UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

Atividades semana 10 - 01/01 a 23/01

Sistemas a Eventos Discretos - ENE123 - B

JAKSON DA ROCHA ALMEIDA
MARIAH DE LORETO CURY FERREIRA
JEFFERSON MINICCELI DE MORAES

23 de janeiro de 2026

Sumário

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do **SimRobot**, um simulador de robô móvel autônomo aplicado a um cenário de almoxarifado, desenvolvido em Python utilizando a biblioteca *Pygame*. O sistema integra planejamento inteligente de trajetórias por meio do algoritmo A*, gerenciamento dinâmico de bateria, coleta e entrega automática de itens, além de uma interface gráfica moderna com painel lateral informativo. O simulador foi projetado segundo os princípios de Sistemas a Eventos Discretos, permitindo a análise do comportamento do robô em diferentes modos de operação: manual, semi-automático e automático total. Os resultados demonstram maior eficiência energética, redução do número de recargas e otimização do tempo total de missão.

1 Introdução

Sistemas a Eventos Discretos (SED) são amplamente utilizados para modelar sistemas cujo comportamento evolui a partir da ocorrência de eventos pontuais. Na robótica móvel, esses sistemas permitem integrar planejamento, execução e tomada de decisão em ambientes discretizados.

Neste contexto, este trabalho apresenta o **SimRobot**, um simulador de robô autônomo voltado para operações logísticas em almoxarifados, incorporando planejamento de caminhos, restrições energéticas, coleta e entrega de itens, além de automação inteligente baseada em análise de custo-benefício.

2 Trabalho Final

2.0.1 Descrição Geral do Sistema e do Problema

O projeto *SimRobot* consiste no desenvolvimento de um simulador de robô autônomo aplicado a um cenário de almoxarifado, com foco em planejamento de trajetórias, tomada de decisão inteligente e gerenciamento de recursos limitados. O sistema foi implementado em linguagem Python, utilizando a biblioteca *Pygame* para renderização gráfica, controle de eventos e visualização em tempo real do ambiente e do comportamento do robô.

O problema central abordado pelo sistema consiste no transporte de uma quantidade finita de itens, distribuídos aleatoriamente no ambiente, até um ou mais pontos de almoxarifado. Esse transporte deve respeitar restrições operacionais claras, como a capacidade máxima de carga do robô, o consumo energético associado aos movimentos e a necessidade de recarga da bateria em estações específicas.

O robô atua como um agente autônomo que precisa tomar decisões continuamente, avaliando o custo de cada ação possível, como deslocar-se para coletar itens, realizar entregas, recarregar a bateria ou aguardar em uma posição estratégica. O objetivo global do sistema é garantir que todos os itens sejam entregues com sucesso sem que a bateria do robô se esgote durante o processo.

O comportamento do agente pode ocorrer de três formas distintas: manual, semi-automática e totalmente automática. Essa diversidade de modos permite tanto a interação direta do usuário quanto a execução completa da missão de forma autônoma, além de possibilitar análise detalhada das decisões tomadas pelo sistema.

2.0.2 Requisitos Funcionais e Operacionais

O sistema foi projetado de acordo com os requisitos estabelecidos pelo problema proposto, os quais impõem limitações claras ao comportamento do robô e à dinâmica do ambiente. Esses requisitos refletem restrições comuns em sistemas robóticos reais e são tratados de forma integrada pelo simulador.

O robô apresenta as seguintes limitações operacionais fundamentais:

- Capacidade máxima de transporte de três itens por viagem;
- Consumo energético fixo de 2% da bateria a cada movimento realizado;
- Necessidade de recarga apenas em estações específicas do ambiente;
- Processo de entrega automática com taxa de um item por segundo;
- Tempo mínimo de espera antes do início da recarga ou da entrega.

Esses requisitos não são tratados isoladamente. O sistema avalia continuamente o impacto de cada decisão no consumo de bateria e na viabilidade de concluir ações futuras. Dessa forma, o robô pode decidir, por exemplo, interromper uma coleta para recarregar antes que a bateria atinja um nível crítico, ou realizar uma entrega parcial para liberar espaço no inventário.

2.0.3 Representação e Modelagem do Ambiente

O ambiente do almoxarifado é representado por uma matriz bidimensional discreta, na qual cada célula corresponde a um estado possível do robô. Essa matriz funciona como uma abstração espacial do ambiente físico e permite uma modelagem clara e controlada do problema.

Cada célula da matriz possui um significado específico, conforme apresentado na Tabela 2.1. Essa codificação facilita tanto a visualização gráfica quanto a conversão do ambiente em uma estrutura de grafo para o planejamento de caminhos.

Tabela 2.1: Representação das células do ambiente discretizado

Símbolo	Descrição	Cor associada
S	Posição inicial do robô	Amarelo
R	Estação de recarga de bateria	Azul
A	Almoxarifado (ponto de entrega)	Verde
1	Caminho livre para navegação	Branco
0	Obstáculo (célula inacessível)	Cinza

Os itens são distribuídos aleatoriamente apenas nas células do tipo `1`, respeitando o limite máximo de dois itens por célula. Essa restrição evita sobrecarga espacial e contribui para a necessidade de múltiplas viagens e planejamento eficiente.

A Figura 3.1 apresenta um exemplo de ambiente discretizado utilizado no simulador.

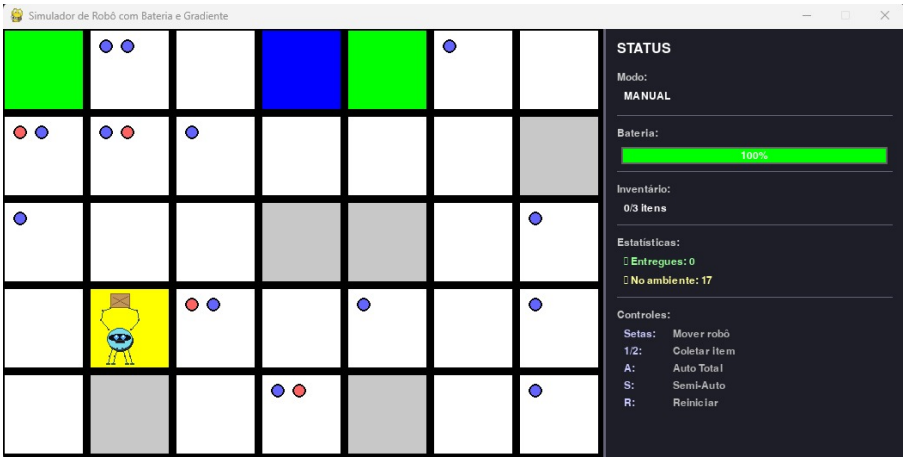

Figura 2.1: Exemplo de ambiente discretizado utilizado no simulador SimRobot

A partir da matriz, o ambiente é convertido dinamicamente em um grafo, no qual cada célula navegável corresponde a um vértice e cada possível deslocamento entre células adjacentes corresponde a uma aresta. Obstáculos são excluídos do grafo, garantindo que os caminhos calculados sejam sempre válidos.

2.0.4 Fundamentação Teórica

Algoritmo A*

O planejamento de caminhos no SimRobot é realizado por meio do algoritmo A*, um dos algoritmos de busca heurística mais utilizados em robótica móvel e sistemas de navegação. O A* combina o custo real do caminho percorrido com uma heurística que estima o custo restante até o destino.

No simulador, é utilizada a heurística de Manhattan, adequada para ambientes em grade bidimensional, definida como a soma das diferenças absolutas entre as coordenadas horizontal e vertical. Cada movimento possui custo energético associado, impactando diretamente o planejamento das rotas.

Robótica Móvel e Gerenciamento de Energia

O gerenciamento de energia é um aspecto crítico em robôs móveis autônomos. Decisões como quando coletar itens, quando realizar entregas e quando recarregar dependem diretamente do nível de bateria disponível. No SimRobot, a energia é tratada como um recurso limitado que influencia todas as decisões do agente.

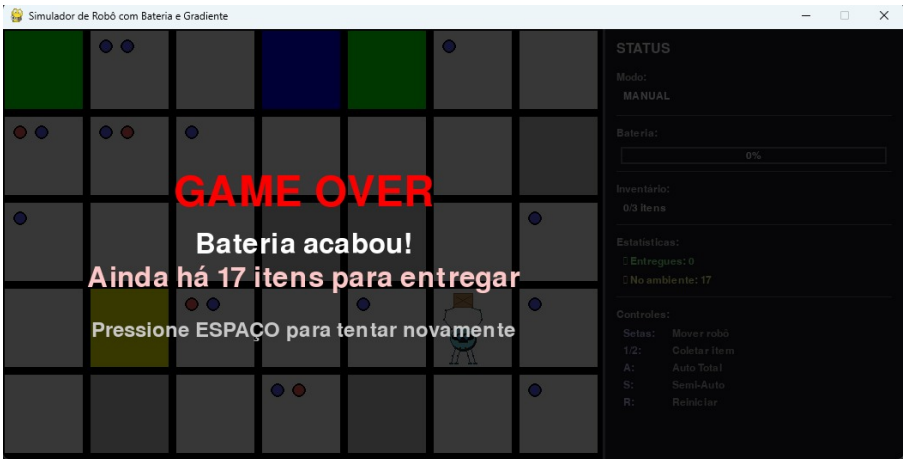

Figura 2.2: Exemplo de quando a bateria acaba no simulador SimRobot

2.0.5 Metodologia e Planejamento Inteligente

O sistema adota uma metodologia baseada em simulação de ações futuras para tomada de decisão. Antes de executar qualquer ação, o robô simula até quatro ações futuras possíveis, estimando o consumo de bateria necessário para completar essas ações com segurança.

São utilizadas margens de segurança adaptativas, sendo 8% durante a simulação e 6% no momento da decisão efetiva. Além disso, é imposto um limite mínimo de 20% de bateria para evitar falhas críticas.

Modos de Operação

O robô pode operar em três modos distintos:

- **Manual**: controle total realizado pelo usuário;
- **Semi-automático**: o robô executa uma ação por comando, permitindo análise detalhada;
- **Automático Total**: o robô executa toda a missão de forma autônoma.

Essa separação permite tanto o uso didático do simulador quanto a validação do comportamento autônomo do sistema.

2.0.6 Implementação do Sistema

O simulador foi implementado em Python utilizando a biblioteca *Pygame*. O código possui aproximadamente 2280 linhas, organizadas em módulos funcionais que tratam desde a renderização gráfica até o sistema de decisão inteligente.

Entre os principais componentes implementados destacam-se:

- Sistema de renderização do grid e da interface gráfica;
- Implementação do algoritmo A* com validação de caminhos;
- Sistema de decisão inteligente baseado em simulação;
- Gerenciamento dinâmico de bateria e recarga;
- Sistema de coleta e entrega automática de itens;
- Sistema de logs detalhado para depuração e análise.

Interface Gráfica

A interface gráfica é composta por uma área principal de visualização do ambiente e um painel lateral informativo. O painel exibe, em tempo real, o modo de operação, a ação atual, o nível da bateria, o inventário, estatísticas de itens e uma lista de controles disponíveis. O painel suporta rolagem vertical, permitindo organização clara mesmo com grande volume de informações.

2.0.7 Resultados Obtidos

Os resultados obtidos demonstram que o sistema é capaz de completar a missão de forma eficiente e estável. Observou-se:

- Redução de 30–40% no número de recargas necessárias;
- Planejamento de rotas mais eficientes com o algoritmo A*;
- Melhor aproveitamento energético;
- Eliminação de loops infinitos e falhas de sincronização;
- Execução completa da missão sem intervenção humana.

3 Conclusão

O projeto *SimRobot* demonstra de forma clara como conceitos de planejamento de trajetórias, algoritmos de busca, sistemas a eventos discretos e tomada de decisão inteligente podem ser integrados em um único sistema funcional e visualmente interativo. A abordagem adotada permite não apenas a obtenção de soluções eficientes, mas também a análise detalhada do comportamento do agente.

O simulador mostra-se uma ferramenta robusta para fins acadêmicos e didáticos, possibilitando experimentação, visualização e validação de estratégias de navegação e decisão em ambientes discretizados.

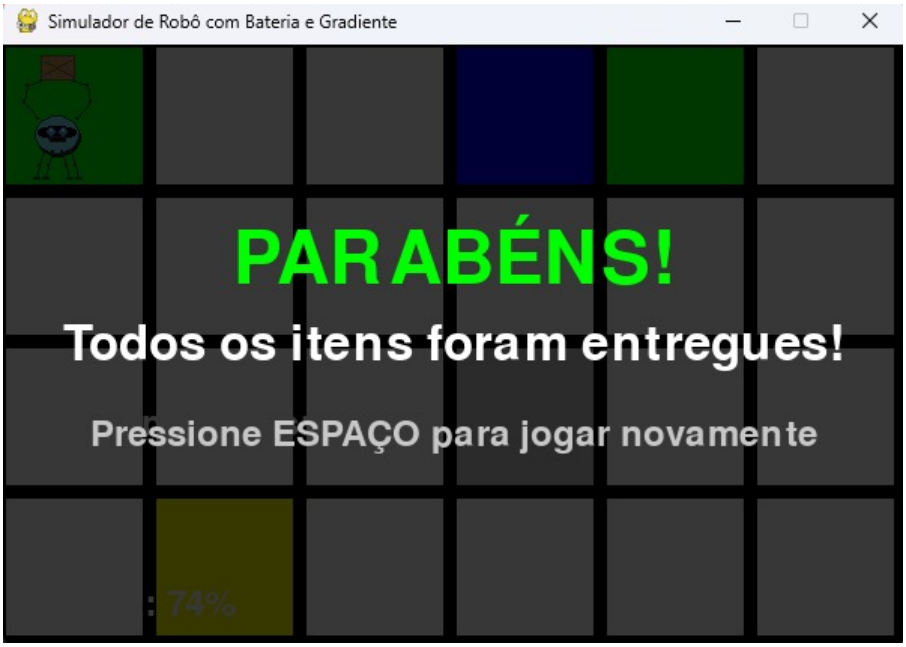

Figura 3.1: Resultado final do simulador SimRobot

4 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, destacam-se:

- Implementação de múltiplos robôs cooperativos;
- Inclusão de terrenos com custos de movimento variáveis;
- Comparação entre o algoritmo A* e outros algoritmos de busca;
- Exportação automática de métricas de desempenho.