

## **Sistema Especialista para Orientar o Manejo de Fogo no Cerrado**

Walter Nascimento Neto (wneto@unb.br) & Heloísa S. Miranda.

Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas – Universidade de Brasília, 70910-900.

### **Introdução**

O fogo é um dos mais conhecidos e estudados distúrbios ecológicos recorrentes (Christensen, 1995) a que está submetido a maior parte dos ecossistemas mundiais. Dependendo do ecossistema e da frequência em que o fogo é aplicado, ele pode causar sérios danos à estrutura da vegetação, comprometendo a biodiversidade e os padrões ecológicos de funcionamento e manutenção das comunidades ecológicas ao redor do mundo. Segundo Pyne (1992), nenhuma outra tecnologia tem influenciado o planeta por tanto tempo e de forma tão forte quanto o uso do fogo. O desenvolvimento das pesquisas em ecologia do fogo no Cerrado permitiram nos últimos anos a construção de modelos qualitativos que abordam o fogo como fator ecológico relevante tanto para dar suporte a decisões de manejo (Pivello & Coutinho, 1996; Pivello & Norton, 1996) quanto para se compreender o papel do fogo no Cerrado (Salles, 1997). Na literatura sobre queimadas para o Cerrado são conhecidos poucos trabalhos usando inteligência artificial para simular e prever cenários de uso e impacto de queimadas neste ecossistema (Pivello & Coutinho, 1996; Pivello & Norton, 1996; Salles, 1997; Salles & Bredeweg, 1997)

### **Objetivos**

Construir um sistema especialista que seja: (1) capaz de orientar tomada de decisões para o manejo do fogo em fisionomias de campo sujo de Cerrado e (2) auxiliar na caracterização do comportamento e dos impactos do fogo nesta fisionomia de Cerrado.

### **Material e Métodos**

O modelo foi construído para o simulador qualitativo GARP - General Architecture for Reasoning About Physics - (Bredeweg, 1992; 2004). Para ser lido por este simulador, é preciso que o programador defina os objetos, parâmetros, valores, estados qualitativos, dependências e as relações entre os parâmetros do modelo. A linguagem usada para a programação é a linguagem Prolog (Bratko, 1990), uma vez que o simulador usa uma interfase deste tipo (SWI-Prolog 2005). Os dados do modelo são inseridos à programação por meio de regras do tipo “se - então” (“if - then”). As variáveis foram adicionadas ao modelo por meio de fragmentos de modelo. Cada fragmento de modelo contém uma unidade ou um conjunto de regras “if-then”. Estas regras determinam as variações possíveis nos parâmetros do modelo durante a simulação. Os parâmetros usados no modelo podem ser divididos em três tipos: (1) variáveis que se referem às condições pré-fogo: umidade relativa do ar, temperatura do ar, quantidade de dias sem chuva, biomassa de lenhosas, biomassa herbácea seca e verde acumulada, umidade do combustível, precipitação, direção do vento com relação à frente de fogo, tempo de proteção contra a queima e risco de incêndios acidentais; (2) variáveis que se referem às características da queimada que venha a ocorrer numa dada situação pré-fogo: são elas eficiência de queima, velocidade da frente de fogo, intensidade do fogo, calor liberado pelo fogo, tempo de residência; (3) variáveis que se referem aos impactos de um determinado conjunto de características de queima no ecossistema: são elas aumento da temperatura nos primeiros centímetros de solo, aumento da temperatura em maiores profundidades do solo, e dano à vegetação.

### **Resultados e Discussão**

Ao iniciar o sistema especialista, o usuário é introduzido em uma interface que lhe dirige algumas perguntas sobre as condições físicas presentes no local. Como o modelo lida apenas com valores qualitativos na forma de pontos e espaços qualitativos, o usuário responde em termos de intervalos de valores, e. g. a temperatura é maior ou menor do que 25°C. À medida que vai respondendo a estas perguntas, o modelo seleciona, com base nas respostas, uma determinada configuração inicial as características físicas pré-fogo. Uma vez determinado o cenário inicial pré-fogo para os parâmetros físicos, a interface abre o simulador GARP. Dentro do simulador, o usuário completa este cenário inicial a partir do conhecimento do estado de acúmulo de biomassa em termos de quantidades qualitativas de biomassa verde e seca, de acordo com a proximidade da estação seca ou chuvosa. Após determinar as condições pré-fogo e o estado da vegetação o usuário pode visualizar os valores qualitativos de todos os parâmetros envolvidos no modelo para um dado cenário inicial e rodar a simulação. A simulação mostrará a evolução do sistema representando o tempo como uma sucessão de estados qualitativos baseados no aumento da biomassa da vegetação. Cada estado qualitativo gerado tem uma configuração específica de valores qualitativos para cada uma das variáveis consideradas no modelo. As predições do modelo são baseadas em uma vasta e consolidada literatura sobre o comportamento do fogo

(Luke & McArthur, 1986; Pyne, *et al.*, 1996) e seus efeitos no Cerrado (Miranda, *et al.*, 1996; Miranda, *et al.*, 2004). Uma das muitas previsões do modelo é a de que as queimadas mais danosas para a vegetação são aquelas que ocorrem após um longo período de proteção contra o fogo. Especialmente quando esse tipo de queimada ocorre a baixas taxas de propagação da frente de fogo (como na presença de alta umidade de combustível e/ou quando a queimada é realizada em direção contrária à do vento). O modelo também prevê que, mesmo no caso de ocorrerem altas temperaturas nas camadas superficiais do solo, durante a passagem do fogo, a temperatura abaixo de 5cm mantém-se como se não houvesse o evento de queima. Esta previsão está em acordo com as observações experimentais (Miranda, *et al.*, 1993; Castro Neves & Miranda, 1996; Miranda, *et al.*, 1996).

### Conclusão

O presente modelo é um protótipo e ainda não foi submetido a testes por especialistas e prováveis usuários. No entanto, é uma ferramenta de baixo custo operacional, possível de ser usada por qualquer pessoa com conhecimentos mínimos de informática. Além disso, representa um avanço no sentido de melhor orientar tomadas de decisões quanto ao manejo de fogo no Cerrado.

### Referências Bibliográficas

- Bratko, I. 1990. *Prolog: Programming for Artificial Intelligence*. 2ed. Addison-Wesley Publishing Company, New York. 597p.
- Bredeweg, B. 2004. Knowledge-based Simulation Models in Education. <http://hcs.science.uva.nl/projects/GARP/index.html>. Agosto, 2005.
- Bredeweg, B. 1992. *Expertise in Qualitative Prediction of Behavior*. Tese de Doutorado. University of Amsterdam. 217p.
- Castro Neves, B. M. & Miranda, H. S. 1996. Efeitos do fogo no regime térmico do solo em um campo sujo de cerrado. In: H. S. Miranda; C. H. Saito & B. F. S. Dias (coords.). *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Anais do Simpósio Impactos de Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. Universidade de Brasília, Brasília. p.20-30.
- Christensen, N. L. 1995. Fire Ecology. In: W.A. Nierenberg (ed). *Encyclopedia of Environmental Biology*. Academic Press, Boston. p.21-32.
- Luke, R. H. & McArthur, A. G. 1986. *Bushfires in Australia*. Australian Government Publishing Service, Canberra. 359p.
- Miranda, A. C.; Miranda, H. S.; Dias, I. F. O. & Dias, B. F. S. 1993. Soil and air temperatures during prescribed cerrado fires in central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*. **9**: 313-320.
- Miranda, H. S.; Rocha e Silva, E. P. & Miranda, A. C. 1996. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: H. S. Miranda; C. H. Saito & B. F. S. Dias (eds). *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Anais do Simpósio Impactos de Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. Universidade de Brasília, Brasília. p.1-10.
- Miranda, H. S.; Sato, M. N.; Andrade, S. M. A.; Haridasan, M. & Morais, H. C. 2004. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: L. M. S. Aguiar & J. A. C. Camargo (eds). *Cerrado - Ecologia e Caracterização*. Embrapa Cerrados, Brasília. p.249.
- Pivello, V. R. & Coutinho, L. M. 1996. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management* **87**: 127-138.
- Pivello, V. R. & Norton, G. A. 1996. FIRETOOL: an expert system for the use of prescribed fires in Brazilian savannas. *Journal of Applied Ecology*. **33**: 348-356.
- Pyne, J. S. 1992. Keeper of the Flame. In: P. J. Crutzen & J. G. Goldammer (eds). *Fire in the Environment*. John Wiley & Sons, Berlin. p.245-266.
- Pyne, J. S.; Andrews, P. L. & Laven, R. D. 1996. *Introduction to Wildland Fire*. John Wiley and Sons, New York. 769p.
- Salles, P. 1997. *Qualitative Models in Ecology and their Use in Learning Environments*. Tese de Doutorado. University of Edinburgh. 298p.
- Salles, P. & Bredeweg, B. 1997. Building Qualitative Models in Ecology. *11th International Qualitative Reasoning (QR) workshop*. Italy. p.1-18.
- SWI-Prolog. 2005. <http://www.swi-prolog.org/>. Agosto, 2005.