

# Sugarcane cellular automata

Juliana F. dos Santos

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada(UFRPE)

julifs.13@gmail.com

**Abstract.** *Sugarcane is an important representative of the Brazilian agroindustry, so it is important to optimize its production. Therefore, it is relevant to apply modeling and simulation features that help in decision making and crop prediction. This paper aims to present the modeling and simulation of the behavior of sugarcane plantations through compartmental models and cellular automaton, in order to predict their production and identify the quality of the plantation.*

**Resumo.** *A cana-de-açúcar é um importante representante da agroindústria brasileira, diante disso é importante sua produção ser otimizada. Portanto, é relevante aplicar recursos de modelagem e simulação que ajudem na tomada de decisão e previsão de safras. Este artigo tem o objetivo de apresentar a modelagem e simulação do comportamento de plantações de cana-de-açúcar, através de modelos compartimentais e autômato celular, a fim de prever sua produção e identificar a qualidade da plantação.*

## 1. Introdução

O setor agrícola é responsável por grande parte do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Este setor coloca o Brasil entre os maiores produtores do mundo, por isso apresenta grande importância para a economia e sociedade [Guilhoto et al. 2011].

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas nacional. Sendo o Brasil é o principal produtor da cana-de-açúcar no mundo [FAO 2018]. Porém, este tipo de plantação ocupa uma vasta área, tornando necessário otimizar o cultivo e prever fatores de crescimento ou declínio das safras. Neste aspecto, a modelagem computacional permite prever o resultado final da plantação através de simulações.

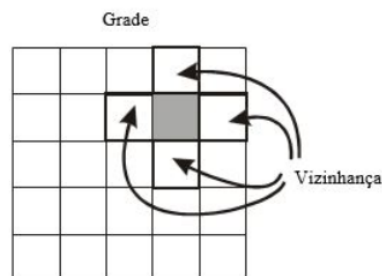
O trabalho [Júnior 2019] utiliza modelos de cadeia de markov e de autômatos celulares para simular plantações de cana-de-açúcar. Considerando como base o modelo de autômato celular, este artigo propõe uma modelagem e simulação de plantações de cana-de-açúcar, considerando características da plantação e do ambiente no qual ela está inserida.

Neste trabalho, serão utilizados modelos compartimentais e autômatos celulares. Essas técnicas permitem modelar como a qualidade do cultivo da cana-de-açúcar acontece no mundo real. Dessa forma, é possível auxiliar em previsões e na tomada de decisão relativa às safras e qualidade de cultivo da plantação, com o objetivo de otimizar a produção.

## 2. Autômato Celular

Autômato celular consiste de uma grade de células, como representado na Figura 1. As células são considerada a unidade básica do autômato, nelas as variáveis podem adquirir

qualquer valor dentro de um dado conjunto de valores possíveis. O autômato celular pode abranger uma ou mais dimensões e evolui em unidades de tempo discretas, considerando suas regras de transição, com os valores de uma célula sendo afetado pelas células em sua vizinhança [Wolfram 2018].



**Figure 1. Grade, célula e sua vizinhança de um autômato celular [Castro and de Oliveira Castro 2015]**

A vizinhança no autômato celular é formada pelas células adjacentes e pela própria célula. Existem diferentes tipos de vizinhança, neste trabalho será utilizada a vizinhança de Moore. Esta é composta das oito células adjacentes, considerando as células verticais, horizontais e diagonais. Os valores em cada célula são atualizados considerando os valores de sua vizinhança e seguem um conjunto de regras locais. Estas regras podem ser determinísticas ou podem envolver elementos probabilísticos [Batty et al. 1997].

Uma técnica que pode ser utilizada nos autômatos celulares são os modelos compartimentais. Essa técnica permite classificar o objeto de estudo em categorias, permitindo dividir os estados das células em compartimentos, considerando um determinado instante de tempo.

### **3. Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é capaz de produzir diversos produtos, por isso diversos países buscam investir na indústria sucroenergética. Porém, são necessárias condições ambientais específicas para o seu cultivo, sendo útil otimizar o seu ciclo.

Existem duas opções de cultivo do ciclo da cana-de-açúcar, cana de 12 meses e cana de 18 meses. Sendo o ciclo de 18 meses mais utilizado para obter altas produtividades no primeiro ano. Este ciclo considera que a fase de brotação deve durar em torno de 30 dias, a fase de perfilhamento 120 dias, a fase de crescimento vegetativo 120 dias e o período de maturação 210 dias[SEGATO et al. 2006].

### **4. Modelo**

Neste trabalho, foi proposto um modelo baseado em autômato celular para representar o cultivo de plantações de cana-de-açúcar. A linguagem de programação utilizada foi Python, com o pacote Tkinter para representar a interface gráfica.

O modelo tem o objetivo de prever a qualidade e produção de plantações de cana-de-açúcar conforme os estados de qualidade, fase de crescimento e clima. Esses estados apresentam influência entre si, por isso a necessidade de três dimensões. O modelo utiliza vizinhança de Moore, considerando 8 vizinhos ao redor célula para aplicar regras de transição.

No modelo cada célula representa uma área de 25 metros quadrados e tem como parâmetros tempo, qualidade, fase e clima. As alterações nos parâmetros e consequentemente nos estados, ocorre de acordo com as regras de transição. Assim, a evolução do modelo acontece conforme a passagem de tempo, de forma que as células evoluem considerando aspectos atuais da célula e dos seus vizinhos para determinar o próximo estado.

#### **4.1. Estados**

O modelo foi baseado em modelos compartimentados e autômatos celulares, sendo necessário criar compartimentos para classificar as células de acordo com os estados em que se encontram. Os estados foram definidos como qualidade, fase de crescimento e clima.

A quantidade de células em cada estado foi determinada estatisticamente com base em dados e simulações de plantações de cana-de-açúcar. Inicialmente, foram geradas 20 células distintas, com atributos definidos de acordo com as estatísticas. Essas estatísticas levam em conta dados obtidos da Usina São José, em relação aos dados de plantação e da APAC, no que se refere aos dados de clima.

O estado de qualidade foi definido conforme o índice de qualidade. A qualidade Boa representa o índice de qualidade entre 7 e 10, Média representa entre 5 e 7 e Ruim representa entre 0 e 5. A definição dos estados de qualidade foi realizada da seguinte forma: a qualidade boa é representada pelo estado 0, a qualidade média é representada pelo estado 1 e a qualidade ruim é representada pelo estado 2.

No estado de qualidade, o array inicial foi definido com 9 células no estado 0, representando 45% da população; 10 células no estado 1, representando 50% da população; e uma célula no estado 2, representando 5% da população.

O estado de fase foi definido conforme as fases de crescimento. A fase de brotação é representada pelo estado 0, a fase de perfilhamento é representada pelo estado 1, a fase de crescimento é representada pelo estado 2, a fase de maturação é representada pelo estado 3 e a fase de colheita é representada pelo estado 4.

No estado de fase, o array inicial foi definido com 18 células no estado 0, representando que 90% da população se encontra nesse estado; 2 células foram definidas como estado 1, representando que 10% da população se encontra nesse estado. Os outros estados não foram contemplados no array inicial, só sendo possível alcançá-los através das regras de transição.

O estado de clima foi definido da seguinte forma: o clima de sol é representado pelo estado 0 e o clima de chuva é representado pelo estado 1. Então, no array inicial, 16 células foram definidas como estado 0, representando 80% das células e 4 células foram definidas como estado 1, representando 20% das células.

#### **4.2. Transições**

Uma vez que os estados foram definidos, foi preciso identificar como ocorrem as transições. Cada transição representa um intervalo de tempo de quinze dias e ocorre conforme regras criadas com base em estatística. Essas regras utilizam os atributos e estados da célula atual e de sua vizinhança para definir os novos estados da célula.

Durante as transições os estados de cada célula podem ser alterados, de acordo com as regras de transição. Os parâmetros que influenciam o fator de propagação são qualidade, fase de crescimento e clima. Assim, ao ativar uma transição cada célula verifica sua vizinhança, a fim de atualizar os estados da célula. Dessa forma, é gerada uma nova matriz com os estados das células atualizados.

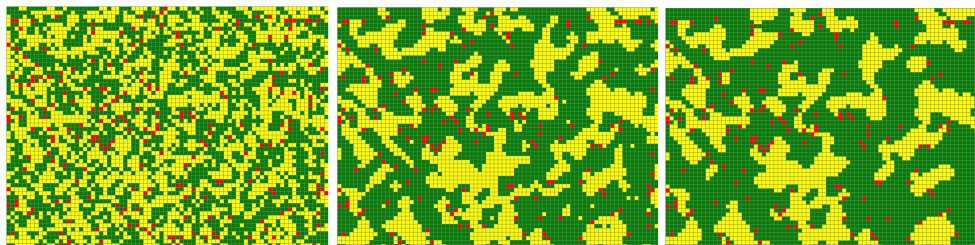
No estado de qualidade, as células podem transitar entre os estados 0, 1 e 2, conforme determinado pelas regras de transição. Foram definidas as seguintes regras de transição: se a célula no estado 0 tem mais de 5 vizinhos no estado 1 ou 2, então existe uma probabilidade dela ir para o estado 1 ou 2; se a célula no estado 1 tem mais de 5 vizinhos no estado 2, então existe uma probabilidade dela ir ao estado 2, porém se ela tem mais de 4 vizinhos no estado 0, então existe uma probabilidade dela ir ao estado 0; e se a célula no estado 2 tem mais de 5 vizinhos no estado 1, então existe uma probabilidade dela ir ao estado 1.

A qualidade recebe influência do estado de clima, conforme as seguintes regras de transição: Se está no estado 0 (sol), aumenta a chance da célula transitar um estado de qualidade pior do que o atual, porém se está no estado 1 (chuva), aumenta a chance da célula transitar um estado de qualidade melhor que o atual.

No estado de fase, o tempo de transição foi definido de acordo com o ciclo da cana de 18 meses. Cada vez que a célula chega no tempo definido para mudança de fase, aumenta a probabilidade dessa mudança ocorrer, conforme influência dos estados de qualidade e clima. Dessa forma, na Brotação as células permanecem até o tempo 30, no Perfilhamento até 150, no Crescimento até 270 e na Maturação até 480, quando por fim chega ao estado de Colheita.

### 4.3. Simulação

Considerando o modelo proposto, foi realizada uma simulação do autômato celular. A simulação apresenta 32 transições, com cada transição representando um período de 15 dias, sendo equivalente ao ciclo da cana de 18 meses. Na Figura 2, é possível observar a evolução temporal da qualidade das células no início da simulação, após 16 transições e ao final das 32 transições.



**Figure 2. Evolução temporal da qualidade da cana-de-açúcar em um autômato celular**

Na imagem, as células de cor verde representam a qualidade boa, as amarelas a qualidade média e as vermelhas a qualidade ruim. Foi possível observar que a quantidade de células de qualidade média diminui, enquanto as células de qualidade boa aumentam conforme a evolução temporal. No entanto, as células de qualidade ruim se mantêm em quantidade similar.

## 5. Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado um modelo para plantações de cana-de-açúcar, com o objetivo de auxiliar na predição da qualidade e produção das safras, possibilitando a otimização da produção.

Conforme resultado da simulação, foi possível observar que o modelo gerou resultados satisfatórios em relação a predição da qualidade das safras de plantações de cana-de-açúcar. Sendo observado resultados similares ao modelo apresentado em [Júnior 2019]. Como trabalho futuro, pretende-se aprimorar as regras de transição e considerar outros estados e parâmetros.

## References

- Batty, M., Couclelis, H., and Eichen, M. (1997). Urban systems as cellular automata.
- Castro, M. L. A. and de Oliveira Castro, R. (2015). Autômatos celulares: implementações de von neumann, conway e wolfram. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 3(3):89–106.
- FAO (2018). Commodity balances - crops primary equivalent. food and agriculture organization of the united nations.
- Guilhoto, J., Azzoni, C. R., Silveira, F. G., Ichihara, S. M., Diniz, B. P. C., and Moreira, G. R. C. (2011). Pib da agricultura familiar: Brasil-estados. *Available at SSRN 1803225*.
- Júnior, G. G. d. C. (2019). Modelos heterogêneos para a previsão de safras e qualidades de cultivo na indústria sucroenergética. Master's thesis, Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- SEGATO, S. V., Pinto, A. d. S., JENDIROBA, E., and Nóbrega, J. d. (2006). Atualização em produção de cana-de-açúcar. *Piracicaba: CP*, 2:415.
- Wolfram, S. (2018). *Cellular automata and complexity: collected papers*. CRC Press.