

Simulação Baseada em Agentes para Invasão Zumbi: uma extensão de um modelo matemático

Miguel J. Z. da Costa Junior¹, Bruno C. Rodrigues¹,
Eder M. N. Goncalves¹, Diana F. Adamatti¹

¹Centro de Ciências Computacionais – Universidade Federal de Rio Grande (FURG)
Programa de Pós Graduação – Mestrado em Engenharia de Computação (PPGCOMP)
Rio Grande – RS – Brasil

{mzinelli95, brunocoelho.r, eder.m.goncalves, dianaada}@gmail.com

Abstract. *This paper presents an agent-based model for a mathematical model defined by Munz et al (2009) for a zombie attack. In the agent-based modeling, with the flexibility in the information and behaviors addition to environment and agents, we could obtain more realism in the simulation developed. Moreover, the information presented in the mathematical model, an extension is presented in this work, where agents search for weapons and also enter into a panic situation.*

Resumo. *Este artigo apresenta um modelo baseado em agentes para um modelo matemático definido por Munz et al (2009) para um ataque zumbi. Na modelagem baseada em agentes, com a flexibilidade na adição de informações e comportamentos ao ambiente e aos agentes, pode-se obter maior realismo na simulação realizada. Além das informações apresentadas no modelo matemático, uma extensão é apresentada nesse trabalho, onde os agentes buscam por armas e também entram em situação de pânico.*

1. Introdução

De acordo com [Ferber et al. 2003], um agente pode ser uma entidade real ou virtual, que dispõe uma capacidade de percepção e representação parcial do ambiente, que pode se comunicar com outros agentes, possuindo comportamento autônomo que é consequência de suas observações de seu conhecimento e das suas interações com outros agentes. Agentes podem ser divididos em reativos e cognitivos, onde agentes reativos apenas reagem com o ambiente onde estão inseridos e agentes cognitivos possuem um comportamento complexo, onde podem interagir com outros agentes.

Sistemas multiagente (SMA) estudam o comportamento de um grupo de agentes distintos, inseridos em um ambiente comum que interagem e cooperam para realizar terminada tarefa. As aplicações em SMA são as mais diversas, como: controle de tráfego aéreo, gerências de negócios, interação humano-computador, aplicações distribuídas, simulação social ou personagens em jogos digitais.

Munz et al (2009) desenvolveram um modelo matemático, apresentando um contexto de infestação zumbi, através do software MATLAB [Guide 1998]. Este cenário fantasioso reflete o ambiente clássico de presa-predador, propondo uma analogia com o mercado de trabalho, onde apenas os mais fortes, melhores qualificados e adaptados sobrevivem. Todavia, este modelo matemático é hipotético, pois não simula o encontro

físico de humanos e zumbis, baseado na localização espacial dos indivíduos. A utilização de simulação baseada em agentes permite uma grande possibilidade de incremento e expansão do modelo matemático com diversas peculiaridades, tornando o mais realista.

Assim, o objetivo do presente artigo é o estender modelo matemático utilizando a simulação baseada em agentes e verificar os resultados dessa extensão. Para isso, este artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção 2, apresenta uma breve fundamentação teórica do trabalho, na Seção 3 é apresentado o modelo matemático proposto por Munz et al (2009). Na Seção 4 é apresentada a modelagem baseada em agentes deste cenário com suas respectivas peculiaridades. Na Seção 5 são apresentados os resultados obtidos desse estudo e finalmente, a Seção 6 expõe as conclusões do trabalho.

2. Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica de um artigo consiste em demonstrar os conceitos básicos para o entendimento sobre o tema. Nesta Seção, portanto, apresentam-se definições necessários para o compreensão do tema deste artigo.

2.1. Simulação

A simulação é um método que auxilia na tomada de decisões, especialmente em casos de planejamento a médio e longo prazo ou em situações que envolvam custo e riscos elevados para um determinado contexto, [Rebonatto 1999]. Um modelo é uma simplificação de uma estrutura ou sistema podendo ser menor, menos detalhado e menos complexo do qual está sendo observado.

Modelos matemáticos são utilizados para prever os valores das variáveis envolvidas e são muito utilizados nas ciências sociais. Todavia, as simulações possuem a entrada de dados fornecidas pelo pesquisador e as saídas dos dados são observadas durante a execução, apresentando assim o comportamento do modelo através do tempo [Gilbert and Troitzsch 2005].

A simulação que utiliza máquinas computacionais para execução é uma poderosa ferramenta que pode ser utilizada para modelar, planejar e avaliar novas alternativas e mudanças de estratégias em sistemas do mundo real. Sua utilização significa construir programas de computador (*software*) que representem o sistema do mundo real e reproduzam seu funcionamento [Rebonatto 1999].

2.2. Netlogo

O *NetLogo* é uma ferramenta que permite a programação e a modelagem de agentes para a simulação de fenômenos naturais e sociais que evoluem ao decorrer do tempo [Wilensky 1999]. Essa ferramenta auxilia a visualização de cenários com gráficos que ilustram os resultados das simulações. O *Netlogo* permite a modelagem de sistemas simples, complexos, estáticos ou dinâmicos, além de permitir a visualização de ambientes em 3D.

Dentro da ferramenta existem vários elementos, chamados de agente,s que de maneira independente podem receber diversas interações, de acordo com seu comportamento, bem como guardar informações oferecidas pela entrada de dados. Vale ressaltar que essa ferramenta é simples e intuitiva, não necessitando de habilidades avançadas de programação para criar um ambiente.

3. Modelo matemático: When zombies attack!

Munz et al (2009) apresentam um modelo matemático baseado em ataques de zumbis vistos em jogos eletrônicos e séries de televisão, geralmente tratadas como epidemias ou surtos de infestações.

Neste modelo matemático inicial, são consideradas três classes: os Suscetíveis (S), que são descritos como humanos saudáveis; os Zumbis (Z), que são representados pelos humanos que já foram transformados; e a classe Removidos (R), que são representados por humanos mortos por causa natural ou no combate contra zumbis.

A Figura 1 ilustra a interação das classes com o ambiente. Inicialmente, os suscetíveis tem uma taxa na natalidade representada por Π , uma taxa de morte natural, podendo tornar-se removidos (representados por δ). Suscetíveis podem se transformar em zumbis através da transmissão. Nesse caso, quando houver um encontro com outro zumbi β . Os zumbis podem morrer (Removidos), caso forem derrotados em um confronto (parâmetro α). Os Removidos podem voltar como Zumbis, representado pelo parâmetro ζ , apenas no caso de terem recém morrido (quando um zumbi entra em contato com um morto de causas naturais).

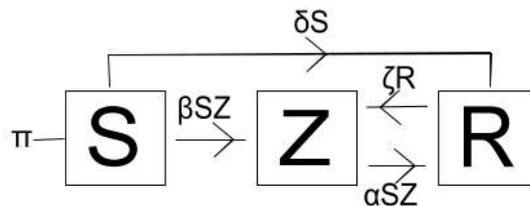


Figura 1. Modelo Básico [Munz et al. 2009]

Três regras diferentes ainda atuam sobre modelo: somente humanos podem ser infectados e zumbis só tem desejo por carne humana. Estas duas regras existem basicamente para simplificar o modelo, havendo interação apenas entre zumbis e humanos. A última regra neste modelo é que zumbis não atacam outros zumbis.

A fim de modelar o sistema, foram utilizadas Equações Diferenciais Ordinárias (EDO). Braun e Golubitsky (1983) *apud* [Munz et al. 2009] explicam que essa abordagem aparece em muitas áreas da ciência e suas aplicações podem resolver problemas diversos, como: detecção em falsificação de arte, diagnóstico de diabetes ou crescimento de células em tumores. EDO são utilizadas para modelar crescimentos populacionais de qualquer espécie. A equação (1) apresenta um exemplo de uma equação diferencial que modela a variação de uma população de uma determinada espécie no tempo.

$$\frac{dp(t)}{dt} = ap(t), \quad a = \text{constant}. \quad (1)$$

Para observar o comportamento do modelo proposto, os autores utilizaram o MATLAB. As EDO que definem a variação das populações do modelo foram resolvidas numericamente pelo método de Euler para $i = 1 : n$, e as Equações (2), (3) e (4) foram implementadas na ferramenta.

$$s(i + 1) = s(i) + dt * (-\beta * s(i) * z(i)); \quad (2)$$

$$z(i + 1) = z(i) + dt * (\beta * s(i) * z(i) - \alpha * s(i) * z(i) + \zeta * r(i)); \quad (3)$$

$$r(i + 1) = r(i) + dt * (\alpha * s(i) * z(i) + \delta * s(i) - \zeta * r(i)); \quad (4)$$

A Figura 2 apresenta a simulação no MATLAB baseada no modelo básico representado pelas equações apresentadas anteriormente. As variáveis de entrada utilizadas foram $\alpha = 0.005$, $\beta = 0.0095$, $\zeta = 0.0001$ e $\delta = 0.0001$.

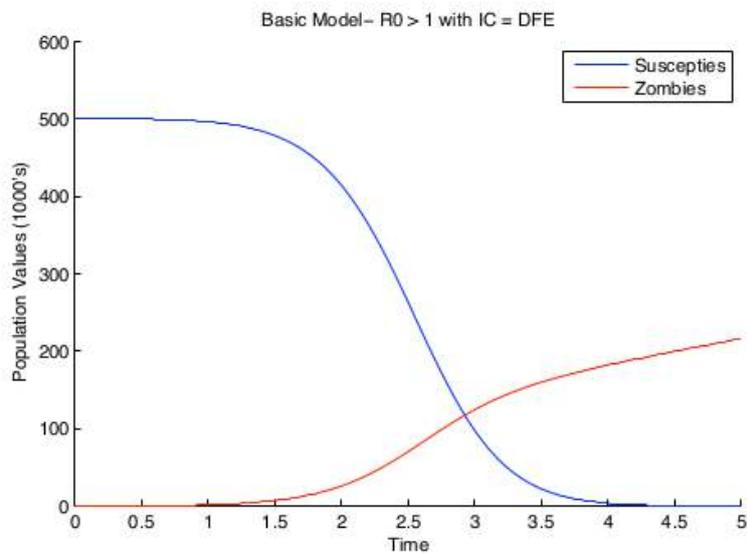


Figura 2. Modelo Básico [Munz et al. 2009]

O segundo modelo proposto pelos autores inclui uma nova classe ao modelo original, chamada Infectados (I), que é ilustrada no esquema da Figura 3. Essa classe tem uma característica: quando o suscetível é infectado pelo zumbi, a doença fica incubada por um período de tempo, para posteriormente ocorrer a transformação em zumbi. Esse tempo para a transformação seria de aproximadamente 24 horas após a infecção, como é citado em livros de cultura pop sobre o tema e adotada pelos autores do modelo matemático.

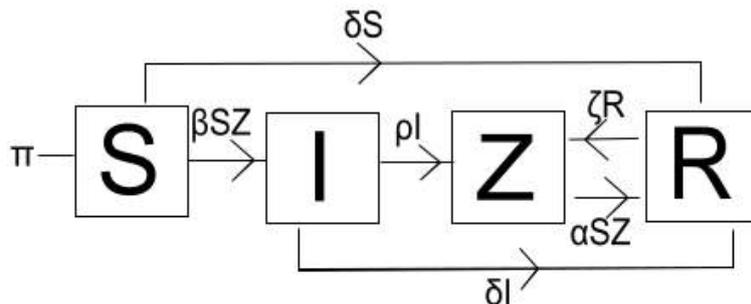


Figura 3. Fluxograma de interação do modelo com infecção latente [Munz et al. 2009]

As mudanças que ocorrem no modelo acima, basicamente consiste em um infectado poder ser removido antes de se transformar em zumbi por motivo de morte natural, ou seja, qualquer morte não envolvendo diretamente zumbis. Outra alteração é o tempo que a transformação para zumbi ocorra, e isso implica que mesmo após a eliminação de todos os suscetíveis, a quantidade de zumbis permanece crescendo, como pode ser visto na Figura 4. Isso acontece pois os infectados ainda estão com o vírus incubado.

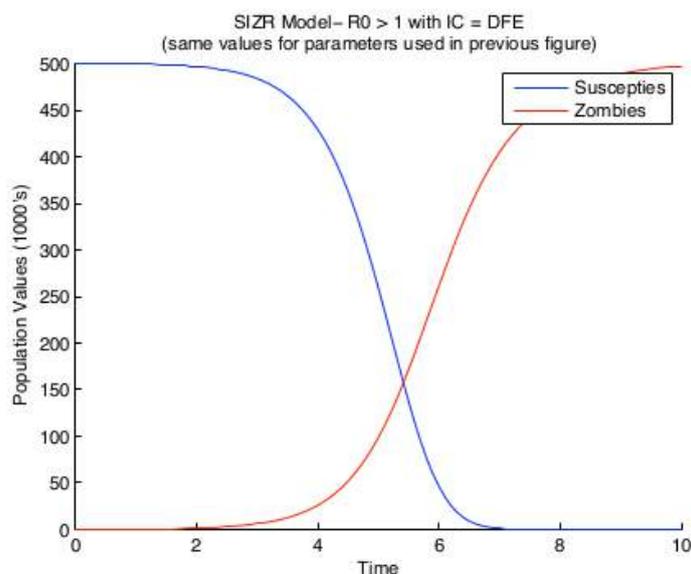


Figura 4. Modelo Básico [Munz et al. 2009]

4. Modelo e simulação baseada em agentes

Para realizar a simulação do modelo matemático optou-se por aderir a uma nova perspectiva, a simulação baseada em agentes. Neste paradigma, o modelo matemático é hipotético, pois apenas é gerada uma probabilidade de infecções e mortes durante o processo de execução. A criação de um modelo juntamente com a simulação baseada em agentes permite que o novo modelo de simulação seja mais realista, implementando novos comportamentos, além da adição da relação espacial de encontros entre zumbis e humanos suscetíveis.

Vale ressaltar que todo o ambiente e simulações da modelagem baseada em agentes são implementadas utilizando o *NetLogo*. O ambiente padrão definido em todas as execuções é uma grade com uma área de 40x40 *patches* de mundo aberto, ou seja, com bordas são abertas simulando o formato do globo terrestre. Para o primeiro cenário foi utilizado o agente *humanos*, possuindo variáveis que correspondem as características que os humanos possuem no modelo, como:

- infectado?: os humanos não são automaticamente transformados, a infecção tem um período de incubação antes de ocorrer a transformação em zumbi;
- zumbi?: identifica o humano já transformado;
- removido?: estes são os humanos que estão mortos por morte natural, ou por outra situação e que ainda podem ser infectados e transformados em zumbis;

- removidoTotal?: são os agentes que não tem mais interação com o ambiente.

Diferente da simulação realizada por Munz et al (2009), que apresenta a variação de população de acordo com o tempo, na simulação realizada com agentes proposta neste estudo, há necessidade de interações entres os elementos no espaço físico, ou seja, para que um humano seja contaminado por um zumbi, há a necessidade de ambos estarem localizados no mesmo *patch*. A partir disso, uma disputa é realizada comparando os valores de ataque de cada um, se o humano vencer o zumbi será removido totalmente; caso o zumbi vença o humano poderá ser infectado, mas também tem uma chance de ser removido totalmente.

Em um trabalho anterior, [da Costa Junior et al. 2016] realizam um estudo a fim de prover uma melhor interação no modelo, adicionando o comportamento de fuga em agentes suscetíveis, determinando assim uma atuação mais realista com humanos em situação de perigo. A fim de equilibrar as forças e dar vantagem aos humanos, foi adicionada a possibilidade do uso de armas, aumentando o poder de ataque dos suscetíveis, representando assim a capacidade de adaptação e engenhosidade dos seres humanos.

Nos resultados, os autores apresentam vários ambientes simulados e melhorias para este modelo matemático, principalmente baseando-se na relação espacial dos indivíduos, fato que torna o modelo mais realista. Também apresentam uma relação com o número de agentes - quanto maior o número de agentes, menor o número de *ticks* necessários para encerrar a simulação.

Incrementado ao modelo de simulação baseada em agentes, foi implementado um comportamento de pânico, que assim como no mundo real proporciona que humanos fiquem paralisados em devidas situações, sem capacidade de movimentar-se. Para realizar a simulação, foi configurada inicialmente uma taxa de 10 por cento da população recebe esse comportamento, e tem uma taxa de 50 por cento de chances de ficarem paralisadas no *tick* atual. Outra extensão em relação ao trabalho anterior foi a busca por armas, que podem representar também qualquer outro recurso que trará benefício para a sobrevivência dos humanos. Essa busca pode ser configurada através da alteração do tamanho do raio de visão dos humanos via interface.

A Figura 5 demonstra a interface da modelagem no *Netlogo* com todas as opções de configuração, apresentando botões para alteração da população inicial, forças de ataque dos suscetíveis e zumbis, taxas referente a mortes por causas naturais e natalidade. Também apresenta as opções onde é possível alterar os cenários para com ou sem fuga e se os agentes suscetíveis tem armas. Ainda na interface, é apresentado o "Mundo", que é onde os agentes interagem. Mais a direita, tem-se o gráfico mostrando a evolução da simulação e monitores com a quantidade respectiva de cada classe de agente proposta no modelo.

Dentro da simulação cada agente recebe uma cor para uma melhor identificação no "Mundo". Os humanos saudáveis recebem a cor azul. Quando um humano saudável é atacado por um zumbi e perde na disputa ele é infectado, recebendo assim a cor verde, ou caso os danos forem muito grandes ele pode ser removido totalmente, os agentes com esta característica recebem a cor branca, zumbis quando perdem a disputa para humanos suscetíveis também são removidos totalmente tornando-se na cor branca. Os infectados depois de um período de incubação tornam-se zumbis, tornando-se vermelhos. Ainda

neste ambiente temos as caixas amarelas que representam as armas, e quando humanos suscetíveis encontram estes recursos eles recebem como identificador uma roupa preta com vermelho e boné vermelho, mas mantendo-se na cor azul o corpo.

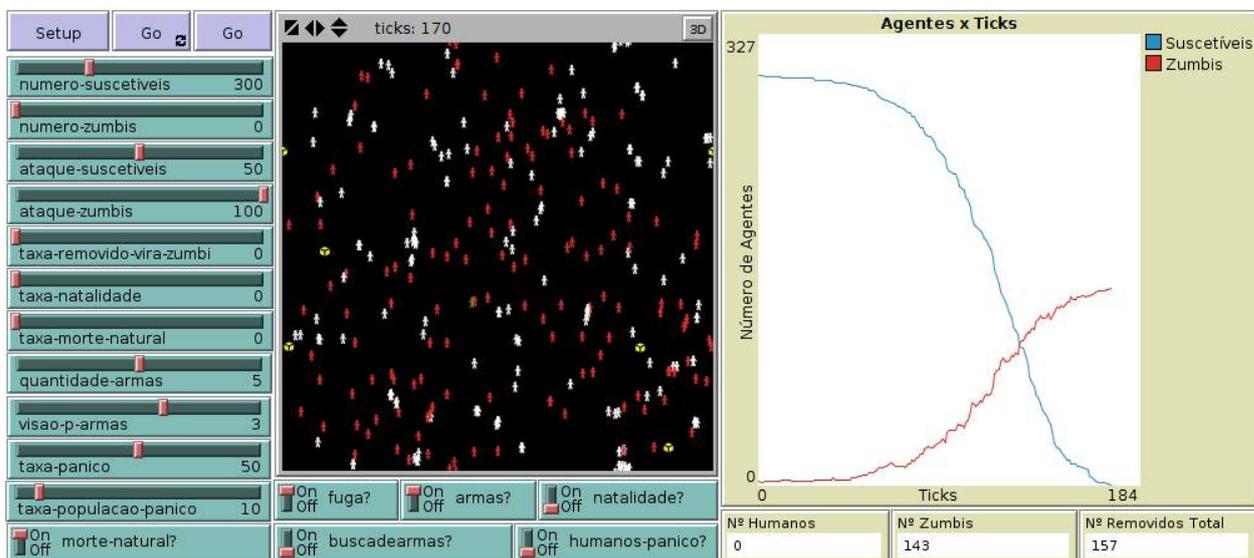


Figura 5. Interface do modelo baseado em agentes no *NetLogo*.

5. Resultados

Na simulação foram executados cinco cenários:

- No primeiro cenário os agentes andam aleatoriamente pelo ambiente, sem qualquer comportamento específico para fuga.
- No segundo cenário os agentes suscetíveis tem capacidade de fugir quando percebem um agente do tipo zumbi próximo.
- No terceiro cenário, os humanos suscetíveis mantém o comportamento de fuga e podem ter armas para aumentar seu poder.
- No quarto cenário, eles mantém a capacidade de fuga, e de possuir armas e agora a busca por estas armas pelos humanos.
- O quinto e último cenário baseia-se na situação de pânico que eventualmente ocorre com humanos, em que ficam paralisados sem capacidade de reação, mais todos os comportamentos do quarto cenário.

Essencialmente, nos cenários com armas e capacidade de fuga, o comportamento da simulação apresentou convergências ao modelo básico proposto por Munz et al (2009), onde pode-se comparar a Figura 2 com o resultado da simulação no *NetLogo* apresentado na Figura 6.

Todavia, quando a situação de busca de armas é ativada na simulação, ocorre um comportamento não modelado: humanos suscetíveis fazem um círculo em volta das armas, como pode ser visto Figura 7, onde os humanos estão em torno das caixas amarelas.

Essa aproximação justifica-se pelo fato dos humanos suscetíveis terem um ganho de poder quando tem acesso as armas, assim equiparando o poder de ataque com os dos zumbis. Então eles se aglomeram em torno deste recurso. Mas ao adquirirem este

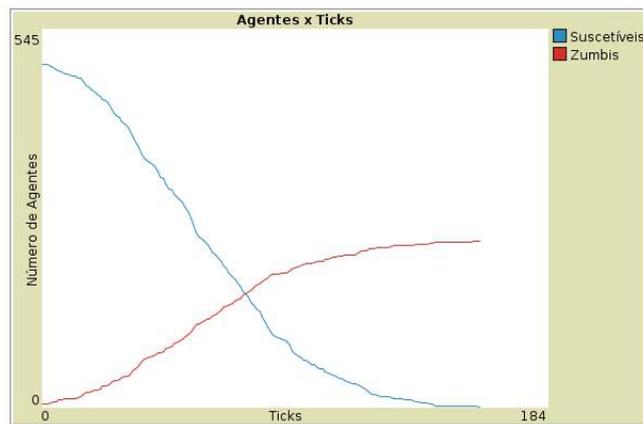


Figura 6. Comportamento dos agentes em simulação com armas e fuga.

comportamento, a fuga fica mais complexa, por haver muitos humanos em um pequeno espaço. Também atenta-se o fato da localização espacial, pois os humanos suscetíveis não tem o poder de matar zumbis que não estão no mesmo campo de visão.



Figura 7. Comportamento dos humanos buscando as armas.

Nos cinco cenários analisados, foram realizados 100 execuções para a quantidades de 100 até 500 agentes. As médias dos resultados são apresentadas na Tabela 1. É possível perceber que quanto maior o número de agentes, menor é o número de *Ticks* necessários para finalizar a simulação. Isso se explica devido ao pequeno espaço que os agentes tem para realizar uma fuga eficiente quando esta opção está disponível na simulação.

Analisando também os valores apresentados na Tabela 2, percebe-se que a relação entre zumbis, humanos e removidos totais apresentarem resultados de média bastante

semelhantes apesar das alterações dos comportamentos, a grande diferença está no tempo de resistência dos humanos, onde o cenário onde a fuga é o único comportamento possui praticamente o dobro de *ticks* do cenário que possui todos os comportamentos incluindo o de pânico. Vale ressaltar que duas condições encerram a simulação: o número máximo de *ticks* permitidos 10.000, ou quando não existam agentes humanos.

Tabela 1. Número de *Ticks* das simulações no NetLogo.

Nº Humanos	Cenários				
	Sem Fuga	Com Fuga	Com Armas	Com Busca	Com Pânico
100	3608,39	4045,89	3596,43	3202,75	2523,82
200	1286,69	1934,36	1173,73	1076,47	861,65
300	377,16	662,08	534,55	733,1	133,8
400	363,96	407,33	212,9	217,33	212,9
500	59,23	159,13	201,17	102,13	87,46

Tabela 2. Porcentagem de agentes ao final da simulação

Fuga	Número de Agentes				
	100	200	300	400	500
Zumbis Restantes	37,82%	47,80%	48,29%	48,01%	46,94%
Humanos Vivos	37,40%	12,68%	4,91%	0,00%	0,00%
Removidos Total	24,78%	39,53%	51,44%	52,00%	53,06%
Fuga + Armas + Situação de Pânico					
Zumbis Restantes	33,91%	41,46%	46,53%	46,72%	46,70%
Humanos Vivos	39,18%	18,64%	4,93%	0,99%	0,00%
Removidos Total	26,93%	39,91%	48,53%	52,30%	53,30%

6. Conclusão

Analisando os dados obtidos da simulação baseada em agentes, observam-se melhores resultados quando comparados ao da modelagem matemática. O modelo matemático apenas gera probabilidades e simula os acontecimentos no cenário.

Todavia, o modelo baseado em agentes ganha um viés mais realista, trabalhando com a relação espacial entre os agentes - humanos suscetíveis e zumbis, além de implementar novos comportamentos como a fuga, inclusão de recursos que podem ser obtidos pelos humanos e outras características comportamentais apresentando formas de interação na área de simulação social. Além deste modelo ser mais realista, há uma analogia deste modelo contextualizado com zumbis, que pode ganhar várias aplicações para problemas do cotidiano: doenças infectocontagiosas, epidemias, infestação de pragas na agricultura, entre outros.

Para trabalhos futuros, pode-se idealizar novos comportamentos cognitivos em humanos suscetíveis, como um vínculo com pessoas próximas (formação de subgrupos), visto que quanto mais cognição os agentes tiverem, maior será sua capacidade de sobrevivência. E também a inclusão de emoções para os agentes no ambiente, trabalhando vendo assim o seu comportamento com novas simulações sociais.

Referências

- da Costa Junior, M. J. Z., Rodrigues, B. C., and Adamatti, D. F. (2016). Uma extensão para um modelo matemático utilizando simulação baseada em agentes. *Anales del IV Seminario Argentina-Brasil de Tecnologías de la Información y la Comunicación*, pages 300–308.
- Ferber, J., Gutknecht, O., and Michel, F. (2003). From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems. In *International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering*, pages 214–230. Springer.
- Gilbert, N. and Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. McGraw-Hill Education (UK).
- Guide, M. U. (1998). The mathworks. *Inc., Natick, MA*, 5:333.
- Munz, P., Hudea, I., Imad, J., and Smith, R. J. (2009). When zombies attack!: mathematical modelling of an outbreak of zombie infection. *Infectious Disease Modelling Research Progress*, 4:133–150.
- Rebonatto, M. T. (1999). Um estudo sobre simulação paralela. *Mestrado em Ciência da Computação (UFRGS) Instituto de Informática. Porto Alegre*.
- Wilensky, U. (1999). {NetLogo}.