

**Título em Português:** Processos epidêmicos em redes temporais

**Título em Inglês:** epidemic processes in temporal networks

**Autor:** Ricardo Tetti Camacho

**Instituição:** Universidade de São Paulo

**Unidade:** Instituto de Física de São Carlos

**Orientador:** Francisco Aparecido Rodrigues

**Área de Pesquisa / SubÁrea:** Matemática Aplicada

**Agência Financiadora:** Outros

# Processos epidêmicos em redes temporais

Ricardo Tetti Camacho

Francisco Aparecido Rodrigues

Instituto de Física de São Carlos – USP

[ricardotetti.camacho@usp.br](mailto:ricardotetti.camacho@usp.br)

## Objetivos

Modelos de propagação de epidemias e rumores são fundamentais para a previsão e controle da transmissão de agentes infecciosos e comportamento social. A maioria dos modelos desenvolvidos em redes complexas considera apenas estruturas estáticas, onde as conexões são mantidas ao longo do tempo (1). Apenas recentemente, modelos de propagação de epidemias em redes temporais foram propostos. Nessas redes, as conexões não são estáticas, variando durante a propagação do agente infeccioso (2). Nesse trabalho, objetivamos estudar tais modelos e analisar processos epidêmicos em redes de agentes móveis. Vamos modelar epidemias e rumores e avaliar como a velocidade de movimentação, raio de interação e relevo, onde os agentes se movimentam, influencia no número de infectados. Os resultados obtidos permitirão uma melhor compreensão sobre a propagação de informação em redes complexas com estrutura variável no tempo.

## Métodos e Procedimentos

Para simular os processos epidemiológicos é utilizado o modelo de agentes móveis, que permite com que seja feita a análise da interação do agente com o ambiente e entre eles, e com isso é possível variar o raio de contágio, velocidade e os parâmetros do terreno em que o agente percorre, será utilizado o modelo SIR (suscetível, infectado e recuperado) implicando em uma epidemia que

tende a acabar, pois o último estado da doença é recuperado e não é possível pegá-la novamente.

Para que seja analisado com raio sendo variável foi necessário definir uma maneira de escolher raios diferentes para todos os agentes envolvidos no processo e para isso foram gerados raios com base em uma distribuição normal, ou gaussiana, essa mesma análise pode ser feita para a velocidade do agente.

No caso da variação do relevo é um pouco diferente, para isso foram geradas diferentes relevos com níveis de rugosidade diferentes e foi observada como essa rugosidade influencia, mas um problema observado é como se mede a rugosidade do relevo e para isso foi usado a entropia da superfície (3), implicando em um valor de rugosidade variando entre 0 e 1, com 1 sendo a mais rugosa possível e 0 sendo uma superfície completamente lisa, que corresponde a um método que começa por uma caminhada aleatória pela superfície e é analisada como essa caminhada se comporta, em relação a suas variações ao longo do eixo z. Com isso é possível tirar informações dessa superfície e ver como ela influencia o modelo em diferentes cenários.

## Resultados

Para o uso do raio variável usando a distribuição normal foram obtidos os seguintes resultados, mostrados na figura 1, implicando em quanto maior o desvio padrão da nossa distribuição normal mais a doença se propaga. No caso da análise da rugosidade temos apenas os resultados parciais e podemos

observar eles na figura 2, onde foi utilizada diversas populações com densidades diferentes e comparando o caso de uma superfície completamente plana e outra com uma rugosidade alta.

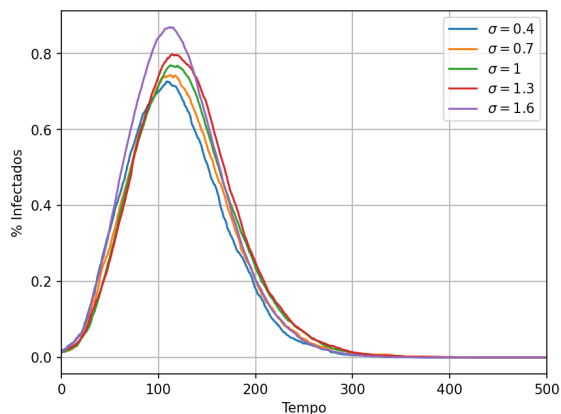


Figura 1: uso de raio variável dado por uma distribuição normal,  $\mu = 2$

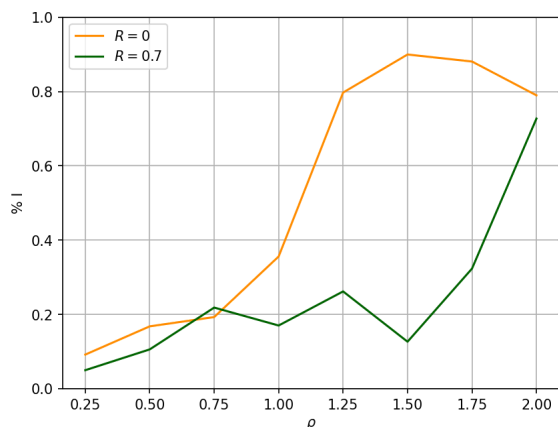


Figura 2: comparação de superfícies com rugosidades diferentes e variando a densidade, com R sendo a medida de rugosidade, e  $\rho$  sendo a densidade

Com isso fica possível observar a influência que a rugosidade da superfície tem sobre a propagação, dificultando a locomoção dos agentes sobre ela, e deixando que a doença praticamente não se espalhe em uma situação que nas mesmas condições mas com um rugosidade baixa a doença já teria dominado, onde se mostra muito semelhante é em casos extremos, com a densidade muito alta ou muito baixa.

## Conclusões

Neste trabalho conseguimos analisar a influência de diferentes raios de contágio para cada um dos agentes móveis e analisar o quanto isso pode influenciar na propagação da doença, assim como possivelmente pode interferir em propagação de rumores ou fenômenos sociais - sendo parte do projeto futuro.

Assim como foi possível observar como a rugosidade da superfície pode influenciar na propagação e com isso podemos interpretar essa rugosidade como sendo as bolhas de isolamento social, quando ocorre um *lockdown* por exemplo, assim como na parte anterior ainda é possível expandir esse estudo da rugosidade para fenômenos sociais e aproveitar a liberdade que o uso de agentes móveis nos permite ter e incluir diversos outros parâmetros no modelo.

## Referências Bibliográficas

- [1] Pastor-Satorras, Romualdo and Castellano, Claudio and Van Mieghem, Piet and Vespignani, Alessandro. Epidemic processes in complex networks. *Reviews of Modern Physics*. Aug. 2015.
- [2] FRASCA, M. et al. Dynamical network model of infective mobile agents. *Physical Review E*, v. 74, n. 3, p.036110-1-036110-5, Sept. 2006.
- [3] K. M. Malan and A. P. Engelbrecht, "Quantifying ruggedness of continuous landscapes using entropy," 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2009, pp.1440-1447, doi: 10.1109/CEC.2009.4983112

# Epidemic processes in temporal networks

**Ricardo Tetti Camacho**

**Francisco Aparecido Rodrigues**

São Carlos Institute of Physics - USP

[ricardotetti.camacho@usp.br](mailto:ricardotetti.camacho@usp.br)

## Objectives

Models of epidemic spread and rumor are fundamental to the prediction and control of the transmission of infectious agents and social behavior. Most models developed on complex networks consider only static structures, where connections are maintained over time (1). Only recently, epidemic propagation models in temporal networks have been proposed. In these networks, the connections are not static, varying during the propagation of the infectious agent (2). In this paper, we aim to study such models and analyze epidemic processes in mobile agent networks. We will model epidemics and rumors and evaluate how the speed of movement, radius of interaction and the rugged terrain, where agents move, influence the number of infected. The results obtained will allow a better understanding about the propagation of information in complex networks with time-varying structure.

## Methods and Procedures

To simulate the epidemiological processes is used the model of mobile agents, which allows the analysis of the interaction of the agent with the environment and between them, and with this it is possible to vary the radius of infection, speed and parameters of the terrain in which the agent travels, the SIR (susceptible, infected and recovered) model will be used, implying an epidemic that tends to end, because the last state of the disease is recovered and it is not possible to catch it again.

To be analyzed with radius being variable it was necessary to define a way to choose different radii for all agents involved in the process and for that radii were generated based on a normal distribution, or Gaussian, this same analysis can be done for the speed of the agent.

In the case of the variation of the rugged terrain is a little different, for that were generated different lands with different roughness levels and it was observed how this roughness influences, but a problem observed is how to measure this roughness and for that was used the entropy of the surface (3), implying a roughness value varying between 0 and 1, with 1 being the roughest possible and 0 being a completely smooth surface, which corresponds to a method that starts by a random walk by the surface and it is analyzed how this walk behaves, in relation to its variations along the z axis. With this it is possible to take information from this surface and see how it influences the model in different scenarios.

## Results

For the use of variable radius using the normal distribution the following results were obtained, shown in figure 1, implying that the greater the standard deviation of our normal distribution the more the disease spreads. In the case of roughness analysis we have only partial results and we can observe them in figure 2, where it was used several populations with different

densities and comparing the case of a completely flat surface and another with a high roughness.

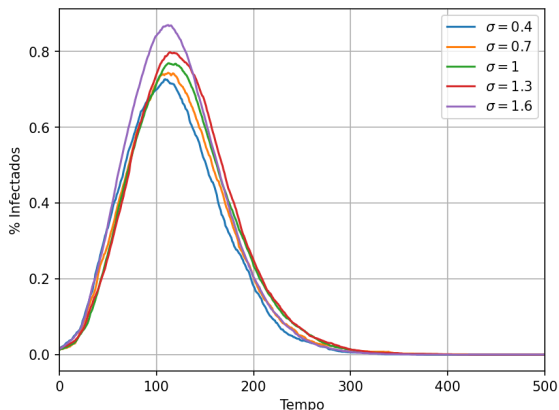


Figure 1: use of variable radius given by a normal distribution,  $\mu = 2$

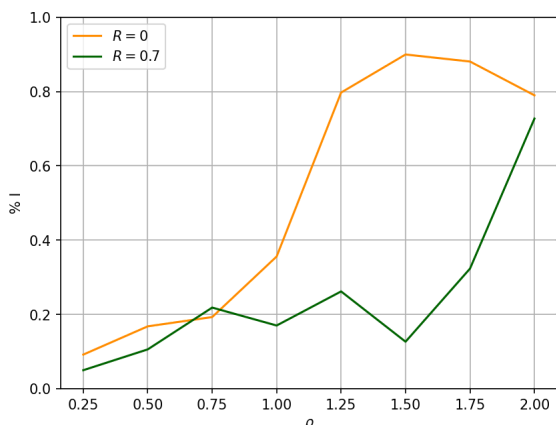


Figure 2: comparison of surfaces with different roughness and varying density, with R being the roughness measurement, and  $\rho$  being the density

With this it is possible to observe the influence that the roughness of the surface has on the propagation, hindering the locomotion of the agents on it, and letting the disease practically not spread in a situation that in the same conditions but with a low roughness the disease would already have dominated, where it shows very similar is in extreme cases, with a very high or very low density.

## Conclusions

In this work we were able to analyze the influence of different contagion radii for each of the mobile agents and analyze how much this can influence the spread of the disease, as well as possibly can interfere in rumor spread or social phenomena - being part of the future project.

Just as it was possible to observe how the roughness of the surface can influence the propagation and with this we can interpret this roughness as being the bubbles of social isolation, when a lockdown occurs for example, as well as in the previous part it is still possible to expand this study of roughness for social phenomena and take advantage of the freedom that the use of mobile agents allows us to have and include several other parameters in the model.

## Bibliographic References

- [1] Pastor-Satorras, Romualdo and Castellano, Claudio and Van Mieghem, Piet and Vespignani, Alessandro. Epidemic processes in complex networks. *Reviews of Modern Physics*. Aug. 2015.
- [2] FRASCA, M. et al. Dynamical network model of infective mobile agents. *Physical Review E*, v. 74, n. 3, p.036110-1-036110-5, Sept. 2006.
- [3] K. M. Malan and A. P. Engelbrecht, "Quantifying ruggedness of continuous landscapes using entropy," 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2009, pp.1440-1447, doi: 10.1109/CEC.2009.4983112