

APRIMORAR FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO NETLOGO COM TESTES AUTOMATIZADOS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA

Mateus Rissardi, Fernando dos Santos

INTRODUÇÃO

Simulações Baseadas em Agentes (SBA) são uma abordagem de simulação utilizada para simular fenômenos naturais e sociais. A integração de algoritmos de Aprendizado por Reforço (Reinforcement Learning - RL) em SBA tem proporcionado avanços significativos na modelagem de sistemas complexos. No entanto, o desenvolvimento de tais soluções na área de engenharia de software frequentemente esbarra em desafios práticos de validação. O motivo central desta pesquisa reside na falta de mecanismos adequados para que os desenvolvedores confirmem, com veracidade e precisão, se o conhecimento adquirido por um agente via RL convergiu de fato para a política de ação desejada. A ausência de mecanismos automatizados de verificação torna a avaliação do aprendizado um processo custoso, manual e suscetível a erros. Diante desse cenário, este trabalho relata as experiências vivenciadas no desenvolvimento de uma ferramenta de verificação do aprendizado para agentes operando com Q-Learning, bem como as etapas de estudo, o aprimoramento na plataforma NetLogo e os impactos de tais atividades na formação como pesquisador.

DESENVOLVIMENTO

Conforme as atividades iniciais do cronograma, foram realizados o aprendizado do conceito teórico e práticos de modelos baseados em agente. A modelagem baseada em agentes é uma abordagem para modelar sistemas de agentes interativos autônomos que facilita a representação de comportamentos individuais e seus impactos no ambiente [Macal e North 2014]. Para o aprendizado prático foi orientado pelo professor coordenador Fernando dos Santos a NetLogo (Wilensky, 1999) como ferramenta de desenvolvimento dos modelos. Esse período foi registrado pelo desenvolvimento dos modelos com o intuito de aprender o funcionamento da ferramenta, juntamente com a escrita de um guia de estudo sobre o uso da ferramenta.

Ao longo da criação do guia de estudo, foi sugerido pelo coordenador a participação da Escola Regional de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial da Região Sul (ERAMIA-RS 2025), sediado na UFRGS em Porto Alegre/RS, exercendo a função de palestrante do minicurso “Introdução à Simulação Baseada em Agentes”, conforme a figura 1. Esse evento foi responsável por sedimentar os conhecimentos aprendidos até então, além de fornecer o potencial de aprendizado de novos conhecimentos encontrados nos cursos e palestras exibidas no evento.

Durante o aprendizado da ferramenta NetLogo, houve desenvolvimento de dois principais modelos, sendo um destes o modelo de ecossistema de formigueiros, conforme a figura 2. Após a apresentação do minicurso, começou o estudo sobre os conceitos de Aprendizado por Reforço (Reinforcement Learning – RL), tendo ênfase no aprendizado da aplicação do algoritmo Q-Learning. O Aprendizado por Reforço se refere a um dos ramos de Aprendizado de Máquina no qual um agente, que está diante de um problema, deve aprender um comportamento por meio de interações de tentativa e erro dentro de um ambiente dinâmico (Kaelbling et al. 1996). Foi desenvolvido um modelo baseado no cenário Cliff Walking na NetLogo, utilizando o algoritmo Q-Learning para efetuar o aprendizado do agente, conforme a figura 3.

Desenvolvida pelos estudantes (Kons, 2019) e (Bazzanella et al., 2024), a extensão de RL do NetLogo disponibiliza uma série de comandos, que viabilizam a implementação dos algoritmos de RL de forma prática. Definiu-se então que o tema da pesquisa seria a elaboração de uma ferramenta de verificação do aprendizado de agentes Q-Learning, utilizando a extensão como base para a

implementação. Essa pesquisa foi escrita, submetida e aceita para o *Workshop-School on Agents, Environments, and Applications* (WESAAC) (Rissardi e Santos, 2026).

A ferramenta propunha analisar um conjunto de dados que representam as ações desejadas para cada estado encontrado no modelo, e verificando se o aprendizado que o agente obteve é correspondente às expectativas do desenvolvedor. A nova ferramenta faz uma comunicação entre o *input* do desenvolvedor, informado por meio de um arquivo CSV, e a extensão, realizando uma comparação iterativa dos elementos para encontrar possíveis divergências entre os dados.

RESULTADOS

Nos modelos desenvolvidos, foram observados comportamentos complexos. No modelo do formigueiro, as formigas simularam com sucesso o comportamento real de emitir feromônios ao encontrar alimento, criando trilhas químicas para guiar outras formigas. Já no modelo Cliff Walking, acompanhou-se a evolução do agente: ele utilizou as recompensas do ambiente ao longo das iterações para aprender e, por fim, adotar a política de ação ideal para alcançar seu objetivo.

A apresentação do minicurso serviu como incentivo para realizar pesquisas mais aprofundadas sobre os assuntos que seriam abordados, trazendo como experiência a dedicação e esforço necessários para fazer um trabalho de tamanho porte e alcance. A presença no evento também permitiu o contato direto com inovações na área de Inteligência Artificial.

O uso da ferramenta de verificação automatizada permite que desenvolvedores avaliem o conhecimento gerado pelo agente. Observa-se o êxito obtido pela ferramenta em seu funcionamento, apontando corretamente instâncias onde ocorreram divergências no aprendizado do agente em comparação com a política de ação desejada, conforme a figura 4.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos desenvolvidos para a ferramenta NetLogo foram essenciais para consolidar os conceitos teóricos e práticos sobre a modelagem baseada em agentes. O modelo de ecossistema de formigueiro foi o primeiro a ser desenvolvido após a fase inicial de treinamento da ferramenta, servindo como um teste definitivo sobre o aprendizado da ferramenta. Os modelos de aplicação de RL foram responsáveis por criar a fundação do conhecimento necessário para o futuro desenvolvimento da ferramenta.

O desafio da apresentação do minicurso também se demonstrou necessário, auxiliando na quebra de medos pré-existentes com relação a apresentações em grandes públicos, servindo como um ótimo exercício para futuras apresentações, como o WESAAC 2026 e o Seminário de Iniciação Científica (SIC).

O desenvolvimento da ferramenta atingiu com êxito o objetivo de desenvolver uma ferramenta de verificação automatizada do aprendizado de agentes RL. A ferramenta se encontra no repositório do GitHub, onde permanece em uma *branch* do repositório GitHub¹. Em conversa com o professor coordenador, já foram discutidos planos para continuar o desenvolvimento da ferramenta em busca de integrá-lo para a versão principal da extensão.

Ao decorrer da minha participação no projeto de pesquisa, ela foi responsável pelo aprendizado de uma gama de novos conceitos, apresentar experiências desafiadoras e incentivar a evolução constante do conhecimento. Tais vivências foram essenciais para o meu amadurecimento como pesquisador, refletindo positivamente em minha rotina como estudante.

Palavras-chave: NetLogo; Q-Learning; Aprendizado por reforço; Modelagem baseada em agentes; Simulações baseadas em agentes.

¹ <https://github.com/agentbasedsimulations/2026-wesaac-netlogo-verify-qlearning>

ANEXOS



Figura 1. Apresentação do minicurso na ERAMIA-RS 2025

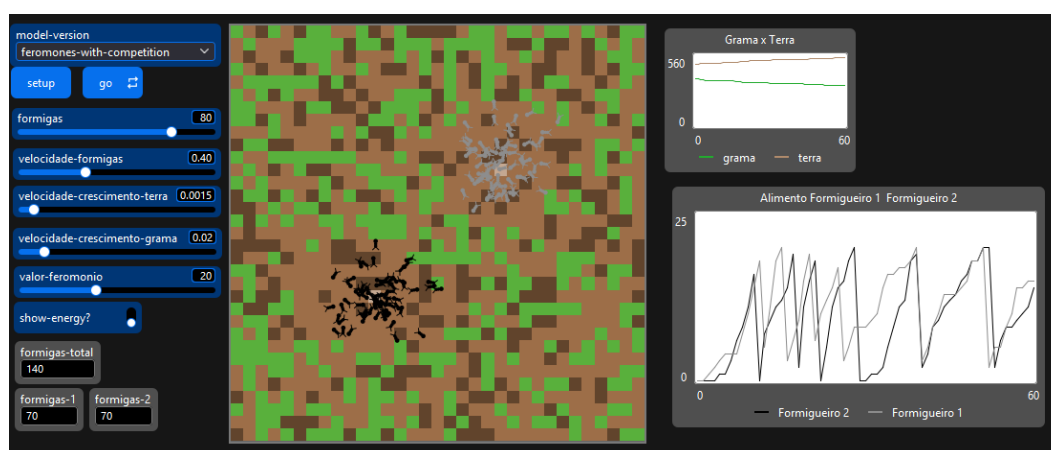


Figura 2. Simulação de Formigueiro

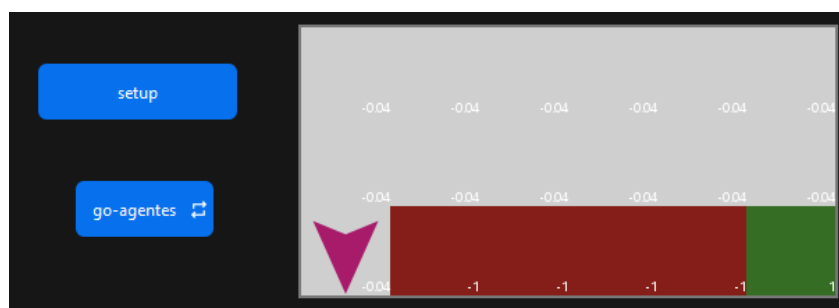


Figura 3. Simulação Cliff Walking

```
Central de Comandos
observer> print learningextension:verify-learning"C:\\Users\\mateu\\Downloads\\cliff-walking.csv"
QLEARNING VERIFIER
File location: C:\\Users\\mateu\\Downloads\\cliff-walking.csv

Actions verified, the result is...
Both tables are equal!

observer> |
```

Figura 2. *Funcionamento da ferramenta*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAZZANELLA, Eloísa; BARROS, Matheus M.; SANTOS, Fernando. Refatoração da Extensão NetLogo de Aprendizagem por Reforço para Integração com a Biblioteca BURLAP. In: WORKSHOP-ESCOLA DE SISTEMAS DE AGENTES, SEUS AMBIENTES E APLICAÇÕES (WESAAC), 18. , 2024, Brasília/DF. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024 . p. 51-62. ISSN 2326-5434. DOI: <https://doi.org/10.5753/wesaac.2024.33455>.

KAELBLING, L. P.; LITTMAN, M. L.; MOORE, A. W. Reinforcement Learning: A Survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*, v. 4, n. 237–285, p. 237–285, 1 maio 1996.

KONS, K. Biblioteca Q-Learning para desenvolvimento de simulações com agentes na plataforma NetLogo. In: UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA (UDESC) (2019). Disponível em: <https://www.udesc.br/arquivos/ceavi/id_cpmenu/3190/TCC_Kevin_Kons_17182952621215_3190.pdf>. Acesso em: 31 ago.. 2026.

MACAL, Charles; NORTH, Michael. Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, p. 6–20, dez. 2014.

RISSARDI, M.; SANTOS, F. Verificação Automatizada do Aprendizado de Agentes Q-Learning em NetLogo. In: WORKSHOP-ESCOLA DE SISTEMAS DE AGENTES, SEUS AMBIENTES E APLICAÇÕES (WESAAC), 20., 2026, Cuiabá/MT. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2026.

WILENSKY, U. NetLogo Home Page. Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>. Acesso em: 31 ago.. 2026.