

MODELO DE AUTÔMATOS CELULARES PARA QUANTIFICAR A NEUTRALIZAÇÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO

RAFAEL RODRIGUES BASTOS¹; ALINE BRUM LORETO²

¹Universidade Federal de Pelotas – rrbastos@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – aline.loreto@inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Uma das técnicas mais utilizadas para a representação dos sistemas físicos e naturais é a modelagem matemática, a qual é obtida pela transcrição de processos físicos e biológicos de qualquer sistema para um conjunto de relações matemáticas. Modelos matemáticos representam o mundo real com imperfeições, de forma abstrata, permitindo a percepção de como funciona a organização de sistemas complexos a partir de elementos mais simples, ODUM (1988).

Os autômatos são modelos abstratos que podem descrever sistemas naturais que permitem a análise de padrões complexos a partir de uma formulação simplificada. Por serem constituídos por estruturas matemáticas compostas por um reticulado de células, onde cada célula evolui de acordo com as características das células vizinhas, os autômatos celulares podem ser utilizados para a modelagem de sistemas naturais, WOLFRAM (1983), PEIXOTO e BARROS (2004).

As árvores, em sua grande maioria, possuem a capacidade de retirar o dióxido de carbono da atmosfera e fixar em sua biomassa. Desta forma, as árvores podem ser empregadas e consideradas no auxílio da redução de dióxido de carbono atmosférico.

No sul do Rio Grande do Sul, nos últimos anos, diversas plantações de árvores de eucaliptos vêm sendo desenvolvidas, muitas estimuladas pelo potencial uso desta espécie na fabricação de celulose. Contudo, não há estudos que façam o dimensionamento da capacidade que estas áreas de vegetação em amplo desenvolvimento possuem para a neutralização de dióxido de carbono atmosférico.

Baseado nestas constatações, o presente trabalho surgiu a partir da possibilidade de agrupar a formalização da modelagem do cálculo de potencial de neutralização de carbono da biomassa arbórea de árvores de eucalipto com a quantidade possível de neutralização pela serrapilheira e propõe a utilização de autômatos celulares para a modelagem matemática e simulação da capacidade e o potencial de neutralização de carbono para uma floresta de eucaliptos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A partir da exploração da bibliografia sobre autômatos celulares, dióxido de carbono e neutralização de dióxido de carbono, formaliza-se matematicamente um modelo para o cálculo a ser empregado para a quantificação de dióxido de carbono fixado pelas biomassas arbóreas viva e morta e pela serrapilheira de árvores de eucalipto.

De acordo com WOLFRAM (1983), as regras de comportamento da evolução dos autômatos celulares prevêem 4 classes que são caracterizadas pelo padrão formado após um certo tempo de interação, como segue:

- Classe 1 - a evolução das células é caracterizada por um padrão homogêneo;

- Classe 2 - a evolução caracteriza-se pela formação de um conjunto estável e periódico de células;

- Classe 3 - a evolução é caracterizada pela formação de padrões caóticos;

- Classe 4 - a evolução leva a formação de padrões complexos.

As regras de transição e troca de informações entre as células e entre os autômatos foram definidas a partir da exploração da análise do comportamento do sistema natural de crescimento e evolução do cultivo de eucalipto, conforme as características da região de estudo, como idade e área basal da plantação.

Para a formalização do modelo, utilizam-se as considerações elaboradas por AREVALO et al. (2002) que quantifica a biomassa e o carbono através de equações.

O modelo proposto para a quantificação de carbono neutralizado depende da quantificação da biomassa do plantio, a qual se divide em biomassa arbórea viva, biomassa das árvores mortas em pé, biomassa das árvores mortas caídas e da biomassa da serrapilheira, representadas pelas equações (1), (2), (3) e (4), respectivamente:

$$BAVT = (0,1184 \cdot DAP^{2,53}) \cdot 0,1 \quad (1)$$

$$BAMP = (0,1184 \cdot DAP^{2,53}) \cdot 0,1 \quad (2)$$

$$BAMC = 0,4 \cdot DAP^2 \cdot L \cdot 0,25 \cdot \pi \quad (3)$$

$$BH = \frac{PSM}{PFM} \cdot PFT \cdot 0,04 \quad (4)$$

onde *BAVT* é a biomassa arbórea viva total, *DAP* o diâmetro da altura do peito, *BAMP* a biomassa de árvores mortas em pé, *BAMC* a biomassa de árvores mortas caídas, *BH* a biomassa da serrapilheira, *PSM* o peso seco da amostra coletada, *PFT* o peso fresco da amostra coletada e *PFM* é o peso fresco total por metro quadrado.

Desta forma, a Biomassa Vegetal Total (BVT) é definida pelo somatório de todas biomassas, como mostra a equação (5).

$$BVT = BAVT + BAMP + BAMC + BH \quad (5)$$

Após a quantificação da biomassa vegetal total verifica-se a quantificação de carbono neutralizado pelo plantio, a qual se divide em carbono presente na biomassa vegetal e carbono presente no solo, representadas pelas equações (6) e (7), respectivamente:

$$CBV = BVT \cdot 0,45 \quad (6)$$

$$CS = \frac{(PVS \cdot \%C_{LAB})}{100} \quad (7)$$

onde *CBV* é o carbono na biomassa vegetal total, *CS* é o carbono no solo, *PVS* é o peso do volume no solo, *%CLAB* é o resultado do carbono em percentual analisado em laboratório.

A quantificação do Carbono Total (CT) é definida pela equação (8).

$$CT = CBV + CS \quad (8)$$

A quantificação da capacidade de fixação de dióxido de carbono de uma determinada espécie de árvore depende da soma do potencial de neutralização da parte aérea, através das folhas, da biomassa do tronco e da serrapilheira. Através da formalização matemática destes três potenciais de captura é possível estimar a capacidade de fixação da árvore, levando-se em conta diversas características e quantificadores em uma área plantada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processamento da quantificação do carbono neutralizado é realizado por autômatos celulares. Inicialmente, utiliza-se 10 autômatos com comportamentos diferentes, de acordo com as etapas a serem realizadas. Cada autômato é responsável por uma parte do cálculo, desde a quantificação das biomassas até a quantificação do carbono total. A Figura 1 mostra a transição entre os autômatos do modelo.

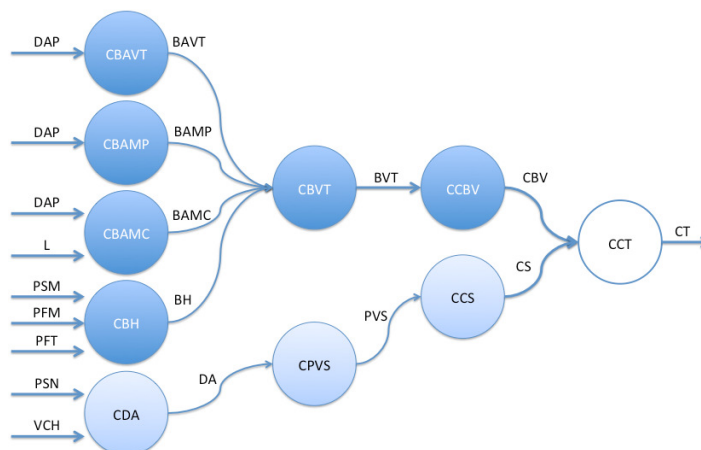


Figura 1 - Transição e estados iniciais dos autômatos do modelo

O ambiente é composto por um plantio de eucalipto planejado cujas idades das árvores são idênticas. O plantio é mantido por 21 anos dividido em 3 ciclos sucessivos de 7 anos, quando as árvores são extraídas para industrialização da madeira.

Baseado nas considerações de HIGA et al. (2000), a área de plantio considerada é de 2ha, utilizando-se um espaçamento de 3m x 2m, o que permite o plantio de cerca de 3300 árvores, representada por um reticulado de células, onde cada célula representa uma árvore.

Inicialmente, o plantio não apresenta a ocorrência de árvores mortas. De acordo com EMBRAPA (2010), com o passar do tempo inúmeros fatores podem contribuir para a ocorrência de árvores mortas, como: doenças, pragas, alagamento ou escassez de umidade no solo e danos causados por eventos climáticos. As perdas por pragas podem chegar a 15% da produção.

Neste sentido, para fins de demonstração do modelo, para cada ciclo, se considera percentuais de mortalidade de 5%, 10% e 15%.

Cada célula possui valor inicial igual a 5, que representa a vitalidade da árvore. Quando uma célula é atacada por algum tipo de praga, esta sofre uma penalidade de 4 ao seu valor. Toda penalidade recebida por uma célula, é repassada para a sua vizinhança, do tipo Moore, com alcance de até 3 células, onde o valor da penalidade vai caindo linearmente conforme a distância da célula à vizinhança, ou seja, as células distantes 1 célula, recebem uma penalidade de valor 3, as vizinhas distantes 2 células recebem uma penalidade de valor 2 e as vizinhas distantes 3 células recebem penalidade de valor 1, como mostra a Figura 2.

O valor de uma célula igual a 0 indica que a célula está morta.

Consideram-se, ainda, distribuições aleatórias de penalidades para 0,7% das células, representando ataques de pragas, para cada ano de cada ciclo.

Ao final de cada ciclo, são realizadas medições das quantidades de árvores vivas e mortas, a serem aplicadas nos cálculos de biomassa vegetal e carbono da área do plantio. Desta forma tem-se a quantificação de carbono neutralizado por cada um dos ciclos para os quais o plantio foi planejado.

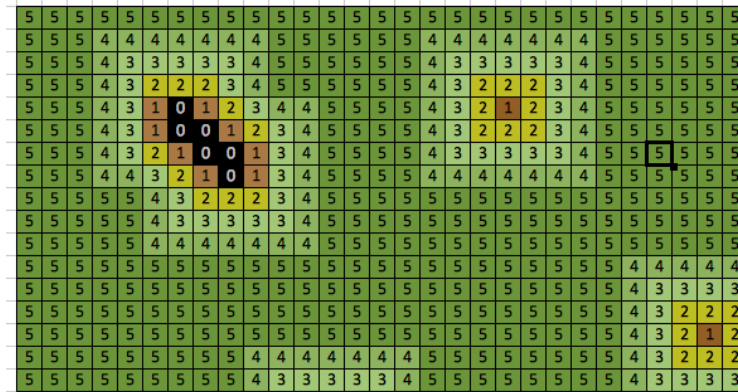


Figura 2 - Representação de penalidades aplicadas nas células do reticulado

4. CONCLUSÕES

Os estudos sobre captura do carbono atmosférico vêm crescendo devido à sua grande importância nas alterações climáticas, sendo necessário o aprofundamento no tema para que medidas corretivas e preditivas possam ser definidas a fim de permitir a diminuição dos impactos causados pelos fenômenos decorrentes do acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera.

O presente trabalho propõe a formalização de um modelo matemático para a simulação da neutralização de dióxido de carbono para um plantio de eucalipto, a ser implementado computacionalmente utilizando a metodologia dos autômatos celulares.

Espera-se, após a implementação do modelo proposto, estimar e simular a capacidade e o potencial de neutralização de carbono de uma área habitada por um plantio de eucalipto, bem como fornecer a quantidade necessária para o plantio a fim de realizar-se a neutralização de uma quantidade definida de dióxido de carbono da atmosfera.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

EMBRAPA. **Cultivo do Eucalipto**. Sistemas de Produção. 2010. Acessado em 24/05/2012. Disponível em http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto_2ed.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de Eucalipto na Pequena Propriedade Rural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1988.

PEIXOTO, M. S.; BARROS, L. C. Um estudo de autômatos celulares para o espalhamento geográfico de epidemias com parâmetro fuzzy. **TEMA. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, São Paulo, volume 5, 125-133, 2004.

WOLFRAM, S. Cellular automata. **Los Alamos Science**. New Mexico, v. 9, 1983.