

## UN MODELO DE ESTADOS Y TRANSICIONES PARA EL CERRADO BRASILEÑO

### A MODEL OF STATES AND TRANSITIONS FOR THE BRAZILIAN CERRADO

*Maria Lucia Meirelles<sup>1</sup>, Carlos Augusto Klink<sup>2</sup> y José Carlos Sousa Silva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado, EMBRAPA, BR 020, Km 18, Rodovia Brasília /Fortaleza, CEP 73301 - Planaltina - DF. Brasil. E-mail: lucia@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Instituto de Ciências Biológicas, Universidad de Brasília, Brasília, DF Brasil 70919-970.

### RESUMEN

Se utiliza un modelo de estados y transiciones para describir las transformaciones de un ecosistema de Cerrado Típico frente a la acción de perturbaciones antrópicas como: modificaciones en la frecuencia de quemas, incluyendo la protección total al fuego, el sobrepastoreo y la protección total contra el corte y el pastoreo, la deforestación y el clareo de los estratos arbóreo y arbustivo, así como la desestructuración de la capa superficial del suelo, que conduce a una total degradación del sistema. Se analizan 17 transiciones que explican los cambios entre los 6 estados posibles.

**Palabras clave:** modelos, cerrado, sabana, perturbación, transiciones.

### ABSTRACT

Through the use of a states and transitions model, the various transformations of a Cerrado Típico ecosystem are described, considering the main human disturbances: changes in fire frequency, including a total protection from burning; overgrazing and total protection from cutting and grazing; deforestation and clearing of trees and shrubs, as well as the loss of the topsoil structure, that leads to a complete degradation of the system. Seventeen transitions are analyzed, that explain the changes between the six possible states.

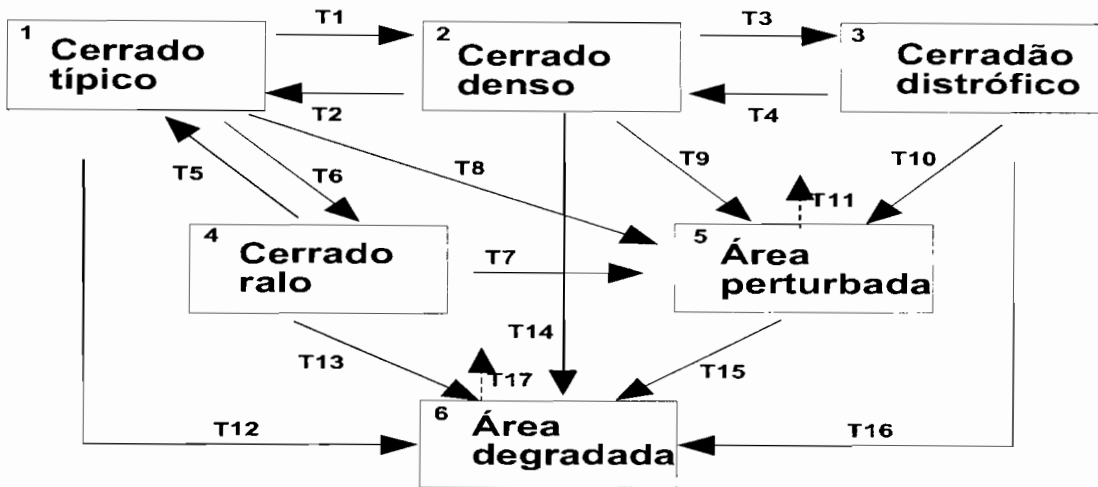
**Key words:** models, cerrado, savanna, disturbance, transitions.

### INTRODUCCIÓN

Las alteraciones estructurales y dinámicas que ocurren en ecosistemas sabánicos pueden ser descritas por modelos de estados y transiciones. Los estados por los que pasan los ecosistemas, durante el proceso de transformación, son generalmente descritos mediante sus características fisonómicas y florísticas; las transiciones, a su vez, por los factores responsables del paso de un estado a otro.

Este modelo fue concebido, inicialmente, como un instrumento para el manejo de pasturas (Westoby *et al.* 1989). Además, puede ser utilizado para otros fines, como manejo de unidades de conservación y recuperación de áreas perturbadas o degradadas. Las premisas subyacentes en la concepción del modelo están determinadas por el objetivo que se pretenda alcanzar.

La vegetación del cerrado presenta una amplia complejidad fisonómica, con una gran variedad de estados naturales y otros originados



**Figura 1.** Modelo de estados y transiciones partiendo del Cerrado Típico. Este estado es seguido por otras fitofisionomías, resultado de transiciones originadas por intervención antrópica.

por perturbación. Desde el siglo pasado (Warming 1973) se enunciaron hipótesis sobre los factores determinantes de las fisonomías del cerrado, pero hasta el día de hoy permanece cierta polémica al respecto (Alvim 1996). La discusión de los factores de transición determinantes de los estados perturbados y degradados del cerrado es mucho más reciente, con muchos procesos aún no totalmente dilucidados (Correa 1996).

## PREMISAS DEL MODELO

Un modelo de estados y transiciones para el cerrado ya fue presentado por Pivello y Coutinho (1996), con el objetivo de comprender el funcionamiento y la dinámica del sistema cuando es sometido a perturbaciones (fuego, pastoreo, corte de árboles, invasión de especies exóticas, sequía y heladas), y servir asimismo de soporte al manejo de unidades de conservación en el cerrado. Es un modelo que contempla todas las fisonomías, siendo el CAMPO LIMPIO el estado inicial.

El modelo aquí propuesto se basa en premisas diferentes al de Pivello y Coutinho. Tiene como

punto de partida (Estado 1) el CERRADO TÍPICO (Figura 1), que es la fisonomía dominante en la región del cerrado, ocupando 53% de su área original (Dias 1992). La baja fertilidad del suelo, la toxicidad de aluminio y la deficiencia hídrica en los horizontes superiores del suelo durante el período de sequía, son considerados como los factores limitantes del Cerrado Típico (Haridasan *et al.* 1997), impidiendo la formación de estructuras forestales propias de suelos más ricos (Eiten 1990). El Cerrado Típico presenta una estructura sabánica y se piensa que el estrato arbóreo abierto se debe a la ocurrencia eventual del fuego. Si el fuego ocurre con una frecuencia media de dos veces por década, esta fisonomía básica no se altera (Eiten 1990). La presencia de numerosas especies pirófilas demuestra que el fuego es un factor natural en esta región, desde tiempos remotos (Walter 1986).

Las otras fisonomías presentadas en el modelo (Cerrado Ralo, Cerrado Denso y Cerradão Distrófico) predominan en suelos con características químicas y físicas en los que también se presenta el Cerrado Típico, principalmente latosoles distróficos y arenas cuarzíticas, que corresponden a cerca del 58,2% del área del

cerrado (Dias 1992). A través del aumento de la densidad de árboles, el Cerrado Típico se transforma en un Cerrado Denso, que a su vez puede transformarse en un Cerradão Distrófico, el cual presenta especies características sensibles al fuego. La variación de las especies en el estrato herbáceo, entre los dos extremos de este gradiente, es mayor que en el estrato leñoso, debido a diferentes grados de sombreado (Eiten 1990).

La aparición de una vegetación forestal en suelos más ricos, en la región del cerrado (suelos mesotróficos en áreas de afloramiento de rocas calcáreas), apoya la hipótesis de la existencia de un estrés nutricional en los ecosistemas sabánicos del cerrado (Haridasan 1992). Las fisonomías campestres (Campo Sucio y Campo Limpio) en general son características de suelos que presentan limitaciones para el desarrollo de leñosas, como los cambisoles distróficos (Haridasan 1990). Por lo tanto, en este modelo, los campos originados por intervención del Cerrado Típico, entran en la categoría de áreas perturbadas, ya que florística y fitosociológicamente se diferencian de las fisonomías campestres típicas.

El fuego es considerado un factor ecológico característico del cerrado (Coutinho 1990), siempre que ocurra con frecuencias e intensidades "naturales", lo que correspondería a quemadas eventuales (Ramos-Neto y Pinheiro Machado 1996). Incluso, los habitantes de la región informan sobre la ocurrencia de quemadas provocadas por rayos (Coutinho 1990). Es importante reconocer que la supresión del fuego constituye un elemento de intervención en un ecosistema que está, normalmente, sujeto a esta perturbación (Archer *et al.* 1996). En áreas de cerrado típico, protegidas contra las quemadas, se observa el establecimiento de un gran número de especies arbóreas sensibles al fuego y típicas del cerradão (Ratter 1992, Moreira 1992, Moreira 1996). Por lo tanto, a partir de estas evidencias se considera la hipótesis de que una larga protección contra las quemadas originaría, en estas áreas, un cerradão distrófico, siempre que estuvieran disponibles las semillas de las especies del cerradão. Lo inverso

también es posible y se piensa que el fuego, progresivamente, convierte formaciones forestales en sabánicas (Braithwaite 1996). Hoffmann (1996) observó el efecto negativo del fuego sobre el establecimiento de varias especies arbóreas típicas del cerrado, mientras Caldas y Moura (1991) encontraron que el fuego ocasiona un menor crecimiento en altura de los árboles adultos.

Si lo que se pretende es manejar las pasturas nativas, la quema es, ciertamente, el método más antiguo y barato para mantener sabanas abiertas (Pivello y Norton 1996). Sin embargo, el uso del fuego como instrumento de manejo debe ser hecho con cautela, obedeciendo a la legislación ambiental vigente y considerando que la quema de la biomasa, además de liberar CO<sub>2</sub>, es la fuente principal de muchos gases, principalmente CO, CH<sub>4</sub> y otros hidrocarburos, cuyas emisiones tienen consecuencias ecológicas graves (Crutzen y Andreae 1990).

Varios son los factores responsables por las transiciones entre los estados en la vegetación del cerrado. Aunque los factores climáticos y edáficos son los principales determinantes de la presencia de sabanas, el fuego y el pastoreo serían los principales agentes modificadores en las relaciones competitivas entre el estrato arbóreo y el herbáceo (Belsky 1990). El modelo aquí propuesto considera los procesos de intervención humana: pastoreo, de forestación, fuego intencional y desestructuración del suelo nativo, como los factores más frecuentes en las transiciones descritas. El desarrollo del modelo permitirá establecer principios para el manejo de los ecosistemas del cerrado, a partir de la manipulación de los factores de intervención aquí considerados. El manejo podrá perseguir objetivos variados como el mantenimiento de la biodiversidad, la recuperación de áreas degradadas o la mejoría de los pastizales nativos.

El pastoreo es una actividad tradicional en la región del cerrado. Se estima que los pastizales nativos ocupan cerca del 40% del área del Cerrado (Filgueiras y Wechsler 1992), con una carga animal baja (0,2 UA por hectárea), pero aún así es responsable de modificaciones florísticas y fitosociológicas relevantes. Sin embargo, no hay evidencias de que el pastoreo por herbívoros domésticos disminuya la densidad de leñosas (Eiten 1990). A partir de la década del 70, el cerrado pasó a ser considerado como una nueva frontera agrícola del país, con incentivos gubernamentales para su deforestación y aprovechamiento agrosilvopastoril (Klink *et al.* 1995). También en superficies importantes se efectúa el clareo de árboles y arbustos para la fabricación de carbón vegetal. El fuego es bastante utilizado en el cerrado para la eliminación de leñosas y el manejo de pastizales nativos, lo que se ha hecho de manera empírica (Ramos y Rosa 1992).

La desestructuración del suelo puede deberse a la actividad minera, sin embargo su causa principal es la erosión producida por la agricultura. Todos estos factores de intervención dan origen a una gran variedad de estados relativamente transitorios, cuyas estructuras y dinámicas necesitan ser mejor conocidas.

### PRESENTACIÓN DEL MODELO

La Figura 1 presenta un modelo de estados y transiciones para un cerrado cuyo estado uno es el Cerrado Típico, el que sufre diferentes tipos de intervención, responsables de las transiciones que originan los otros estados del modelo.

#### Relación de los estados

**Estado I.** Cerrado Típico. Formación sabánica, cobertura arbórea de 20 a 50%, altura media de los árboles de 3 a 6 metros (Ribeiro y Walter 1998) La

cobertura del estrato herbáceo es cerrada y predominantemente gramínea. (Eiten 1990)

**Estado II.** Cerrado Denso. Formación sabánica, cobertura arbórea de 50 a 70%, altura media de los árboles de 5 a 8 m (Ribeiro y Walter 1998)

**Estado III.** Cerrado Distrófico. Formación forestal, cobertura arbórea de 50 a 90%, altura media de los árboles de 8 a 15 m. Aparecen especies típicas del Cerrado. Dependiendo de la luminosidad, pueden existir estratos arbustivo y herbáceo diferenciados (Ribeiro y Walter 1998)

**Estado IV.** Cerrado Ralo. Formación sabánica, cobertura arbórea de 5 a 20%, altura media de los árboles de 2 a 3 m (Ribeiro y Walter 1998)

**Estado V.** Área Perturbada. Área que sufrió intervención humana, dando origen a una vegetación altamente perturbada cuya composición florística y fitosociológica se diferencia de las formaciones nativas. Generalmente, incluye especies exóticas, particularmente gramíneas de origen africano.

**Estado VI.** Área Degradada. Área cuya estructura del suelo ha sido alterada por intervención humana, como minería o erosión por uso agrícola.

#### Relación de las transiciones

Las transiciones ocurren debido a los siguientes tipos de intervención humana: pastoreo, deforestación, fuego intencional, protección contra el fuego y desestructuración del suelo nativo.

**Transición I.** Protección contra el fuego, el corte y el pastoreo por períodos largos. Se observó que en un cerrado típico, después de 5 años y en forma más pronunciada, después de 10 años de protección, se produjo un sorprendente incremento en la densidad de árboles (Ratter 1992).

**Transición 2.** Quemadas con frecuencia variable (accidentales o intencionales).

**Transición 3.** Protección contra el fuego, el

corte y el pastoreo por largos períodos de tiempo y con disponibilidad local de semillas de especies típicas del cerrado. La protección contra las quemaduras aumenta la abundancia de las especies leñosas y favorece la aparición de especies sensibles al fuego (Moreira 1996). Esta transición es más factible que ocurra en regiones con mosaicos fisonómicos que incluyan fisonomías menos propensas al fuego, lo que contribuye a la sobrevivencia de especies poco tolerantes a las quemaduras (Bilbao *et al.* 1996)

**Transición 4.** Ocurrencia de quemaduras que eliminan los individuos de las especies del cerrado que son sensibles al fuego (Ratter 1992). Eiten (1990) sugiere que cuando el cerrado es quemado frecuentemente, o es cortado, se transforma en una fisonomía de cerrado y no en un bosque secundario.

**Transición 5.** Protección temporal contra el fuego, el corte y el pastoreo.

**Transición 6.** Quemaduras consecutivas con frecuencias inferiores a tres años.

**Transiciones 7, 8, 9 y 10.** Quemaduras consecutivas con frecuencias inferiores a dos años, sobrepastoreo, abandono de áreas agrícolas o de pasturas cultivadas.

**Transición 11.** Protección contra el fuego, el corte y el pastoreo, con resultados variados. Por ejemplo: áreas abandonadas que habían sido anteriormente utilizadas en la agricultura o como pasturas cultivadas y que han perdido su capacidad para ser recolonizadas por las especies nativas (Baruch *et al.* 1996), con el consiguiente establecimiento de especies exóticas (Archer *et al.* 1996).

**Transiciones 12, 13, 14, 15 y 16.** Eliminación de la capa superficial del suelo (minería, erosión por uso agrícola no sustentable).

**Transición 17.** Solamente es posible con una fuerte intervención humana dirigida a la recuperación del área, con resultados variados (Martins 1996).

## CONCLUSIONES

A partir de la elucidación de los procesos ecológicos implicados en las 17 transiciones descritas, partiendo de intervenciones en el Cerrado Típico, el modelo presentado será un instrumento útil para diferentes objetivos de manejo, tales como:

Mantenimiento y enriquecimiento de la diversidad del mosaico vegetacional y de la biodiversidad en unidades de conservación.

Manejo de pastizales nativos con el objeto de mejorar la calidad del pasto y la apertura del dosel.

Manejo de áreas nativas con el objeto de explotar la madera para fabricar carbón vegetal, asociado o no a pasturas nativas.

Recolonización de áreas perturbadas por especies nativas.

Recuperación de los recursos naturales de áreas degradadas.

## LITERATURA CITADA

- ALVIM, P. DE T. 1996. Repensando a teoria da formação dos Campos Cerrados. Pp. 56-58, in R. C. PEREIRA y L. C. B. NASSER (eds): Anais do 8º Simpósio sobre o Cerrado: biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados. EMBRAPA - CPAC, Planaltina.
- ARCHER, S., M. COUGHENOUR, C. DALL'AGLIO, G. W. FERNANDEZ, J. HAY, W. HOFFMANN, C. KLINK, J. F. SILVA, y O. T. SOLBRIG. 1996. Savanna, biodiversity and ecosystem properties. Pp. 207-215, in O. T. SOLBRIG, E. MEDINA y J. F. SILVA (eds): Biodiversity and savanna ecosystem processes-a global perspective. Springer-Verlag, New York.
- BARUCH, Z., A. J. BELSKY, L. BULLA, C. A. FRANCO, I. GARAY, M. HARIDASAN, P. LAVELLE, E. MEDINA y G. SARMIENTO. 1996. Biodiversity as regulator of energy flow, water use and nutrient cycling in savannas. Pp. 175-194, in O. T. SOLBRIG, E. MEDINA y J. F. SILVA (eds): Biodiversity and savanna ecosystem processes-a global perspective. Springer-Verlag, New York.
- BILBAO, B., R. BRAITHWAITE, C. DALL'AGLIO, A. MOREIRA, P. E. OLIVEIRA, J. F. RIBEIRO y P.

- STOTT. 1996. Biodiversity, fire, and herbivory in tropical savannas. Pp. 197-203, *in* O. T. SOLBRIG, E. MEDINA y J. F. SILVA (eds): Biodiversity and savanna ecosystem processes-a global perspective. Springer-Verlag, New York.
- BELSKY, A. J. 1990. Tree/grass ratios in East African savannas: a comparison of existing models. *Journal Biogeography* 17:483-490.
- BRAITHWAITE, R. W. 1996. Biodiversity and fire in the savanna landscape. Pp. 121-140, *in* O. T. SOLBRIG, E. MEDINA y J. F. SILVA (eds): Biodiversity and savanna ecosystem processes-a global perspective. Springer-Verlag, New York.
- CALDAS, L. S. y L. C. MOURA, 1991. Efeito do fogo na redução da altura de plantas do Cerrado no Distrito Federal. Resumos do XLII Congresso Nacional de Botânica. Goias.
- CORRÊA, R. S. 1996. Regeneração da vegetação de Cerrado em uma área de empréstimo no Parque Nacional de Brasília. Pp. 182-185, *in* R. C. PEREIRA, y L. C. B. NASSER (eds): Anais do 8º Simpósio sobre o Cerrado: biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados. EMBRAPA - CPAC, Planaltina.
- COUTINHO, L. M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. Pp.82-105, *in* J. G. GOLDAMMER (ed): Fire in the tropical biota. Springer-Verlag, Berlin.
- CRUTZEN, P. J. y M. O. ANDREAE. 1990. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* 250:1669-1678.
- DIAS, B. F. de S. 1992. Cerrados: uma caracterização. Pp.11-25, *in* B. F. de S. DIAS (coord): Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos renováveis. FUNATURA-IBAMA, Brasília.
- EITEN, G. 1990. Vegetação do Cerrado. Pp. 9-65, *in* M. N. PINTO (org): Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- FILGUEIRAS, T. S. y F. S. WECHSLER. 1992. Pastagens nativas. Pp. 47-49, *in* B. F. de S. DIAS (coord): Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos renováveis. FUNATURA-IBAMA, Brasília.
- HARIDASAN, M. 1990. Solos do distrito federal. Pp. 309-330, *in* M. N. PINTO (org): Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- HARIDASAN, M. 1992. Estresse nutricional. Pp. 27-30, *in* B. F. de S. DIAS, (coord): Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos renováveis. FUNATURA-IBAMA, Brasília.
- HARIDASAN, M., A. A. M. C. PINHEIRO y F. R. R. TORRES. 1992. Resposta de algumas espécies do estrato rasteiro de um Cerrado à calagem e à adubação. Pp. 87-91, *in* L. L. LEITE y C. H. SAITO (eds): Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. Universidade de Brasília, Departamento de Ecologia, Brasília.
- HOFFMANN, W. A. 1996. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. *Journal of ecology* 84:383-393.
- KLINK, C. A., R. H. MACEDO y C. C. MUELLER. 1995. De grão em grão o Cerrado perde espaço. WWF - PROCER, Brasília.
- MARTINS, C. R. 1996. Revegetação com gramíneas de uma área degradada no Parque Nacional de Brasília - DF, Brasil. Tese de mestrado. Departamento de Ecologia-UnB, Brasília.
- MOREIRA, A. G. 1992. Fire protection and vegetation dynamics in the Brazilian Cerrado. Tese de PhD. Harvard University, Cambridge, USA.
- MOREIRA, A. G. 1996. Proteção contra o fogo e seu efeito na distribuição e composição de espécies de 5 fisionomias de Cerrado. Pp. 112-121, *in* H. S. MIRANDA, C. H. SAITO y B. F. de S. DIAS (orgs): Impacto de queimadas em áreas de Cerrado e Restinga. Universidade de Brasília, Brasília.
- PIVELLO, V. R. y L. M. COUTINHO. 1996. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian Cerrados. *Forest Ecology and Management* 87:127-138.
- RAMOS, A. E. y C. M. M. ROSA. 1992. Impacto das queimadas. Pp. 34-38, *in* B. F. de S. DIAS (coord): Alternativa de Desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos renováveis. FUNATURA-IBAMA, Brasília.
- RAMOS - NETO, M. B. y C. PINHEIRO - MACHADO. 1996. O capim-flecha (*Tristachya leiostachya* Ness.) e sua importância na dinâmica do fogo no Parque Nacional das Emas. Pp.68-75, *in* H. S. MIRANDA, C. H. SAITO y B. F. de S. DIAS, (orgs): Impacto de queimadas em áreas de Cerrado e Restinga. Universidade de Brasília, Brasília.
- RATTER, J. A. 1992. Transitions between Cerrado and forest vegetation in Brazil. Pp. 417-429, *in* P. A. FURLEY, J. PROCTOR y J. A. RATTER (eds): Nature and dynamics of forest-savanna boundaries. Chapman & Hall, London.
- RIBEIRO, J. F. y B. M. T. WALTER. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp. 89-166, *in* S. M. SANO y S. P. ALMEIDA (eds): Cerrado: ambiente e flora. EMBRAPA-CPAC, Planaltina.
- WALTER, H. 1986. Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global. EPU, São Paulo.
- WARMING, E. 1973. Lagoa Santa. Pp. 1-284, *in* E. WARMING y M. G. FERRI. (eds): Lagoa Santa e a vegetação de Cerrados brasileiros. EDUSP/Belo Horizonte: Itatiaia, São Paulo.
- WESTOBY, M., B. WALKER y I. NOY-MEIR. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management* 42(4):266-274.

Recibido mayo 1998; revisado junio 1998; aceptado julio 1998.