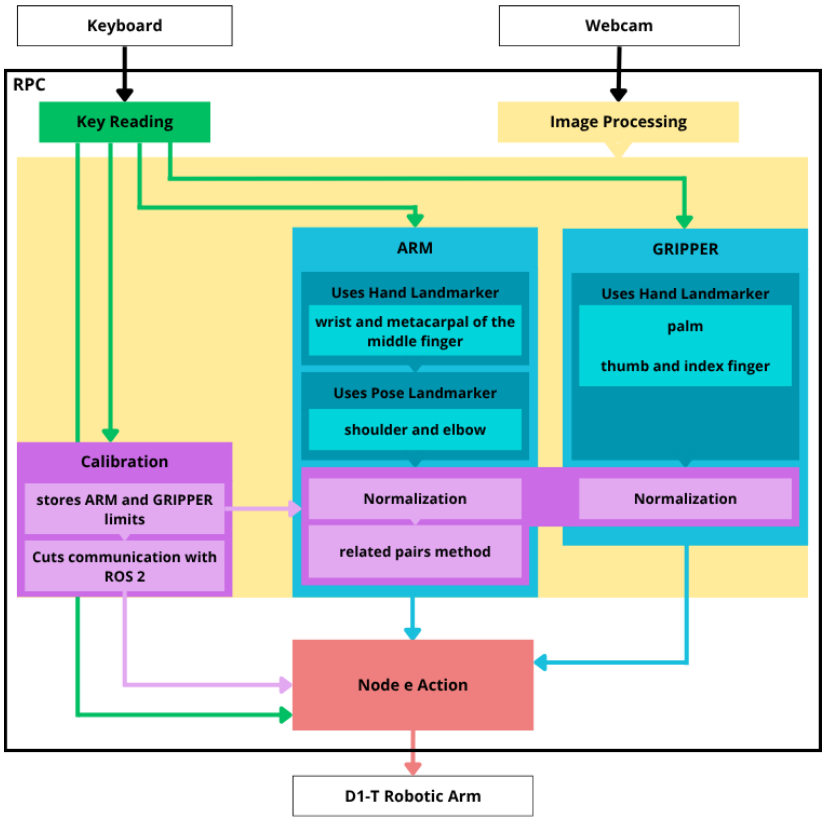
Após testes práticos com o controle e o braço robótico, foi demonstrado que os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados: um controle via visão computacional que, mesmo limitado à captura 2D de imagens, provou ser uma solução viável, acessível e robusta para a teleoperação de um manipulador de 6 DOF.

Constitui também uma solução alternativa mais acessível para controlar manipuladores robóticos, eliminando a necessidade de um segundo braço agindo como líder, dispensando igualmente o uso de sensores de profundidade e diminuindo significativamente o custo para pesquisadores e indústrias.

Palavras-chave: teleoperação; visão computacional; manipulador robótico; MediaPipe; ROS 2; robotic arm; robótica acessível; processamento de imagem 2D; interface humano-robô.

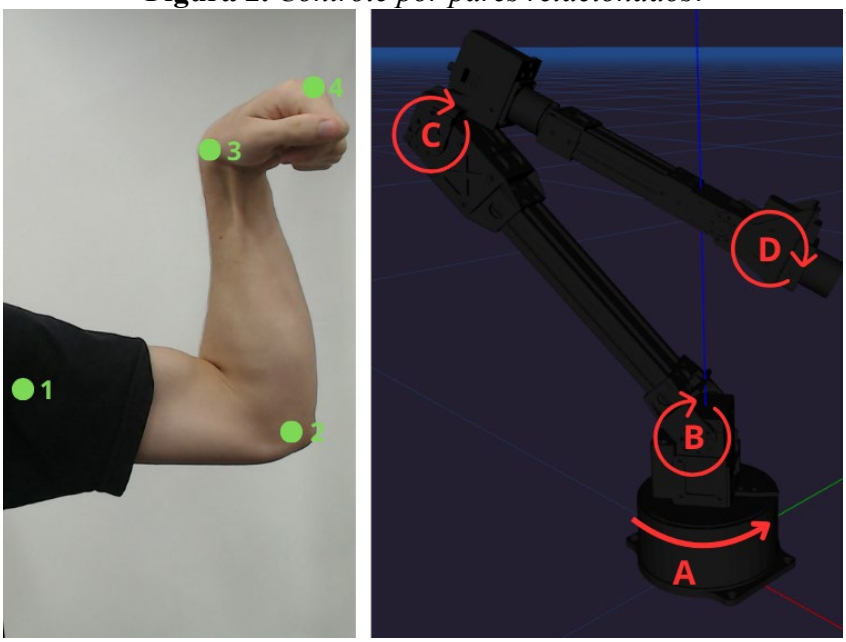
ANEXOS

Figura 1. *Fluxograma da operação completa do sistema.*



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 2. *Controle por pares relacionados*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OLIVEIRA JÚNIOR, J.M., LELES, M.C.R., VALE-CARDOSO, A.S., SILVA-JR, M.C.d., MOZELLI, L.A., ALVES NETO, A. (2019). Operação de um manipulador por meio da detecção de gestos baseada em aprendizado de máquina. In **Congresso Brasileiro de Automática** (CBA). doi: 10.20906/CBA2022/77.

DRĂGOI, M.V., FRIMU, A.V., POSTELNICU, A., PUIU, R.A., PETREA, G., HANK, A. (2026). Interactive teleoperation of an articulated robotic arm using vision-based human hand tracking. **Biomimetics**, 11(2), 151. doi: 10.3390/biomimetics11020151.

GOOGLE (2025). **Gesture recognizer - mediapipe solutions**.URL https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/gesture_recognizer. Acesso em: 02 abr. 2026.