

# ESTUDO DE DESEMPENHO DE PLANEJADORES DO MOVEIT! PARA UM MANIPULADOR ROBÓTICO DE 6DOF

**Kaike Wesley Reis**<sup>1</sup>; Marco Antônio dos Reis<sup>2</sup> Rebeca Tourinho Lima<sup>3</sup> Nelson Alves Ferreira Neto<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia de Controle e Automação de Processos na Universidade Federal da Bahia; Iniciação Tecnológica – EMBRAPPII; [kaikewesley@hotmail.com](mailto:kaikewesley@hotmail.com)

<sup>2</sup>Mestre em Engenharia de Produção; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; [marcoreis@fieb.org.br](mailto:marcoreis@fieb.org.br)

<sup>3</sup>Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia industrial; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; [rebeca.lima@fieb.org.br](mailto:rebeca.lima@fieb.org.br)

<sup>4</sup>Mestre em Engenharia Elétrica; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; [nelson.neto@fieb.org.br](mailto:nelson.neto@fieb.org.br)

## RESUMO

O avanço na área de manipuladores robóticos tem se mostrado crescente nos últimos anos com aplicação em diferentes campos da ciência que necessitam de precisão na interação com o mundo externo. No cenário atual existem diversas ferramentas *open source* que realizam o planejamento de movimentos para manipuladores robóticos sendo uma delas o *MoveIt!*,<sup>1</sup> *construída com base no framework ROS (Robot Operating System)*. Este artigo concentra-se em utilizá-la para executar um *benchmarking* de um conjunto de planejadores para um manipulador robótico de 6 graus de liberdade (6 DoF) compatível com ROS. Ao final são avaliadas as métricas de desempenho para decidir o melhor método de planejamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Robótica; Manipulador; ROS; MoveIt!

## 1. INTRODUÇÃO

O intenso avanço na área de manipuladores robóticos nos últimos anos proporcionou uma maior integração com diversos campos de estudos distintos da ciência para atuar como auxílio na realização de tarefas que necessitem de uma interação autônoma com o meio externo. Como exemplo, a área médica desenvolve cada vez mais aplicações com manipuladores robóticos para realização de cirurgias,<sup>2</sup> aumentando assim sua probabilidade de sucesso e precisão. Este avanço corroborou com o surgimento de diversas ferramentas *open source* que auxiliam no planejamento de movimentos para qualquer manipulador como o *MoveIt!*,<sup>1</sup> *framework* que possui diversas funcionalidades para robôs como o cálculo de cinemática, planejamento de movimento, verificação de colisão, percepção 3D dentre outras baseado no ROS (*Robot Operating System*).

Este artigo tem como objetivo analisar soluções mais específicas apresentadas pelo *MoveIt!*, dando continuidade ao trabalho desenvolvido em REIS.<sup>3</sup> Foi elaborado um *benchmarking* para escolher um planejador eficiente para o manipulador através de análises gráficas e estatísticas tendo em vista as diferenças estruturais do mesmo em comparação ao estudado em REIS.<sup>3</sup>

## 2. METODOLOGIA

O modelo de manipulador avaliado foi o *OpenManipulator-PRO*<sup>4</sup> produzido pela ROBOTIS com características próximas ao *Manipulator-H*, modelo utilizado em REIS,<sup>3</sup> exceto pela presença de uma ferramenta (pinça) e uma câmera RGB.

Para encontrar o melhor método de planejamento para este braço robótico, o *benchmarking* foi realizado em um cenário com obstáculos para os métodos do tipo *Rapidly-exploring Random Trees (RRT)*: *RRT*, *RRTConnect*, *RRTstar*, *TRRT* e *BiTRRT*. A escolha deste tipo de método ocorreu devido ao sucesso de uma de suas variantes no estudo realizado em REIS.<sup>3</sup> O percurso de movimentação foi definido a partir de uma posição inicial para uma posição final escolhida aleatoriamente em um conjunto possível de posições para o manipulador. Neste processo, os planejadores realizaram este percurso cem vezes com um tempo máximo de dois segundos e meio cada.

As métricas utilizadas para definir o melhor planejador foram o tempo total de planejamento e o tamanho do percurso calculado (quantidade de posições definidas pelo planejador para o manipulador alcançar a posição final do percurso). Portanto, o melhor planejador é aquele que demonstrar menores valores em ambas as métricas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística e gráfica do experimento precisa antes garantir a normalidade do conjunto amostral. Esta hipótese é importante para definir o tipo da ferramenta estatística utilizada: não paramétrica ou paramétrica, visto que a última assume uma distribuição gaussiana para o conjunto de dados.

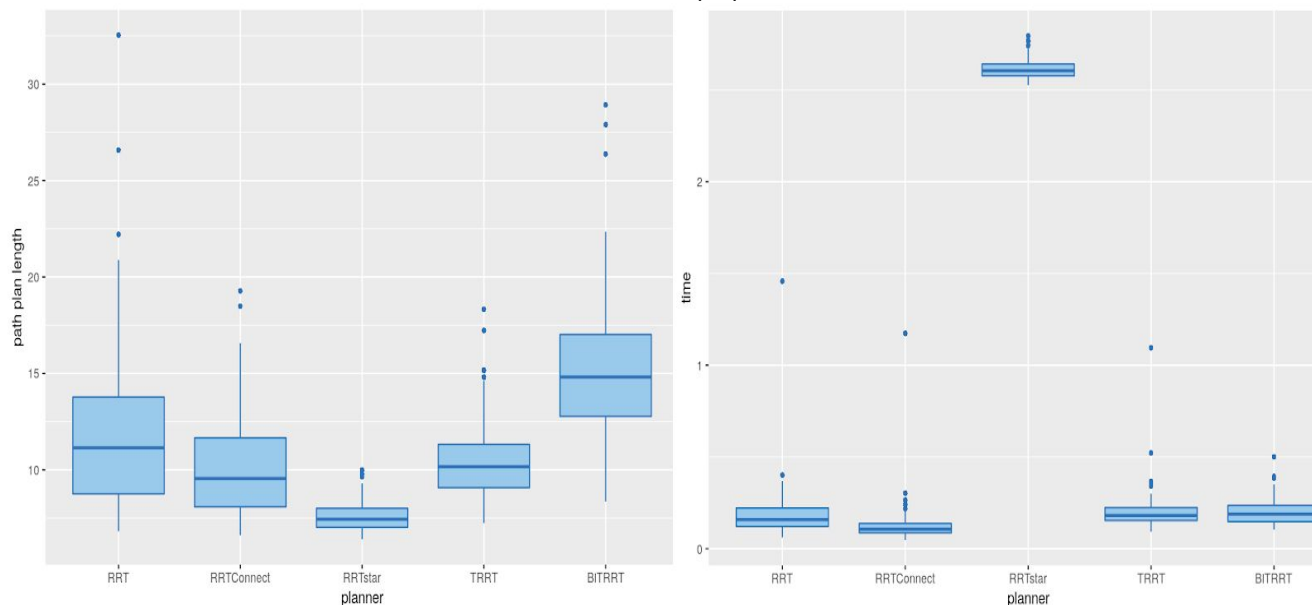
**Tabela 1.** p-valor encontrado para o teste Shapiro-Wilk

Métrica	RRT	RRTConnect	RRTstar	TRRT	BiTRRT
Tempo	$1.43 \cdot 10^{-16}$	$1.56 \cdot 10^{-18}$	$2.10 \cdot 10^{-4}$	$1.69 \cdot 10^{-15}$	$4.21 \cdot 10^{-6}$
Tamanho do percurso	$3.16 \cdot 10^{-8}$	$3.14 \cdot 10^{-6}$	$3.57 \cdot 10^{-5}$	$2.69 \cdot 10^{-6}$	$1.92 \cdot 10^{-5}$

A tabela 1 apresenta os resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk realizado nos resultados do experimento. Considerando alpha igual a  $5 \cdot 10^{-2}$  para aceitar a hipótese nula (o conjunto amostral segue uma distribuição normal) o p-valor precisa ser superior, porém foi verificado que os resultados rejeitaram a hipótese nula, não apresentando assim uma distribuição normal. Portanto, para dar continuidade às análises nenhum teste paramétrico que se baseia em uma distribuição gaussiana foi utilizado. A representação gráfica escolhida para os resultados foi um método também não paramétrico: diagrama *boxplot*.

Os resultados gráficos de desempenho para os planejadores foram extraídos através da ferramenta *Planner Arena*<sup>5</sup> da biblioteca *OMPL* integrada ao *Movel!* e são representados na figura 1 para as métricas definidas.

**Figura 1.** Desempenho em relação ao tamanho do percurso a esquerda e o tempo total de planejamento a direita  
Fonte: Autoria própria.



Através da avaliação do tempo total de planejamento na figura 1 verifica-se que apenas o método *RRTstar* ultrapassa o limite estipulado de 2,5 segundos resultando em sua desclassificação. Já para a avaliação do tamanho do percurso na figura 1, os resultados apresentam o *RRTConnect*, *RRT* e *TRRT* com médias próximas. O método *BiTRRT* apresentou a maior e mais destoante média do grupo, indicando uma tendência por escolhas de caminhos mais longos, ou seja, seus percursos mostram esforços maiores para o manipulador se mover, algo indesejável e que resulta em sua desclassificação em análises futuras.

Com um conjunto de apenas três métodos: *RRTConnect*, *TRRT* e *RRT* que apresentaram resultados bem próximos no quesito tempo total de planejamento na figura 1, foi avaliado o tamanho do percurso para definir a melhor opção para este manipulador. Para a realização dessa análise foi utilizado o teste Kruskal-Wallis par a par, uma versão não paramétrica do ANOVA (Análise de Variância), com alpha igual ao

valor de  $5 \cdot 10^{-2}$  para identificar se os resultados apresentam médias estatisticamente semelhantes ( $p$ -valor maior ou igual  $\alpha$ ) ou médias que não apresentam diferenças significantes ( $p$ -valor menor que  $\alpha$ ).

**Tabela 2.**  $p$ -valor encontrado no teste Kruskal-Wallis par a par para o tamanho do percurso

Par	$p$ -valor
RRT-RRTConnect	$8.3744 \cdot 10^{-4}$
TRRT-RRTConnect	$5.0043 \cdot 10^{-2}$
RRT-TRRT	$4.3821 \cdot 10^{-2}$

Os resultados da tabela 2 mostram que existem diferenças estatísticas entre as distribuições dos dados e portanto médias distintas para os métodos avaliados, exceto o par *TRRT* e *RRTConnect* que apresentaram um  $p$ -valor superior ao limite. O par *RRT* e *RRTConnect* apresentou o menor  $p$ -valor indicando uma falta de semelhança mais acentuada e o par *RRT* e *TRRT* mostra um valor próximo ao limite. A partir desses resultados e através de uma análise gráfica da figura 2 é possível distinguir os métodos *RRTConnect* e *TRRT* como as melhores escolhas, pois apresentam as menores médias e desvios comparado ao *RRT* e são estatisticamente equivalentes como foi verificado na Tabela 2. Vale destacar que o *RRT* apresenta um desvio muito acentuado, mostrando que o percurso calculado por este método não é estável em uma faixa pequena de valores e que pode variar bastante.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo foi possível verificar que para o modelo de manipulador deste trabalho, considerando as métricas avaliadas, existem pelo menos dois métodos de planejamento (*RRTConnect* e *TRRT*) capazes de executar um planejamento adequado visto a equivalência estatística. Através dos testes estatísticos foi possível quantificar o que os resultados gráficos mostravam, dando mais confiança nas análises realizadas.

Diversos estudos futuros podem dar continuidade a este trabalho como a avaliação do espaço de trabalho (*workspace*) do manipulador, alterações nas condições do *benchmarking* (tentativas e tempo total de planejamento) assim como nas métricas avaliadas para definir o melhor método de planejamento. Além disso, pode ser realizado diversos tipos de comparação entre os métodos do *MoveIt!* com outras ferramentas *open source* como o *Pybullet* ou até mesmo com soluções que utilizem inteligência artificial para definir o planejamento de movimento de um manipulador.

#### 5. REFERÊNCIAS

<sup>1</sup> COLEMAN, David et al. **Reducing the Barrier to Entry of Complex Robotic Software: a MoveIt! Case Study**. ArXiv, 2014.

<sup>2</sup> SANTA LUCIA, Hospital. Quatro braços e câmera de última geração: conheça o robô cirurgião mais moderno do mundo. **Portal G1**. Distrito Federal, 27 jul. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/especial-publicitario/hospital-santa-lucia/noticia/2019/07/03/quatro-bracos-e-camera-de-ultima-geracao-conheca-o-robo-cirurgiao-mais-moderno-do-mundo.ghtml>> Acesso em: 14 abr. 2020.

<sup>3</sup> REIS, Kaike Wesley; LIMA, Rebeca Tourinho; REIS, Marco Antonio dos. **CONTROLE SIMPLES E ROBUSTO PARA MANIPULADORES ROBÓTICOS ATRAVÉS DO MOVEIT**. Anais do V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia. Blucher. São Paulo. p. 121–128. 2019.

<sup>4</sup> ROBOTIS. **Plataform OpenManipulator-PRO**. Robotis, Disponível em: <<http://www.robotis.us/openmanipulator-pro/>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

<sup>5</sup> MOLL, Mark et al. **Benchmarking Motion Planning Algorithms: An Extensible Infrastructure for Analysis and Visualization**. IEE Robotics & Automation Magazine, v.22, n.3, p. 96–102, 2015