

**Modelagem da dinâmica vegetacional da pastagem natural utilizando a abordagem de tipos funcionais de plantas****Modeling the vegetation dynamics of natural grasslands using the plant functional types approach**

DOI:10.34117/bjdv6n7-165

Recebimento dos originais: 03/06/2020

Aceitação para publicação: 08/07/2020

**Carlos Eduardo Nogueira Martins**

Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria  
Instituto Federal Catarinense  
Rodovia BR 280, Km 27, Araquari – SC, Brasil  
carlos.martins@ifc.edu.br

**Fernando Luiz Ferreira de Quadros**

Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Universidade Federal de Santa Maria  
Avenida Roraima, 1000, Santa Maria – SC, Brasil  
flfquadros@yahoo.com.br

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi modelar espacialmente a dinâmica vegetacional de uma pastagem natural submetida a diferentes distúrbios baseada em autômatos celulares utilizando a abordagem de tipos funcionais de plantas. A resolução temporal da simulação foi mensal quando a dimensão espacial considerada foi de 0,0625 m<sup>2</sup>, caracterizando a escala reduzida. A escala ampla foi considerada quando a resolução temporal foi anual e a dimensão espacial foi de 306,25 m<sup>2</sup>. Os fatores testados foram pastejo, queima e posição de relevo. O modelo constitui-se por uma matriz tridimensional, sendo a primeira caracterizada pela dimensão temporal e as outras duas dimensões espaciais planas, sendo cada célula um tipo funcional de planta, a qual se alterava a cada passo no tempo conforme a composição da própria célula e de oito células vizinhas. Nas comunidades pastejadas, a trajetória foi determinística no sentido da dominância dos tipos funcionais B e A. Nas comunidades excluídas do pastejo e sem queima, a tendência da trajetória foi no sentido do tipo funcional C. O modelo avaliado demonstrou ser eficiente na predição da dinâmica da vegetação da pastagem natural podendo ser utilizado para simular diferentes cenários. A limitação do modelo está na correta determinação do nível de distúrbio.

**Palavras-chave:** autômatos celulares, diversidade, queima, pastejo, simulação.

**ABSTRACT**

The objective of this work was to spatially model the vegetative dynamics of a natural grassland submitted to different disturbances based on cellular automata using the functional types of plant approach. The temporal resolution of the simulation was monthly when the spatial dimension considered was 0.0625 m<sup>2</sup>, featuring a reduced scale. The wide scale was considered when the temporal resolution was annual and the spatial dimension was 306.25 m<sup>2</sup>. The factors tested were grazing, burning and relief position. The model consists of a three-dimensional matrix, the first characterized by the temporal dimension and the other two spatial dimension, each cell being a plant functional type, which changed with each step in time according to the composition of the cell and

eight neighboring cells. In grazed communities, the deterministic trajectory was towards the dominance of functional type B and A. While in communities excluded from grazing and burning, the tendency of the trajectory was towards functional type C. The evaluated model has proved efficient in predicting the dynamics of natural grassland vegetation and can be used to simulate different scenarios. However, the limitation of the model is in determining correctly the level of disturbance.

**Keywords:** burning, cellular automata, diversity, grazing, simulation.

## 1 INTRODUÇÃO

O manejo das pastagens naturais precisa de ferramentas para diagnosticar o estado da vegetação a fim de conceber, avaliar e aplicar práticas que visem a sustentabilidade da produção nestas áreas (Al haj khaled et al., 2005). Assim, a explicação e previsão das respostas da comunidade vegetal aos fatores de uso e manejo da terra são objetivos importantes tanto na Ecologia aplicada como teórica (Díaz et al., 2001).

Os modelos de dinâmica de comunidades ecológicas não devem negligenciar o aspecto espacial, mas a maioria deles o faz, pois a simplificação do uso de modelos não-espacializados pode conduzir a previsões inválidas (Balzter et al., 1998). Assim, os modelos de sistemas para estudar a dinâmica vegetacional baseados em Autômatos Celulares (CA) passaram a se destacar (Grist, 1999). Uma característica chave destes CA é a eficiência com que abordam a dimensão espacial, implementando conceitos como as relações de vizinhança e suportando o uso combinado de múltiplas escalas (Pedrosa, 2003). Wolfram (1983) definiu CA como idealizações matemáticas de sistemas físicos, no qual o espaço e o tempo são discretos, e os atributos assumem um conjunto de valores também discretos.

A abordagem de CA tem aplicabilidade limitada na resolução de problemas ecológicos pelo estabelecimento de leis ecológicas gerais, pois mesmo se um conjunto universal de regras simples pudesse ser desenvolvido para ser aplicável a diferentes situações ecológicas, a simulação de todas as permutações possíveis iria, tornar-se impossível devido ao aumento exponencial do número de combinações possíveis (Rohde, 2005). Assim, a abordagem de tipos funcionais de plantas (PFTs) passou a ser adotada, pois quando inseridos dentro de modelos preditivos podem permitir a simplificação e generalização desses modelos, sendo uma forma efetiva e apropriada de simular a dinâmica da vegetação de ecossistemas sob distúrbios (Pausas, 2003).

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi modelar espacialmente a dinâmica vegetacional de uma pastagem natural submetida a diferentes distúrbios baseado em autômatos celulares utilizando a abordagem de tipos funcionais de plantas.

**2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados utilizados para validar o modelo foram retirados de Rossi (2009) e Quadros & Pillar (2001), os quais avaliaram os seguintes tratamentos: pastejo com queima na encosta (PEQ), pastejo com queima na baixada (PBQ), pastejo sem queima na encosta (PENQ), pastejo sem queima na baixada (PBNQ), exclusão com queima na encosta (EEQ), exclusão com queima na baixada (EBQ), exclusão sem queima na encosta (EENQ) e exclusão sem queima na baixada (EBNQ).

Os PFTs adotados nas simulações foram propostos por Garagorry (2008), que utilizou o teor de matéria seca (TMS) e a área foliar específica (AFE) como atributos na formação dos PFTs. Decidiu-se trabalhar os tipos C e D em conjunto nas simulações pela semelhança do atributo AFE.

O modelo espacialmente explícito utilizado foi proposto por Colasanti et al. (2007) e sua estrutura lógica é apresentada na figura 1. A opção por um modelo empírico se deu pela pequena quantidade de trabalhos publicados que apresentam os valores dos principais parâmetros para as espécies naturais exigidos em modelos mais complexos.

O modelo foi escrito em linguagem Python, caracterizando-se por um autômato celular descrito por uma matriz representando duas dimensões espaciais planas. As simulações foram realizadas em duas escalas temporais e espaciais, reduzida e ampla. A resolução temporal (cada passo no tempo) da simulação foi mensal, considerando o período experimental de 06/11/2007 a 13/04/2008, quando a dimensão espacial considerada foi de 0,25 x 0,25 m, caracterizando a escala reduzida, composta pelas menores unidades amostrais. A escala ampla foi considerada quando a resolução temporal foi anual (1995 a 2001) e a dimensão espacial foi de 17,5 m x 17,5 m, que representou as 70 linhas da matriz compostas por 70 quadros de 0,25 m de lado.

Quanto à disposição espacial dos PFTs (células) o modelo considerou o efeito das oito células adjacentes (vizinhança de *Moore*).

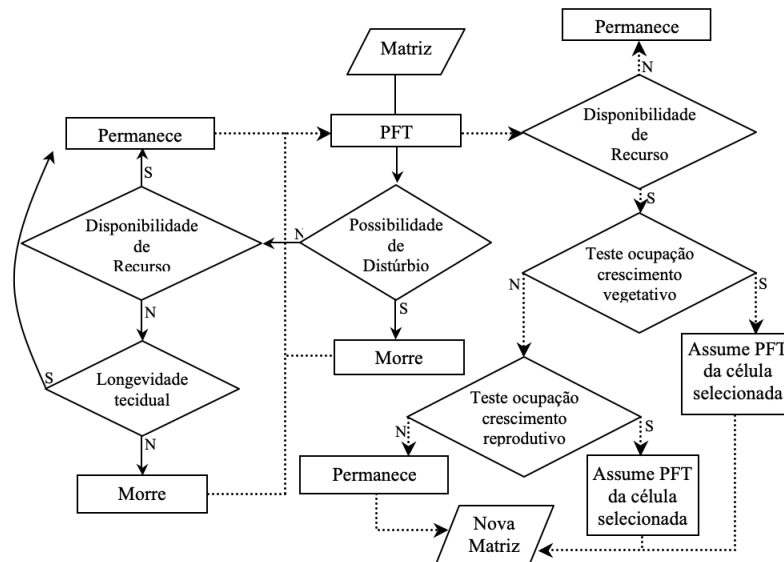


Figura 1. Fluxograma da estrutura lógica do modelo proposto por Colasanti *et al.* (2007). As linhas cheias representam a análise de permanência ou morte da célula e as linhas pontilhadas o crescimento ou ocupação de uma célula. As letras S e N indicam se a condição foi aceita ou negada, respectivamente.

Conforme foi caracterizado pela figura 1, o modelo é composto por uma matriz inicial, com formatos 4 x 10 e 70 x 70 para as simulações em escala reduzida e ampla, respectivamente. Cada célula destas matrizes representava um PFT. Na escala reduzida, a comunidade vegetal foi caracterizada levando-se em conta os dados de Rossi (2009) onde a espécie de maior contribuição de matéria seca (MS) de cada quadro de 0,25 x 0,25 m foi escolhida para ocupar a célula da matriz inicial. Na escala ampla, a vegetação foi caracterizada a partir dos dados dos trabalhos de levantamento da composição florística realizados entre os anos de 1996 a 2001 por Quadros & Pillar (2001). A partir da contribuição de MS de cada PFT estimou-se a quantidade de células que estes ocupariam em uma matriz com 4900 células. Inicialmente, o modelo recebeu os valores de número de iterações, que correspondeu ao tempo de avaliação dos experimentos, seis meses para a escala reduzida e seis anos para a ampla.

Os valores de probabilidade de distúrbio e disponibilidade de recurso são os únicos parâmetros do modelo, os quais são apresentados na tabela 1. O nível máximo de recurso foi considerado nas simulações tendo em vista a regularidade das chuvas nos períodos experimentais. O nível de distúrbio foi de 0,81 para os tratamentos de queima nas duas escalas e de 0,5 para os tratamentos pastejados na escala reduzida e de 0,18 na escala ampla. Cada célula foi testada com relação à probabilidade de ocorrer distúrbio, sendo esta probabilidade determinada por um número aleatório. O valor de entrada do distúrbio sendo maior que o número aleatório a célula passaria ao estado de vazia. Caso contrário, a célula mantinha o mesmo PFT e era avaliada quanto à disponibilidade de recurso, sendo o nível de recurso menor que a probabilidade então o valor da célula era utilizado para determinar a sua longevidade tecidual (Tabela 1). Este valor de tecido sendo menor que a probabilidade então a célula

passaria ao estado de vazia. A célula mantinha o mesmo PFT se o nível de recurso ou de longevidade tecidual fosse maior que a probabilidade.

Tabela 1. Níveis de distúrbio, recursos e parâmetros dos tipos funcionais de plantas (PFTs) necessários para a simulação

<b>Níveis de distúrbio</b>					
0,81		0,45		0,18	
0					
<b>Níveis de recurso</b>					
1,0		0,5		0,1	
<b>PFTs</b>	<b>Fecundidade e Vegetativa</b>	<b>Fecundidade Reprodutiva</b>	<b>Longevidade Tecidual</b>	<b>TMS* (g.k<sup>-1</sup>)</b>	<b>AFE (m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup>)</b>
A	0,0	1,0	0,0	290	21
B	1,0	0,2	0,0	370	15
C	0,6	0,6	0,0	460	7

\*TMS: teor de matéria seca; AFE: área foliar específica.

Fonte: adaptado de Colasanti *et al.* (2007) e Garagorry (2008).

Após todas as células passarem pela avaliação da possibilidade de ocorrer distúrbio e quanto ao nível de recurso, cada célula foi testada quanto ao novo crescimento do mesmo PFT que havia na célula antes de ocorrer sua morte ou a substituição do PFT atual por outro. O modelo primeiro testa a possibilidade de ocupação de uma célula por espécies de propagação vegetativa e depois por via reprodutiva. Somente se a célula continuar vazia, após a tentativa de ocupação por espécies de propagação vegetativa, o modelo testará a propagação via semente, senão a célula permanecerá com o mesmo PFT. Em ambos os casos, a substituição dependerá da composição das oito células vizinhas. O modelo fará a contagem de cada PFT vizinho da célula e multiplicará o total pelo seu respectivo valor de fecundidade vegetativa e depois pelo de fecundidade reprodutiva (Tabela 1). O PFT que apresentar o maior valor será o que ocupará a célula.

A análise de sensibilidade do modelo foi realizada variando-se individualmente cada parâmetro de entrada enquanto os outros eram mantidos constantes. Inicialmente manteve-se a probabilidade constante com valor igual a 0,5, enquanto os níveis de distúrbio e de estresse variavam conforme os dados da Tab. 1. Os resultados de saída do modelo consistiram na quantidade de espécies presentes na comunidade, valores utilizados para determinação do Índice de Shannon. Posteriormente, foram mantidos os níveis de distúrbio e de estresse constantes e o valor da probabilidade variável. A matriz de dados tinha formato 70 x 70 com distribuição similar na quantidade dos PFTs, sendo que cada célula da matriz representou um PFT. Cada simulação teve 50 iterações, sendo utilizadas cinco matrizes que constituíram distintas composições florísticas, totalizando 250 iterações para cada combinação da análise de sensibilidade.

O impacto de um intervalo de valores de um parâmetro de entrada sobre os resultados de saída do modelo foi quantificado pelo Índice de Sensibilidade Relativo (IS) proposto por McCuen & Snyder (1986). A eficiência do modelo foi avaliada através do índice de eficiência do modelo (MEI), proposto por Loague e Green (1991).

A comparação das frequências observadas dos PFTs com as estimadas pelo modelo foram realizadas pelo teste do Chi-quadrado com auxílio do programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009). Nesta análise os tratamentos encosta e baixada foram agrupados objetivando o aumento do número de repetições.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os índices de sensibilidade obtidos demonstram que o modelo é mais sensível ao distúrbio (IS = 0,54) do que o nível de recurso (IS = 0,25). Isto indica que alterações no nível de distúrbio resultam em diferenças mais expressivas nos dados de saída do modelo. Neste sentido há necessidade de maior precisão na determinação deste parâmetro. Quanto aos níveis de recurso, considerando que as espécies avaliadas são bastante adaptadas a solos de baixa fertilidade, essa baixa sensibilidade aos níveis de recurso seria esperada. Os solos mantidos com pastagens no Sul do Brasil são, geralmente, muito ácidos e com altas capacidade de sorção de fósforo e saturação com alumínio trocável (Rheinheimer et al., 1997). Neste sentido, as espécies vegetais que habitam estes solos, por exemplo do gênero *Paspalum*, estão adaptadas às condições de solo ácido e possuem alta tolerância ao alumínio trocável (Pessoa et al., 2000) resultante dos mecanismos de adaptação fixados durante a evolução natural e incorporados geneticamente (Kaminski et al., 1998). Segundo Rheinheimer e Kaminski (1994), estes mecanismos, provavelmente, devem envolver a habilidade em absorver e utilizar nutrientes, especialmente fósforo, na presença de alumínio ou mesmo inativá-lo no solo, como também a interação com microrganismos do solo.

Na tabela 2 são apresentados os índices de eficiência do modelo (MEI) e a frequência dos PFTs para a simulação na escala reduzida e ampla. Nota-se pelos valores encontrados para o MEI que o modelo proposto por Colasanti et al. (2007) é capaz de simular a dinâmica vegetacional em diferentes cenários sendo que os resultados estimados aproximam-se dos valores reais. Apesar dos tratamentos excluídos ao pastejo com e sem queima na encosta apresentarem valores baixos para o MEI, o teste do Chi-quadrado demonstrou não haver diferença ( $P > 0,05$ ) entre os dados estimados e os observados. Este efeito da posição do relevo sobre a dinâmica vegetacional também foi observado por Sosinski Jr. (2005) ao simular a dinâmica da vegetação campestre sob pastejo descrita por PFTs. Este autor observou diferença entre os dados simulados e a dinâmica real com relação às posições do relevo topo, encosta e baixada, sendo que esta última apresentou a trajetória mais semelhante. Esta

variabilidade na trajetória pode estar associada, nos tratamentos pastejados, a ação do pastejo e da seletividade por sítios de pastejo preferenciais em determinadas posições do relevo (Carvalho e Moraes, 2005) e, com as condições de microclima nos tratamentos excluídos ao pastejo tendo em vista que as áreas de baixada conseguem reter mais a umidade e na encosta, dependendo da região geográfica e a direção em que a face da encosta está direcionada, o nível de insolação pode ser menor (Pereira et al., 2001).

Ao contrário de Sosinski Jr. (2005), a análise dos dados pelo teste do Chi-quadrado demonstrou que a simulação da dinâmica da vegetação teve melhor previsibilidade na escala reduzida ( $P > 0,01$ ) do que na ampla ( $P < 0,01$ ). Entretanto, esta variação entre as trajetórias simuladas de menor e maior escala deve-se as diferentes configurações espaciais iniciais (Pausas, 2003; Sosinski Jr., 2005). Apesar disso, McGlenn e Palmer (2009), ao modelarem o efeito amostral na relação espécie-tempo-área, concluíram que a dependência escalar espacial e temporal são características fundamentais nas relações de acúmulo de espécies em escala reduzida. A compreensão das relações espaciais entre heterogeneidade da vegetação e os processos ecológicos é essencial para prever a dinâmica da comunidade em mudanças ambientais e diferentes regimes de degradação (Cheng et al., 2007).

Tabela 2. Índice de Eficiência do Modelo (MEI) e média da frequência observada e simulada em escala reduzida e ampla dos tipos funcionais de plantas (PFTs) de uma pastagem natural submetida a diferentes manejos localizada em Santa Maria, RS

<b>Frequência dos PFTs Escala Reduzida</b>					
<b>Tratamentos*</b>	MEI	Dados	A	B	C
<b>PENQ</b>	0,48	Simulados	8	16	15
		Observados	10	17	13
<b>PBNQ</b>	0,9	Simulados	11	18	10
		Observados	10	19	12
<b>EEQ</b>	0,09	Simulados	10	14	16
		Observados	8	22	10
<b>EBQ</b>	0,77	Simulados	11	13	16
		Observados	11	14	15
<b>EENQ</b>	-0,2	Simulados	8	8	23
		Observados	8	14	18
<b>EBNQ</b>	0,58	Simulados	8	13	19
		Observados	8	16	16
<b>Frequência dos PFTs Escala Ampla</b> (Médias de 1996-2001)					
		Dados	A	B	C
<b>PENQ</b>	0,48	Simulados	23	3335	43
		Observados	85	4416	399
<b>PBNQ</b>	0,9	Simulados	29	1716	1404
		Observados	220	4195	485
<b>EEQ</b>	0,09	Simulados	1	205	728



		Observados	271	1056	3573
<b>EBQ</b>	0,77	Simulados	0	199	713
		Observados	629	707	3564
<b>EENQ</b>	-0,2	Simulados	16	218	4666
		Observados	550	574	3777
<b>EBNQ</b>	0,58	Simulados	0	1595	3305
		Observados	158	768	3975

\* PENQ: Pastejado, encosta e não queimado; PBNQ: Pastejado, baixada e não queimado; EEQ: Excluído, encosta e queimado; EBQ: Excluído, baixada e queimado; EENQ: Excluído, encosta e não queimado; EBNQ: Excluído, baixada e não queimado.

Observa-se na tabela 2 que, com exceção dos tratamentos de exclusão e queimados, os índices de eficiência do modelo tendem a serem superiores aos da simulação em escala reduzida ratificando a eficiência do modelo. A baixa eficiência em simular a dinâmica da vegetação nos tratamentos excluídos ao pastejo e queimados deve-se ao alto nível de distúrbio (0,81) utilizado para caracterizar a queima e a frequência com que este distúrbio foi aplicado, pois a queima realizada nos anos de 1995 e 1997 reduziu drasticamente o número de indivíduos na comunidade vegetal simulada sendo o intervalo pós-queima insuficiente para que os PFTs pudessem voltar a ocupar o seu espaço. As espécies buscam a retomada do equilíbrio da comunidade vegetal anterior à queima como uma reação pós-fogo, porém a sua recuperação plena acontece no decorrer de três anos pós-perturbação (Noy-Meir, 1995).

Neste sentido, observa-se que no tratamento sem pastejo e queimado, independente do relevo, o modelo apresentou ineficiência na dinâmica de ocupação das espécies do PFT A que teve comportamento crescente e do PFT C com crescimento e constância na frequência de ocupação ao efeito da queima na encosta e baixada, respectivamente (Tabela 2). Nestes mesmos tratamentos, as espécies do PFT B apresentaram uma redução no número de indivíduos presentes na comunidade vegetal. Comportamento semelhante a este foi observado nos tratamentos exclusão e não queimados, reforçando a suposição de que o nível de distúrbio utilizado para caracterizar a queima da pastagem foi muito elevado. Rossi (2009) ao avaliar os efeitos da queima e do pastejo na dinâmica da vegetação constatou que os tratamentos excluídos do pastejo e com uso de fogo tenderam a se comportar de forma similar aos tratamentos queimados com a presença de pastejo, mostrando um efeito similar dos distúrbios queima e pastejo.

Castilhos (2002) afirma que na ausência de perturbação, por alguns anos, um número reduzido de espécies tende a se desenvolver de forma a excluir as demais, havendo predomínio de herbáceas, gramíneas perenes ou anuais de porte alto (Noy-Meir, 1995). Neste sentido, o modelo simulou a trajetória observada por Rossi (2009) nos tratamentos sem pastejo onde houve um maior predomínio de plantas cespitosas características do PFT C, ausência do PFT A e baixa presença do PFT B.



Sosinski Jr. (2005) também encontrou um predomínio de PFT representado por espécies com maior comprimento e resistência ao tracionamento da lâmina foliar nas simulações de comunidades excluídas do pastejo. Esta trajetória direcional no sentido de dominância de poucas espécies, comportamento típico de áreas excluídas ao pastejo, fundamenta-se no modelo de escala de sucessão, primeira teoria geral para explicar a resposta da vegetação ao pastejo, a qual assume que cada sistema de pastagem possui uma única composição de equilíbrio denominada clímax ou vegetação potencial (Cingolani et al., 2005).

Trajetória contrária à dos tratamentos de exclusão foi observada para os tratamentos pastejados onde as espécies do PFT C diminuíram e as do PFT B aumentaram, bem como as do PFT A, porém em menor proporção (Tabela 2). Comportamento foi similar ao observado por Rossi (2009) onde os tratamentos pastejados mantiveram-se mais correlacionados com os PFTs A e B representados por espécies de porte reduzido e com características de captura de recursos. A redução do nível de oferta de forragem tende a um aumento de gramíneas de porte menor, formas prostradas, meristemas protegidos, folhas pequenas e de alto potencial de rebrote (Sosinski Jr. e Pillar, 2004). Navarro et al. (2006) ao investigar o uso de PFTs como indicador das mudanças na composição florística em resposta ao pastejo no semi-árido observaram que o decréscimo ou eliminação de PFTs sensíveis ao pastejo foi compensado pelo aumento no desenvolvimento de espécies favorecidas pelo pastejo, induzindo alterações na vegetação por meio do processo colonizador.

O regime de desfolha introduz alterações das espécies diretamente (pela mortalidade após a remoção do ápice) ou indiretamente (pela mudança nas relações competitivas entre espécies) que resultará em diferenças na dinâmica de acúmulo de massa de forragem durante a rebrota podendo resultar em substancial heterogeneidade da vegetação em áreas exclusivamente pastejadas (Duru et al., 2005). Nestas situações, a pastagem não apresenta um comportamento contínuo na sua trajetória, sendo que para cada intensidade de pastejo a composição da vegetação atinge um novo equilíbrio (Cingolani et al., 2005) e em alguns casos pode mudar em direção a estados estáveis alternativos separados por limites (Westoby et al., 1989).

Apesar da similaridade entre as trajetórias simuladas e as reais, um certo nível de discrepância é esperada entre os cenários simulados e a realidade quando buscamos simular a dinâmica da vegetação com modelos empíricos utilizando autômatos celulares, pois estes são baseados em regras de decisões e a comunidade vegetal é um sistema complexo com alto nível de interações dificultando a definição destas regras de decisões. Entretanto, a falta de informações sobre alguns parâmetros das espécies naturais inviabiliza o emprego de modelos mais específicos. Assim como Silveira (1999), entendemos que o conhecimento dos processos fisiológicos pode aumentar a eficiência dos modelos

e, conseqüentemente, as informações que darão suporte aos sistemas de decisão utilizados pelos diferentes atores da bovinocultura de corte.

A inclusão de módulos animal e crescimento vegetal no modelo viria a ser uma forma de reduzir o empirismo e melhorar a eficiência do mesmo. Neste sentido, Mouissie et al. (2008) ao desenvolverem um modelo para simular o pastejo visando a criação e preservação de padrões na vegetação sugerem a inclusão do seu modelo ao do proposto por Colasanti et al. (2007) e validado neste trabalho. Quanto ao módulo para simular o crescimento vegetal sugere-se que o mesmo seja feito com base nas características morfogênicas utilizando trabalhos como o de Machado (2010), que avaliou a morfogênese de gramíneas nativas sob níveis de adubação nitrogenada.

A similaridade entre os valores de área foliar específica bem como a resposta aos distúrbios recomenda-se que os PFTs A e B sejam utilizados como um único grupo o que facilitaria a inclusão dos módulos sugeridos e poderá melhorar a eficiência do modelo.

#### 4 CONCLUSÕES

O modelo avaliado demonstrou eficiência na predição da dinâmica da vegetação da pastagem natural podendo ser utilizado para simular diferentes cenários. Entretanto, a limitação do modelo está na correta determinação do nível de distúrbio, pois o modelo é mais sensível ao distúrbio do que recurso.

Neste sentido, recomenda-se como tema para futuros trabalhos a inclusão ao modelo de módulos animal e crescimento vegetal visando tornar o modelo menos empírico. Nesta condição de pastagem a utilização de apenas dois tipos funcionais de plantas nas simulações, como os já propostos grupos de captura e conservação, poderá melhorar a eficiência do modelo e facilitar a inclusão dos módulos sugeridos.

#### REFERÊNCIAS

- AL HAJ KHALED, R.; DURU, M.; THEAU, J.P. *et al.* Variation in leaf traits through seasons and N-availability levels and its consequences for ranking grassland species. **Journal of Vegetation Science**, v.16, p.391-398, 2005.
- BALZTER, H.; BRAUN, P.W.; KOHLER, W. Cellular automata models for vegetation dynamics. **Ecological Modelling**, n. 107, p. 113-125, 1998.
- CARVALHO, P.C.F.; MORAES, A. Comportamento ingestivo de ruminantes: bases para o manejo sustentável do pasto. In: CECATO, U.; JOBIM, C. C. (Org.). **Manejo Sustentável em Pastagem**. Maringá-PR: UEM, 2005. v.1, p.1-20.

- CASTILHOS, Z.M.S. **Dinâmica vegetal e tipos funcionais em áreas excluídas e pastejadas sob diferentes condições iniciais de adubação**. Porto Alegre, RS, 2002. 114p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- CHENG, X.; AN, S.; CHEN, J. et al. Spatial relationships among species, above-ground biomass, N, and P in degraded grasslands in Ordos Plateau, northwestern China. **Journal of Arid Environments**, v.68, p.652-667, 2007.
- CINGOLANI, A.M.; NOY-MEIR, I.; DÍAZ, S. Grazing effects on rangeland diversity: a synthesis of contemporary models. **Ecological Applications**, v.15, n.2, p.757-773, 2005.
- COLASANTI, R.L.; HUNT, R.; WATRUD, L. A simple cellular automaton model for high-level vegetation dynamics. **Ecological Modelling**, v.203, p.363-374, 2007.
- CRUZ, P.; DURU, M.; THÉRON, O. et al. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. [A new approach to the characterization of natural grasslands and their use value]. **Fourrages**, v.172, p.335-354, 2002.
- DÍAZ, S.; NOY-MEIR, I.; CABIDO, M. Can grazing response of herbaceous plants be predicted from simple vegetative traits? **Journal of Applied Ecology**, v.38, p.497-508, 2001.
- DURU, M.; TALLOWIN, J.; CRUZ, P. Functional diversity in low-input grassland farming systems: characterization, effect and management. **Agronomy Research**, v.3, n.2, 125-138, 2005.
- GARAGORRY, F. **Construção de uma tipologia funcional de gramíneas em pastagens naturais sob diferentes manejos**. Santa Maria: UFSM, 2008. 176p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2008.
- GRIME, J.P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. **The American Naturalist**, v.111, n.982, p.1169-1194, 1977.
- GRIST, E.P.M. The significance of spatio-temporal neighbourhood on plant competition for light and space. **Ecological Modelling**, v.121, p.63-78, 1999.
- KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, A.C. et al. Resposta de biótipos da grama forquilha à calagem e à frequência de corte. **Ciência Rural**, v.28, n.4, p.581-586, 1998.
- LOAGUE, K.; GREEN, R.E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.7, p.51-73, 1991.
- MACHADO, J.M. **Morfogênese de gramíneas nativas sob níveis de adubação nitrogenada**. Santa Maria: UFSM, 2010. 77p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- MCCUEN, R.H.; SNYDER, W.M. **Hydrologic modeling: statistical methods and applications**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986.
- McGLINN, D.J.; PALMER, M.W. Modeling the sampling effect in the species-time-area relationship. **Ecology**, v.90, n.3, p.836-846, 2009.
- MOUISSIE, A.; APOL, M.E.F.; HEIL, G.W. et al. Creation e preservation of vegetation patterns by grazing. **Ecological Modelling**, v.218, n.24, p.60-72, 2008.
- MULLER, S.C.; OVERBECK, G.E.; PFADENHAUER, J. et al. Plant functional types of woody species related to fire disturbance in forest-grassland ecotones. **Plant Ecology**, v.189, n.1, p.1-14, 2007.
- NAVARRO, T.; ALADOS, C.L.; CABEZUDO, B. Changes in plant functional types in response to goat and sheep grazing in two semi-arid shrublands of SE Spain. **Journal of Arid Environments**, v.64, n.2, p.298-322, 2006.

- NOY-MEIR, I. Interactive effects of fire and grazing on structure and diversity of Mediterranean grasslands. **Journal of Vegetation Science**, v.6, n.5, p.701-710, 1995.
- PAUSAS, J.G. The effect of landscape pattern on Mediterranean vegetation dynamics: A modelling approach using functional types. **Journal of Vegetation Science**, n.14, p.365-374, 2003.
- PEDROSA, B.M. **Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial**. São José dos Campos, SP, 2003. 85p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - INPE, 2003.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **AGROMETEOROLOGIA: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 478p.
- PESSOA, A.C.S.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. Recuperação de fósforo de diferentes fontes por capim-pensacola colonizado por fungos micorrízicos arbusculares. **Acta Scientiarum**, v.22, n.4, p.979-984, 2000.
- QUADROS, F.L.F.; PILLAR, V.D. Dinâmica vegetacional em pastagem natural submetida a tratamentos de queima e pastejo. **Ciência Rural**, v.31, n.5, p.863-868, 2001.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. 2009.
- RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J.C.P.; KAMINSKI, J. et al. Crescimento de leguminosas forrageiras afetado pela adição de fósforo, calagem do solo e micorrizas, em condições de casa de vegetação. **Ciência Rural**, v.27, n.4, p.571-576, 1997.
- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Resposta do capim pensacola à adubação fosfatada e à micorrização em solo com diferentes valores de pH. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 18, p. 201-205, 1994.
- ROHDE, K. Cellular automata and ecology. **Oikos**, v.110, n.1, p.203-207, 2005.
- ROSSI, G.E. **Avaliação da dinâmica e da diversidade de uma pastagem natural submetida a diferentes distúrbios**. Santa Maria: UFSM, 2009. 121p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- SILVEIRA, V. **Farmer Integrated Decision Model: integration between beef cattle and Rice production in Rio Grande do Sul, Brasil**. Edinburgh: University of Edinburgh, 1999. 224p. Thesis (Philosophical Doctor in Resource Management) – University of Edinburgh, 1999.
- SOSINSKI Jr., E.E. **Modelos de simulação espacial de efeitos de pastejo em vegetação campestre**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 125p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- SOSINSKI Jr., E.E.; PILLAR, V.D. Respostas de tipos funcionais de plantas à intensidade de pastejo em vegetação campestre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.1, p.1-9, 2004.
- STRECK, N.A.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B. et al. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1553-1561, 2009.
- WESTOBY, M.; WALKER, B.; NOY-MEIR, I. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. **Journal of Range Management**, v.42, p.266-274, 1989.
- WOLFRAM, S. Statistical mechanics of cellular automata. **Reviews of Modern Physics**, v.55, p.601-644, 1983.