



## Uma Implementação de Robótica Autônoma Móvel em Nuvem Computacional

### An Implementation of Autonomous Mobile Robot in Computational Cloud

Gustavo Naoki Jodai Kurozawa<sup>1</sup>, Lucio Agostinho Rocha<sup>2</sup>

#### RESUMO

Este projeto apresenta um protótipo de robô móvel autônomo e controlável à distância através de uma plataforma própria que simula um ambiente privado de nuvem computacional. O objetivo deste trabalho é avaliar um estudo de caso sobre uma infraestrutura de nuvem privada para hospedar e enviar comandos a um robô móvel através do celular. O método de pesquisa foi conduzido com a implementação de uma arquitetura segura com autenticação OAuth 2.0 em um sistema distribuído onde os componentes trocam mensagens. Os principais resultados até o momento mostram que é possível simular um ambiente de robótica como um serviço (RaaS) para executar tarefas remotas. Concluímos que a robótica como um serviço pode auxiliar na execução de tarefas à distância, e que robôs móveis podem ser conectados à nuvem a partir de dispositivos de IoT de baixo custo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Computação em nuvem; Engenharia de Software; Robótica.

#### ABSTRACT

This project presents a prototype of an autonomous and remotely controllable mobile robot through an own platform that simulates a private computational cloud environment. The goal of this work is to evaluate a case study about a cloud private infrastructure to host and send commands to a mobile robot through the cell phone. The research method was conducted with the implementation of a secure architecture with OAuth 2.0 authentication in a distributed system where components exchange messages. The main results so far show that it is possible to simulate a robotics environment as a service (RaaS) to perform remote tasks. We conclude that robotics as a service can assist in the execution of tasks remotely, and that mobile robots can be connected to the cloud through low-cost IoT devices.

**KEYWORDS:** Cloud Computing; Software Engineering; Robotics.

## INTRODUÇÃO

Os robôs estão migrando rapidamente de sistemas isolados para sistemas conectados, com cada vez mais operações transferidas para sistemas externos (BOTTA, GALLO, e VENTRE, 2019). Deste modo, dando origem ao termo RaaS (Robótica como um serviço) que é um modelo de negócios no qual as empresas de robótica oferecem o uso de seus dispositivos robóticos através de nuvens por meio de um contrato baseado em assinatura. À medida que aumenta a adoção da robótica, mais empresas estão percebendo o valor do modelo RaaS para reduzir riscos e fornecer soluções escaláveis para os clientes.

Portanto, com o crescente aumento de interesse neste tema, surgiram empresas que oferecem serviços como, robôs de entrega, robôs de limpeza, robôs de segurança, robôs de armazém, etc. Porém para empresas de pequeno porte ou até para fins estudantis é inviável contratar uma assinatura deste serviço pois os preços variam de 2500 reais a 50 mil reais mensais (YATES, 2023).

<sup>1</sup> Bolsista da UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: gustavokurozawa@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5439995011339368.

<sup>2</sup> Docente de Engenharia de Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: luciorocha@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7995278391000345.



Uma nuvem é um depósito de informações, como arquivos, aplicativos e dados, que podem ser acessados de qualquer lugar com uma conexão com internet. Quando você envia um e-mail, faz o upload de uma foto para o Facebook ou armazena um documento no Google Drive, você está usando a nuvem. Por outro lado, os serviços da nuvem privada são oferecidos por meio de uma rede interna privada (por exemplo, wifi doméstico) somente a usuários que fazem parte da organização. A criação de uma nuvem privada é feita de forma customizada, ou seja, nuvens privadas são únicas (SILVA, SOARES e SERPA, 2020).

Neste trabalho, foi realizado a teleoperação de um robô móvel da seguinte forma: o usuário através do celular acessa o site da nossa plataforma privada; no site é feita a autenticação do usuário; a seguir o usuário é redirecionado para uma tela com operações básicas de movimentação; ao escolher uma opção de movimentação o comando é enviado via rede sem fio para o robô executar o movimento.

Essa pesquisa se concentra na viabilidade de conduzir experimentos robóticos em uma infraestrutura de nuvem privada, garantindo a definição de grupos, regras e permissões para a inserção, atualização e remoção de equipamentos. A meta é facilitar o acesso a esses recursos, através de uma integração entre API e uma nuvem privada. Este projeto busca aprimorar a experimentação robótica na nuvem para a interação eficaz entre robôs.

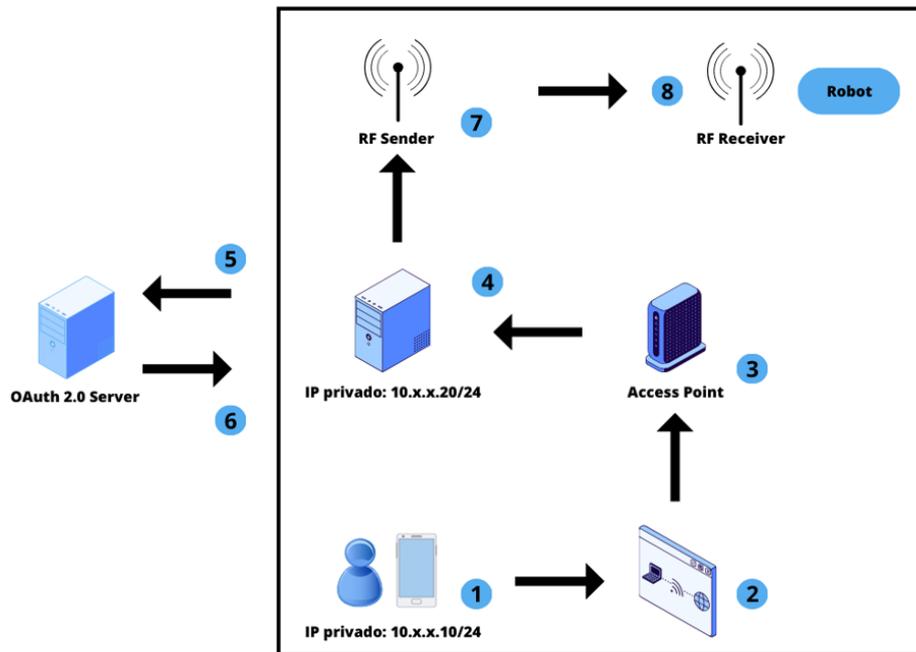
Neste momento tratamos a segurança de acesso a infraestrutura, para futuramente garantir a segurança da comunicação com certificados digitais validados no navegador do usuário. Para garantir a segurança e a autenticação, foi utilizado do protocolo OAuth 2.0 (RFC6749, 2012), em conjunto com o framework Spring (SPRING.IO, 2023). O framework Spring oferece um ambiente de desenvolvimento e produção altamente configurável e pronto para uso, simplificando a criação de aplicativos Java robustos. O OAuth 2.0, por sua vez, é um protocolo de autorização que exige uma implementação cuidadosa por parte dos desenvolvedores. Portanto, é imperativo seguir as melhores práticas e diretrizes de segurança a fim de garantir uma integração eficiente entre a autenticação segura e a gestão das contas de usuários.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho é proposta uma infraestrutura de nuvem privada (KUROZAWA, 2023) capaz de se autenticar em um servidor público OAuth 2.0, para hospedar um robô móvel. A nossa motivação é ter um ambiente onde nós temos o controle da rede de comunicação fim-a-fim. Como trabalho futuro, faremos a avaliação dessa infraestrutura em um ambiente de nuvem. Nesse ambiente que projetamos, somente após a autenticação é que o usuário é capaz de utilizar o seu smartphone para movimentar o protótipo de robô móvel. Qualquer robô que esteja conectado a infraestrutura interna pode ser controlado na infraestrutura proposta.

Para isto ser possível os autores e o campus disponibilizaram para a montagem física dessa infraestrutura, sendo eles: máquina (Computador) e a rede interna do campus UTFPR-Apucarana.

Figura 1 – Infraestrutura de Nuvem Privada para Autenticação com OAuth 2.0

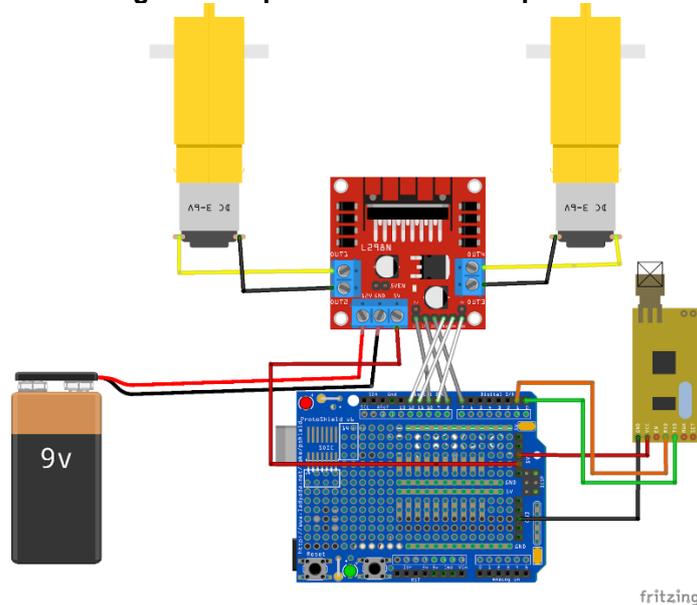


Fonte: Autoria Própria (2023).

No esquemático feito (Figura 1), para o usuário acessar a infraestrutura ele deve se autenticar em um servidor externo a infraestrutura. Para isso são necessários os seguintes passos: 1) O usuário precisa estar conectado na mesma rede privada do host que hospeda o site Spring da aplicação; 2) O usuário acessa o site da aplicação, que será mostrado no navegador do usuário; 3) Para acessar o site a requisição é encaminhada para o ponto de acesso da rede privada; 4) O ponto de acesso encaminha a requisição para o host que hospeda o site Spring da aplicação; 5) Quando o usuário decide autenticar-se no site, ele é redirecionado para a página de autorização do GitHub, é solicitado a fazer login em sua conta do GitHub, se ainda não estiver autenticado, após o login ser realizado é exibida uma página que informa sobre quais permissões o aplicativo está solicitando (por exemplo, acesso a repositórios públicos, privados, etc), em seguida o GitHub gera um código de autorização e o envia de volta para o site através da URL de redirecionamento, o site utiliza este código junto com as credenciais do cliente para fazer uma solicitação ao GitHub para obter um token de acesso; 6) O servidor do GitHub valida as informações e, se estiverem corretas retorna o token de acesso o que indica que o usuário está autorizado para interagir com o robô; 7) Após a autenticação o usuário envia comandos para o robô e para isso, é necessário utilizar a conexão sem fio que faz a comunicação do servidor da rede interna com o robô, o servidor monitora continuamente mensagens dos usuários autenticados; 8) O robô recebe o comando que o usuário forneceu através do site, e executa uma ação.

Nessa infraestrutura o servidor hospeda um conjunto de serviços robóticos. São oferecidos micro serviços para interação com os robôs. As consultas seguem o padrão REST onde cada URL identifica unicamente um serviço. O site produzido permite o cadastro de recursos robóticos.

Figura 2 – Diagrama Esquemático do Protótipo de Robô Móvel



Fonte: Autoria Própria (2023).

No diagrama (Figura 2), para o robô móvel interagir com a infraestrutura, foram necessários os seguintes componentes: arduino UNO, ponte H L298n, 16 jumpers, 2 motores DC 3V-6V, protoshield, chassi de acrílico, 2 minis pneus de borracha e módulo wireless.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi proposto a movimentação automática do robô na infraestrutura interna com um algoritmo de lógica Fuzzy.

A infraestrutura de nuvem privada (Figura 1) foi concebida e configurada de maneira personalizada, fazendo uso da plataforma Spring Boot, com o propósito de administrar o armazenamento de informações relativas aos robôs e facilitar a integração com uma API para estabelecer a comunicação com os robôs quando os usuários fornecem comandos.

Neste projeto, foi empregado o método de inferência Fuzzy Mandani (SIMÕES, 2007) é uma técnica que incorpora o estilo de pensamento humano em um sistema de controle, para realizar a movimentação automática do robô na infraestrutura interna. Esse método de inferência utiliza operadores MAX-MIN e a técnica de defuzzificação do tipo centróide. Nos robôs autônomos, foi implementado um módulo de inferência Fuzzy em linguagem C++ para calcular a intensidade de luminosidade em um sensor de luminosidade (LDR). O sistema de controle utiliza regras de inferência orientada a objetos que imitam as decisões de um ser humano. Essas regras se baseiam em experiências práticas com uma linha, onde, com base na luminosidade refletida pela linha, o robô consegue se guiar autonomamente.



**Quadro 1 – Modelagem de Regras para lógica Fuzzy**

Variáveis de Entrada	Termos Linguísticos	Função de Pertinência	Intervalo
Sensor Esquerdo (SE)	Pouco	Trapezoidal	[0-7]
	Muito	Trapezoidal	[3-10]
Sensor Direito (SD)	Pouco	Trapezoidal	[0-7]
	Muito	Trapezoidal	[3-10]
<b>Variável de Saída</b>			
Direção	Esquerda	Trapezoidal	[0-5]
	Centro	Triangular	[3-7]
	Direita	Trapezoidal	[5-10]

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

**Quadro 2 – Regras de Inferência**

Variáveis de Entrada	Direção - Esquerda	Direção - Centro	Direção - Direita
Sensor Esquerdo (SE)	Pouco	Pouco   Muito	Muito
Sensor Direito (SD)	Muito	Pouco   Muito	Pouco

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No processo de fuzzificação (Quadro 1 e Quadro 2), as entradas previstas são representadas em conjuntos fuzzy dentro de seus respectivos domínios. No caso, as variáveis de entrada definidas são "SensorEsquerdo" e "SensorDireito", que indicam a quantidade de luminosidade captada pelos sensores de luminosidade. A variável de saída "Direção" indica se o robô está se movendo corretamente, ou seja, se a linha que o robô precisa seguir está entre os dois sensores, a calibragem é realizada com base nas regras de inferência do controlador.

## Conclusão

Com o crescente interesse do mercado na área de robótica em nuvem, a obtenção de serviços nesse campo tem se tornado inviável devido aos custos elevados. Tendo isso em consideração, nesta pesquisa, foi empreendido um estudo investigativo visando o desenvolvimento de uma infraestrutura que pudesse ser implantada em uma rede privada segura, utilizando equipamentos de baixo custo. Essa viabilidade foi assegurada mediante a utilização de tecnologias específicas no projeto, tais como o Spring e OAuth 2.0, que possibilitam a criação de um ambiente de autenticação para o usuário. Como trabalho futuro estamos verificando a possibilidade de inserir toda a infraestrutura que produzimos em um ambiente de nuvem gratuito para uso educacional (por exemplo, a nuvem Oracle Cloud).

Além disso, o projeto também contemplou a implementação de um controlador fuzzy dinâmico, responsável por ajustar a direção do robô com base nas leituras dos sensores de luminosidade, garantindo um robô autônomo hospedado na nuvem privada. Ao final da



pesquisa, os resultados demonstraram a viabilidade de estabelecer uma infraestrutura de robótica em nuvem mesmo diante de um orçamento limitado, com custos menores aos estimados na referência consultada (YATES, 2023). Como trabalho futuro, é importante ser feita também a avaliação da latência.

## Agradecimentos

Expresso minha sincera gratidão à UTFPR pelo apoio e incentivo a esta pesquisa, bem como ao professor Lucio por sua valiosa orientação.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

BOTTA, Alessio, GALLO, Luigi, VENTRE, Giorgio, “**Cloud, fog, and dew robotics: Architectures for next generation applications**”, in 2019 7th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud), 2019, pp. 16–23.

KUROZAWA, Gustavo Naoki Jodai. “**Tutorial de Spring Framework**”, [Online]. Disponível em: <<https://docs.google.com/document/d/1LvDH52AULyEJPLUXNLS93DsdSrot1sXimrek0L9VzPw/edit>>. Acesso em março de 2023.

MERLE, Philippe; GOURDIN, Christophe; MITTON, Nathalie, “**Mobile cloud robotics as a service with occiware**”, in 2017 IEEE International Congress on Internet of Things (ICIOT), 2017, pp. 50–57.

RFC 6749. “**The OAuth 2.0 Authorization Framework**”, [Online]. Disponível em: <<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6749>>. Acesso em março de 2023.

SILVA, Fernanda Rosa da; SOARES, Juliane Adélia; SERPA, Matheus da Silva; et al. **Cloud Computing**. [Online] Grupo A, 2020. E-book. ISBN 9786556900193. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556900193/>. Acesso em: out. 2023.

SIMÕES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S., **Controle e modelagem fuzzy**. [Online]: Editora Blucher, 2007. E-book. ISBN 9788521215479. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215479/>. Acesso em: set. 2023.

SPRING.IO. “Spring Framework Homepage”, [Online]. Disponível em: <<https://spring.io/about.html>>. Acesso em março de 2023.

YATES, Gary, **Robot-as-a-Service (RaaS) Business Models in the Market Today (2022 edition)**, [Online]. Disponível em: <<https://apera.io/p/robot-as-a-service-raas-business-models-in-the-mar>>. Acesso em outubro de 2023.