



Universidade de Brasília
Departamento de Ecologia

Efeitos de diferentes regimes de queima sobre a comunidade de gramíneas do Cerrado

Maria Inês Miranda

Brasília, 2002

3014/02

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Ecologia

**Efeitos de diferentes regimes de queima sobre a
comunidade de gramíneas do Cerrado**

Maria Inês Miranda

Tese apresentada e defendida como requerimento
parcial para obtenção do título de Doutor, junto
ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia do
Departamento de Ecologia da Universidade de
Brasília, sob a Orientação do Prof. Dr. Carlos
Augusto Klink.

Brasília
2002

Trabalho realizado junto ao Departamento de Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, sob orientação do Prof. Dr. Carlos Augusto Klink, com suporte financeiro do CNPq.

Aprovado por,



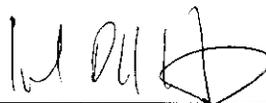
Prof. Dr. Carlos Augusto Klink
Orientador



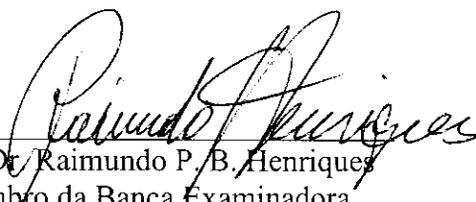
Prof. Dr. José Carlos Sousa Silva
Membro da Banca Examinadora



Profa. Dra. Heloisa Sinátora Miranda
Membro da Banca Examinadora



Prof. Dr. John Duvall Hay
Membro da Banca Examinadora



Prof. Dr. Raimundo P. B. Henriques
Membro da Banca Examinadora

Dedico à
Regina, Balsem, Elisa, Leticia, Ana
Flávia, Paulo Neto e Eduardo,
amores de minha vida.

Índice

Resumo.....	7
Abstract	8
Capítulo 1: Introdução Geral.....	9
Referências Bibliográficas da Introdução	16
Capítulo 2: Variações na composição e na estrutura das populações de gramíneas de campo sujo de Cerrado submetidas a diferentes regimes de queima	23
Introdução	23
Material e Métodos	26
Projeto Fogo	32
Coleta de dados	35
Análise estatística	38
Resultados	39
Discussão	57
Conclusões	67
Referências Bibliográficas do Capítulo 2	68
Capítulo 3: A descrição dos padrões espaciais de comunidades de gramíneas de cerrado submetidas a diferentes regimes de queima segundo a geometria fractal	75
Introdução	75
Material e Métodos	78
Projeto Fogo.....	78
Projeto “Década dos trópicos”.....	80
Análise da geometria fractal.....	83
Resultados.....	87
Discussão.....	97
Conclusões.....	102
Referências Bibliográficas do Capítulo 3	102
Conclusões Gerais.....	106
Anexo	107

Agradecimentos

Ao amigo Klink que nos momentos mais difíceis deste trabalho não deixou de acreditar em minha capacidade e me orientou com tanta maestria e amor.

À Reserva Ecológica do IBGE, onde este estudo foi realizado.

À diretora da RECOR Maria Iracema Gonzáles pelo apoio na realização deste projeto.

Ao CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

À amiga Profa. Heloisa que me apoiou e incentivou com tanto carinho quando tudo parecia perdido.

Ao amigo Raimundinho pelos intermináveis diálogos cheios de incentivos, palavras conselheiras, sábias e fraternas.

Ao querido Prof. Juan Silva, grande pensador, cientista e amigo que me ensinou que as respostas às nossas perguntas estão mais perto do que imaginamos, basta olhar em volta...

Ao fantástico Prof. Mario que me apresentou aos lindos fractais e me deu todo apoio para desenvolver e finalizar este trabalho.

Aos amigos Dirk, Kika e Holanda que me receberam com tanto carinho na Venezuela.

Ao meu querido amigo Pablo que não hesitou em me ajudar na hora de enfrentar a estatística e o mundo desconhecido dos fractais. Mesmo estando ele na Venezuela estava presente todos os dias durante a reta final do trabalho me ajudando, incentivando, discutindo, estudando... obrigada amigo querido.

À Regina querida amiga que me ajudou na identificação das gramíneas.

À querida amiga Flávia pelos incentivos tanto acadêmicos como pessoais indispensáveis para a finalização deste trabalho.

À minha família pelo amor incondicional, fonte de inspiração para este trabalho.

Ao meu marido Eduardo por ter acreditado que depois da tese teria a esposa de volta e ter aguentado, principalmente nos últimos meses, todo meu estresse resultado de um trabalho como este.

Ao meu melhor amigo Jack que ficou embaixo do meu computador dormindo, fazendo bagunça, me dando mais trabalho que eu já tinha e me fazendo companhia durante todo o trabalho.

Às gramíneas que deixaram de estar no campo para ser testemunha incontestável do meu trabalho nos herbários da UnB e da Embrapa.

À meu Pai Celestial porque sem Ele em minha vida nada disso tem sentido.

Resumo

Dentre as savanas tropicais o Cerrado possui a maior riqueza com altos índices de endemismo. A ampla diversidade fisionômica e florística que lhe dá a característica savânica vêm sendo substituída por grandes extensões de culturas e pastagens plantadas. Geralmente o equilíbrio entre os dois principais elementos vegetais do Cerrado depende da ação do fogo, que devido à expansão agropecuária na região, tem aumentado em frequência. Este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos do fogo na comunidade de gramíneas do Cerrado. Foram realizados dois tipos de avaliação. Uma da estrutura da comunidade e sua composição, outra da estrutura espacial da comunidade. Na primeira foram comparadas as parcelas experimentais de campo sujo do Projeto Fogo, localizado na Reserva Ecológica do IBGE, que sofrem regime distinto de queimada por frequência (bianual, quadrienal e sem queima) e época de queima (Precoce - junho, Modal - agosto e Tardia - setembro). Na segunda avaliação foi utilizada análise de fractal para comparar o grau de heterogeneidade espacial da comunidade nas parcelas de campo sujo do Projeto Fogo e em duas parcelas, uma com regime de queima bienal e outra protegida de queima, acompanhadas ao longo de sete anos, do Projeto da Década dos Trópicos, localizado nas áreas experimentais de cerrado *sensu stricto* da unidade da EMBRAPA - Cerrados em Planaltina - GO. Nas duas avaliações foi utilizado o método da linha para levantamento de espécies, que consiste em esticar uma linha ao longo da vegetação sendo que todas as espécies que estão a cinco centímetros à direita ou à esquerda da projeção horizontal da mesma são identificadas. Para a avaliação da estrutura e composição da comunidade nas parcelas do Projeto Fogo foram lançadas aleatoriamente quatro linhas de 50 metros, não permanentes, por área, em três levantamentos realizados em abril de 1999, dezembro de 1999 e abril de 2001. Para a análise de fractal cada linha mediu 64 metros de comprimento; nas parcelas da Década, que foram acompanhadas por 7 anos, as linhas eram fixas. Os resultados da avaliação da composição e da estrutura das comunidades de campo sujo do Projeto Fogo revelaram que as áreas queimadas apresentam maior frequência populacional do que a área protegida. *Echinolaena inflexa*, *Trachipogon spicatus* e *Schizachyrium tenerum* tiveram suas frequências maiores em áreas queimadas comparadas com a área controle (sem queima). As áreas queimadas bienalmente apresentaram aumento na desproporção entre as espécies dominantes e aquelas de abundância intermediária. As áreas de queimada bienal tiveram a diversidade de Shannon significativamente menor do que a área controle e com queima quadrienal. No regime bienal o de menor diversidade foi o tardio. As áreas queimadas bienalmente tendem a ser mais homogêneas, mais similares e menos diversas, enquanto as áreas "protegidas" (controle e quadrienal) apresentaram maior diversidade, maior heterogeneidade espacial e menor similaridade entre os transectos. A análise de fractal revelou que tanto a comunidade de campo sujo como cerrado *sensu stricto* são espacialmente homogêneas e independente do substrato. Não foram observadas variações na heterogeneidade espacial em nenhum dos regimes de queima estudados, mesmo ao longo do tempo.

ABSTRACT

Among tropical savannas, the Cerrado of Central Brazil has the largest species richness and a high endemism. The habitat and floristic diversity that gives the savanna aspect to the Cerrado has been replaced by large extensions of cash crops and planted pastures. Generally the balance between woody and grass species, the two main elements of the Cerrado landscape, depends on the action fire, that due to the agricultural expansion, has been increasing in frequency. This study had for objective to evaluate the effects of fire on the grass community of the Cerrado. Two approaches were used to evaluate the effects of fire regimes in Cerrado grasses: changes in the community structure and composition, and changes in the spatial structure of the community. For the first approach, the experimental plots (4 ha each) of "campo sujo" (a grassland with scattered shrubs) of the "Projeto Fogo" (the Fire Project) of the Ecological Reserve of IBGE, located in Brasilia (Federal District, DF), were used. These plots are subjected to different fire regimes (every two years, in early, middle and late-dry season, every four years in the middle dry-season, and without burning). For the second approach, we used fractal analysis to compare the degree of community spatial heterogeneity in both the "campo sujo" plots of the Fire Project and in two additional plots of "cerrado *sensu stricto*" (a savanna woodland with a closed scrub and scattered trees) located in the experimental site of Embrapa-Cerrados Agricultural Research Center, in Planaltina (DF) (the Decade of the Tropics project). One of these plots (1.25 ha each) was burned every two years in the middle of the dry season between 1988 and 1994, while the other remained protected against fire. Both had not been burned for the previous 11 years before the experimental burning began. For both approaches species composition, richness and community structure were evaluated by the line transect method. The burned "campo sujo" plots of the Fire Project had higher densities of the most abundant species (*Echinolaena inflexa*, *Trachypogon spicatus* and *Schizachyrium tenerum*) in comparison to the unburned plot. Plots that were burned every two years, had an increase in the disproportion between the dominant species and those of intermediary abundance. On the other hand, their Shannon diversity index was significantly smaller than the unburned and the every four-year burn plots. Comparing the every two-year burn plots, we found that the diversity of the late burning plot was significantly smaller than the early burning plot. The plots that burned every two years tended to be more homogeneous, more similar and less diverse, than both the unburned and the every-four year burn plots. The fractal analysis revealed that both the "campo sujo" and the "cerrado *sensu stricto*" are homogeneous and spatially independent of the substract.

Capítulo 1

Introdução Geral

O Cerrado é a principal savana que ocorre ao sul do equador com aproximadamente 200 milhões de hectares. O campo sujo de cerrado, segundo Eiten (1972), apresenta uma camada lenhosa com cobertura inferior a 10% porém maior que zero sendo assim um sistema onde dominam as herbáceas. A toxicidade do alumínio, a baixa fertilidade do solo e a deficiência hídrica nos horizontes superficiais na época seca são considerados fatores limitantes do Cerrado (Haridasan, 1982) o que impede a formação de fisionomias florestais próprias de solos mais ricos (Eiten, 1990). O componente herbáceo pode ser considerado um elemento controlador do sistema, já que um dos fatores determinantes das savanas, o fogo, apenas ocorre se existe biomassa seca disponível para sua propagação.

O Cerrado é um ecossistema que reúne grande diversidade biológica e está sendo rapidamente fragmentado e ameaçado de perder sua biodiversidade, o que o torna uma área de grande atenção para tomadores de decisão da área ambiental (Conservation International *et al.* 1999; Mittermeier *et al.*, 1999). Dentre das savanas tropicais, o Cerrado possui a maior riqueza com altos índices de endemismo. Segundo Mendonça *et al.* (1997) o Cerrado possui 6.387 angiospermas. Apenas nos limites de Brasília, Filgueiras & Pereira (1993) encontraram 3 500 espécies de plantas. Aproximadamente 110 espécies de gramíneas já foram encontradas em fisionomias de Cerrado (Filgueiras 1991). No Distrito Federal foram encontradas

206 espécies nativas de gramíneas sendo 86 apenas de campo sujo de Cerrado (Filgueiras 1991).

A diversidade encontrada atualmente nos ecossistemas savânicos é o resultado da evolução convergente de diferentes estoques de fauna e flora (Solbrig, 1996). Datam do Mioceno Superior o aparecimento dos ecossistemas dominados por gramíneas na América do Sul (Jacobs *et al.* 1999) indicando inclusive uma coevolução entre a fauna herbívora e as gramíneas. Porém, as queimadas provavelmente tem sido um importante fator de seleção ao longo do tempo, pois há evidências das adaptações das plantas do Cerrado ao fogo (Solbrig 1996; Coutinho 1990) como casca grossa (Guedes, 1993; Eiten 1972), catáfilos que isolam as partes vegetativas (Rachid-Edwards 1956), lignotubos e órgãos subterrâneos que permitem a rebrota de algumas espécies (Rawitscher & Rachid 1946). A ocorrência de queimadas acidentais em áreas de savana, iniciadas por raios é registrada episodicamente (Blydenstein 1967, Coradin 1978, Coutinho 1990, Dias 1992). Estudos realizados na Chapada dos Veadeiros, em Goiás, que se utilizaram da contagem e datação de partículas de carvão, evidenciaram a ocorrência de 4 grandes incêndios entre 18.000 e 17.000 A.P (antes do presente) (Vicentini, 1999).

Apesar das queimadas serem eventos naturais no Cerrado o ser humano tem sido o principal causador das mudanças no regime de queima e conseqüentemente da paisagem. Quando o Brasil foi colonizado por Portugal a partir de 1.500, a primeira região a ser povoada foi a Mata Atlântica. Apenas em 1.700 é que o Cerrado conheceu os primeiros europeus que buscavam ouro e pedras preciosas (Klink *et al.*

1995). Após a colonização europeia houve um aumento na frequência de queimadas e diminuição na extensão da área afetada (Vicentini , 1999). Finalmente nos anos 1950 do século passado o Cerrado começou a sofrer intensa modificação antrópica, acelerada pela construção da nova capital federal (Brasília) no interior do estado de Goiás. Após o início dos governos militares em 1964, o Cerrado passou a ser a mais nova fronteira agrícola do Brasil com incentivos do governo (Klink *et al.* 1995). Desde então, o Cerrado vem sendo ocupado com extensas plantações de soja, arroz, trigo, algodão e café e pastagens plantadas para criação de gado. Estima-se que cerca de 40 a 45 % de sua área já tenha sido convertida e que 880 mil km² do Cerrado já tenham sido totalmente transformados até o ano 2000 (Klink *et al.* 1995).

Quase metade das pastagens plantadas no Brasil estão na região Centro-Oeste com 46 milhões de há segundo o Censo Agropecuário de 1996 do IBGE. A baixa rentabilidade do setor geralmente determina, especialmente entre os pequenos e médios pecuaristas, um baixo uso de tecnologias de manejo dos solos e pastagens, embora alternativas tecnológicas existam e estejam disponíveis (EMBRAPA 2001). De forma geral, o produtor ao implantar áreas de pastagens plantadas, quando muito, consegue fazer a correção do solo, porém não consegue ter o nível financeiro requerido para maneja-las através de adubações de manutenção e técnicas de manejo. Nesta situação e em algumas regiões do País, ainda se observa o uso de queimadas como forma de “*manejo e recuperação*” de pastagens no período seco, geralmente com drásticos efeitos subseqüentes sobre a conservação dos solos e dos demais recursos naturais (EMBRAPA 2001).

As queimadas em pastagens muitas vezes ultrapassam as fronteiras do campo invadindo áreas de Cerrado que deveriam ser protegidas do fogo. O impacto do fogo na vegetação dependerá da frequência da queimada (Moreno & Oechel 1991), da época em que ocorre (Auld & Bradstock 1996) e das características físicas do fogo (Miranda *et al.* 1993). Queimadas recorrentes diminuem o estabelecimento das espécies lenhosas (Moreira 2000), alterando por consequência a biomassa. A temperatura média do ar durante as queimadas prescritas realizadas por Miranda *et al.* (1993) variou entre 85 ° C e 840 ° C, sugerindo que o fogo, se usado com maior frequência, pode impor um microclima diferente para as plantas nestas áreas, quando comparado com intervalos mais longos (Dias *et al.* 1996); por isso o menor estabelecimento destas espécies mais sensíveis aos ambientes mais expostos. As queimadas podem também alterar indiretamente a floração de algumas espécies de gramíneas e sua reprodução assexuada, aumentando ou diminuindo a frequência das espécies na comunidade. *Andropogon semiberbis* tem um aumento na produção de sementes em áreas queimadas (Silva *et al.* 1990) e resposta similar foi observada em *Trachypogon filifolius* (Parron & Hay 1997). Na Venezuela, a remoção experimental de perfilhos que simula o efeito do fogo em gramíneas, causou uma diminuição significativa no número de perfilhos reprodutivos em *Trachypogon plumosus*, mas não em *Andropogon semiberbis* (Silva & Raventos 1999). Em campo sujo de Cerrado Miranda (1997) observou aumento na produção de sementes de *Echinolaena inflexa* em áreas queimadas bem como aumento de rebrotes via rizomas (reprodução assexuada). Ao mesmo tempo que o fogo pode indiretamente alterar a

freqüência ou a produção de sementes de algumas espécies pode não afetar a produção de combustível fino total acumulada no estrato herbáceo em áreas de campo sujo de Cerrado (Andrade 1998).

A liberação de novos nichos antes ocupados pelas lenhosas aumenta a proporção do estrato herbáceo, porém o aumento na freqüência de fogo pode não significar aumento na sua diversidade, já que as espécies de gramíneas respondem diferentemente a este distúrbio. Se o fogo modifica a produção de sementes e a reprodução assexuada, em gramíneas, podemos esperar mudanças na densidade de espécies e estrutura populacional, já que o fogo pode ser considerado um distúrbio determinante da biodiversidade (Klink & Solbrig 1996). Neste sentido o aumento das queimadas pode estar alterando a paisagem do Cerrado tornando-o cada vez menos arbóreo e mais herbáceo e homogêneo.

A maior contribuição para a perda de biodiversidade em ecossistemas terrestres provavelmente será devido às mudanças no uso da terra nos cenários projetados por Sala *et al.* (2000), seguidos pelas mudanças climáticas, deposição de nitrogênio, mudanças bióticas e elevação dos níveis de CO₂ na atmosfera. Nos trópicos a elevação de dois ou três graus poderá provocar microclimas mais secos. Com o uso do fogo como ferramenta de manejo de pastagens as queimadas acidentais, que ultrapassam os limites da área prevista a ser manejada neste ambiente mais quente e seco, pode aumentar e com isso áreas de Cerrado protegidas cada vez mais sofrerão queimadas. Quais poderiam ser as respostas no Cerrado frente estes

cenários futuros? Mais precisamente no estrato gramíneo que cobre cerca de 40% (Filgueiras & Wechsler 1992) das áreas de Cerrado?

Nas savanas neotropicais as gramíneas representam uma fração muito alta da biomassa total das plantas e por consequência os ciclos de energia e nutrientes estão ligados à sazonalidade das chuvas. Na seca, a disponibilidade de água para as gramíneas é reduzida. Com o fechamento dos estômatos para economizar água, diminui gradativamente a captura de CO₂ da atmosfera com o avanço da seca, e as espécies passam por um período de menor investimento em biomassa nesta época. O fluxo é restabelecido tão logo comecem as chuvas e as atividades fotossintéticas são retomadas sem restrições hídricas (Sarmiento *et al.* 1985). Estudos mostram que as espécies de gramíneas que coexistem nas savanas apresentam diferentes fenologias (Silva, 1985 ; Almeida 1995). *Leptocoriphium lanatum*, uma espécie precoce, apresenta uma taxa diária de transpiração máxima de 7.5 nmol.m⁻² s⁻¹, comparado com 12 nmol.m⁻² s⁻¹ de *Trachypogon vestitus*, uma espécie tardia (Goldstein & Sarmiento 1987). Um clima mais seco e um aumento na frequência de queimadas poderia acarretar na diminuição da densidade de espécies tardias como *T. vestitus* que tem uma taxa de transpiração maior e por isso necessitam mais deste recurso.

Distúrbios são frequentemente citados como um importante precursor para a invasão de um ecossistema (Crawley 1987, Burke and Grime 1996, Case 1996), geralmente por causar o aumento na disponibilidade de recurso. Segundo Symstad (2000) um distúrbio pode aumentar a predisposição de uma comunidade ser invadida por espécies exóticas se esta comunidade apresentar espécies não resistentes ao

distúrbio Os padrões espaciais e temporais das queimadas são importantes variáveis na escala de paisagem, porque eles determinam a sucessão e distribuição de idade das espécies. Espécies invasoras são uma ameaça à biodiversidade porque elas além de deslocar espécies nativas podem mudar as condições microclimáticas, as características do solo, os regimes de fogo e a disponibilidade de recursos para a fauna (Anable *et al.* 1992; D' Antonio & Vitousek 1992 ; Nilsson & Grelsson 1996; Pivello *et al.* 1999).

Um dos parâmetros para avaliar a instabilidade de um ecossistema é o nível de infestação por espécies invasoras (Filgueiras 1990, Nilsson & Grelsson 1996). Collins (2000) estudando a estabilidade de uma comunidade gramínea das pradarias norte-americanas, submetida a queimadas com diferentes frequências, sugeriu que a instabilidade encontrada resultou de fortes interações bióticas entre persistência temporal de espécies e a dinâmica estocástica entre espécies infrequentes. Os argumentos para a conservação das espécies estão baseados nas teorias de que elas maximizam as funções e estabilidade dos ecossistemas. Wilsey & Potvin (2000) mostraram que a redução em pequena escala da diversidade local de plantas em campos do Quebec, diminuindo a equitabilidade da comunidade, leva a uma redução indireta da produtividade primária total. Isto mostra claramente que a perda da diversidade pode acarretar na redução dos fluxos de energia do ecossistema e ciclagem de nutrientes.

Na tentativa de compreender melhor as respostas da comunidade de gramíneas ao fogo, este projeto teve por objetivo avaliar como as queimadas alteram

a composição e estrutura da comunidade de gramíneas de Cerrado. Para tal avaliamos as modificações sofridas em áreas de campo sujo quando submetidas à diferentes regimes de queima, tanto por frequência (bienal, quadrienal e sem queima) como por época de queima (junho, agosto e setembro). Para complementar este estudo, avaliamos as modificações sofridas em uma área de cerrado "senso stricto" que sofreu queima bienal e foi acompanhadas ao longo de 7 anos. Desta forma pudemos avaliar os efeitos do fogo na comunidade de gramíneas tanto no longo prazo quanto o efeito dos regimes de queima distintos, na tentativa de responder às seguintes questões:

1. Existe mudança na composição e estrutura das gramíneas entre áreas com regimes de queimada distintos?
2. Se isso ocorre quais espécies estão sendo beneficiados?
3. Quais seriam as implicações para a comunidade com esta mudança de estrutura?

Referências

- Almeida, S. P. de 1995. Grupos fenológicos da comunidade de gramíneas perenes de um campo cerrado no Distrito Federal, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 30:1067-1073.
- Anable, M. E., M. P. McClaranand, e G. B. Ruyle. 1992. Spread of introduced Lehmann lovegrass *Eragrostis lechmanniana* Ness in southern Arizona, USA. *Biological Conservation* 61(3): 181-188.

- Andrade, S. M. DE A. 1998. Dinâmica do combustível fino e produção primária do estrato rasteiro de áreas de campo sujo de cerrado submetidas a diferentes regimes de queimas. Dissertação de mestrado UnB.
- Auld, T. D. & Bradstock R. A. 1996. Soil Temperatures after the passage of fire: Do they influence the germination of burried seeds? *Australian Journal of Ecology* **21**, 106-109.
- Blydenstein, J. 1967. Tropical savanna vegetation of the Lhanos of Colombia. *Ecology* **48**(1):1-15.
- Burke, M. J. W., & Grime, J. P. 1996. Experimental study of plant community invasibility. *Ecology* **77**: 776-790.
- Case, T. J. 1996. Global patters in the establishment and distribution of exotic birds. *Biological Conservation* **78**:69-96.
- Collins, S. L. 2000. Disturbance frequency and community stability in native tallgrass praire. *American Naturalist* **155** (3): 311-325.
- Conservation International do Brasil, Funatura, Fundação Biodiversitas, Universidade de Brasília. 1999. *Ações prioritárias para a conservação da biodiversidade do Cerrado e Pantanal*. Brasília: CNPq, MMA, Banco Mundial, GEF.
- Coradin, L. 1978. The grasses of the natural Savnnas of the Federal Territory of Roraima, Brazil. New York, Herbert H. Lehman College, 333p. Teses Mestrado.

- Coutinho, L. M. 1990. Fire in the ecology of Brazilian Cerrado. In: J. G. Goldammer (ed): Fire in the tropical biota. Springer-Verlag, Berlin. pp 82-105.
- Crawley, M.J. 1987. Whats makes a community invadable? In: *Colonization, succession and stability*. A. J. Gray., M. J. Crawley and P. J. Edwards (eds). Blackwell, Oxford, UK. 429-454pp.
- D' Antonio, C. M., & P. M. Vitousek 1992. Biological invasions by alien grasses, the grass/fire cycle and global change. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **23**:63-87.
- Dias, I. F. O., Miranda, A. C. & Miranda, H. S. 1996. Efeitos de queimadas no microclima de solos de campos de cerrado-DF/Brasil. In: *Impactos de queimadas em áreas de Cerrado e Restinga*. H. S. Miranda; C. H. Saito & B. F. de S. Dias (eds). Anais do Simpósio das queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. pp:11-19.
- Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38:201-341.
- Eiten, G. 1990. Vegetação do cerrado. In: M.N.Pinto(Ed.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectives. Editora Universidade de Brasília, Brasília D.F., 9-65.
- EMBRAPA. 2001. Alternativas para a prática das queimadas na agricultura. Recomendações Tecnológicas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília. 70p.
- Filgueiras, T. S. 1990. Africanas no Brasil: gramíneas introduzidas da África. *Cad. Geociências*, Rio de Janeiro 5: 57-63.
- Filgueiras, T. & B. S. Pereira. 1993. Flora. In: M. N. Pinto (Ed.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectives. Editora Universidade de Brasília, Brasília D.F., 345-404.

- Filgueiras, T. S. 1991. A floristic analysis of the gramineae of Brazil's Distrito Federal and list of the species occurring in the area. *Edinb. J. Bot.* **48** (1): 73-80.
- Filgueiras, T.S. & F. S. Wechsler. 1992. Pastagens nativas. In: B. F. de S. Dias (Coord): Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: Manejo e conservação dos recursos renováveis. FUNATURA-IBAMA, Brasília. Pp. 47-49.
- Goldstein, G. e Sarmiento, G. 1997. Water. Water relations of trees and grasses and their consequences for the structure of savanna vegetation. In: Walker B. H. (ed) *Determinants of tropical savannas*. IUBS Monogr Ser 3, Irl Press, Oxford. 13-38.
- Guedes, D. 1993. Resistência das árvores do cerrado ao fogo: papel da casca como isolante térmico. Tese de Mestrado. Universidade de Brasília.
- Haridasan, M. 1982. Aluminium Accumulation by Some Cerrado Native Species of Central Brazil. *Plant and Soil*, **65**:265-273.
- Jacobs, B. F., Kingston & Jacobs L.L. 1999. The origin of grass-dominated ecosystems. *Ann. Missouri Bot. Gard.* **86**:590-643.
- Klink, C. A. & Solbrig, O.T. 1996. Efeito do fogo na biodiversidade de plantas do cerrado. In: *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina*, G. Sarmiento, M. Cabido (eds.) Cytel y Cielat, Venezuela. p. 230-244.

- Klink, C. A., R. H. Macedo & C. C. Mueller. 1995. De grão em grão o cerrado perde espaço. WWF-PRÒ_CER, Brasília.
- Mendonça, R.C. de, J.M. Felfili, B.M.T. Walter, M.C.da Silva Júnior, A.V. Rezende, T.S. Filgueiras, & P.E. Oliveira. 1997. Flora vascular do Cerrado. In: S.M. Sano and P. Almeida (Eds.). Cerrado: Flora, homem e ambiente. Embrapa Cerrados, Planaltina, D.F., pp. 217-396.
- Miranda, A. C., Miranda, H. S., Dias, I. DE F. O. & Dias, F. S. 1993. Soil and air temperatures during prescribed cerrado fires in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 9:313-320.
- Miranda, M. I. 1997. Colonização de um campo sujo por *Echinolaena inflexa* (Poiret) Chase (Poaceae). Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 77pp.
- Mittermeier, R.A., Myers, N. & Mittermeier, C.G. 1999. Hotspots. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. CEMEX & Conservation International. Mexico City, Mexico. 430p.
- Moreira, A. G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography* 27: 1021-1029.
- Moreno, J. M. & Oechel, W. C. 1991. Fire intensity effects on germination of shrubs and herbs in southern California chaparral. *Ecology* 72 :1993-2004.
- Nilsson, C., & G. Grelsson. 1996. The fragility of ecosystems: a review. *J. Appl. Ecol.* 32: 677-692.

- Parron, L. M. & Hay, J. D. 1997. Effect of fire on seed production of two native grasses in the Brazilian cerrado. *Ecotropicos* **10**(1):1-18.
- Pivello, V. R., Carvalho, V. M. C., Lopes, P. F., Peccinini, A. A., and S. Rosso. 1999. Abundance and Distribution of Native and Alien Grasses in a "Cerrado" (Brazilian Savanna) Biological Reserve. *Biotropica* **31** (1): 71-82.
- Rachid-Edwards, M. 1956. Alguns dispositivos para proteção de plantas contra a seca e o fogo. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, USP*, 209, *Botânica* **13**:39-68.
- Rawitscher, F. & Rachid, M. 1946. Troncos subterrâneos de plantas brasileiras. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **18**: 261-280.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M. & Wall, D. H. 2000. Biodiversity- Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* **287** (5459): 1770-1774.
- Sarmiento, G., Goldstein, G. & Meinzer, F. 1985. Adaptive strategies of woody species in tropical savannas. *Biol. Rev.* **60**: 315-355.
- Silva, J. F. 1985. Responses of savannas to stress and disturbance: species dynamics. In: *Determinants of tropical savannas*. B. H. Walker (ed.). IUBS Monograph Series No. 3. IRL Press. pp:141-156.
- Silva, J. F., & Raventos, J. 1999. Effects of end dry season removal on the growth of three savanna grasses with different phenologies. *Biotropica* **31**: 430-438.

- Silva, J. F., Raventos, J. & Caswell, H. 1990. Fire and fire exclusion and survival of two savannas grasses. *Acta Oecologica* **11**:783-800.
- Solbrig, O. T., Medina, E., & Silva, J. F. 1996. Determinants of Tropical savannas. In *Biodiversity and savanna ecosystem processes*. O. T. Solbrig, E. Medina and J. F. Silva (eds). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 233pp.
- Symstad, A. J. 2000. A test of the effects of functional group richness and composition on grassland invasibility. *Ecology* **81** (1): 99-109.
- Vicentini, K. R. F. 1999. História do Fogo no Cerrado: uma análise palinológica. Dissertação de doutorado. Universidade de Brasília. 129p.
- Wilsey, B. J. & Potvin, C. 2000. Biodiversity and ecosystem functioning: importance of species evenness in a old field. *Ecology* **81** (4): 887-829.

Capítulo 2

Variações na composição e na estrutura das populações de gramíneas de campo sujo de Cerrado submetidas a diferentes regimes de queima

Introdução

A importância de se discutir e estudar a biosfera é clara quando levamos em conta a reposta ambiental das mudanças globais sobre a sociedade (Berry 1990). Menos clara é a conservação e a extinção da diversidade de espécies no planeta. Entretanto os ecólogos estão mais e mais mostrando evidências que as mudanças globais e a biodiversidade estão intimamente relacionadas e dependentes. As mudanças ambientais pretéritas demonstraram que a biodiversidade tanto respondeu quanto causou mudanças no meio ambiente (Chapin III *et al.* 2001). A urgente necessidade da proteção da biodiversidade fez com que ela entrasse na agenda dos principais centros de pesquisa de todo o mundo. Embora existam muitos trabalhos publicados não existe um consenso dos cientistas entre as relações da biodiversidade com os processos dos ecossistemas.

No Cerrado, considerada a savana mais rica do mundo, estima-se que mais de 40% das espécies de plantas lenhosas existentes nesse bioma sejam endêmicas (Conservation International *et al.* 1999). Considerado uma das últimas fronteiras agropecuárias, o Cerrado foi extensamente modificado (Klink & Moreira 2002). Hoje apenas uma terça parte do bioma encontra-se num estado considerado pouco antropizada (Conservation International *et al.* 1999). Desde a colonização do Brasil

pelos portugueses, a expansão agrícola na região se dá através da conversão de áreas naturais. De 1985 a 1990 a área colhida no Cerrado aumentou 6,5% e o processamento de soja no centro-oeste cresceu 150% de 1988 a 1990. Na década de 90 esta tendência de expansão continuou, superando todos os índices históricos de conversão ocorrida no Cerrado (Rodrigues 2001).

Entre as principais pressões e impactos antrópicos sobre os ecossistemas naturais, estão o desmatamento e as queimadas (Dias 2001). No Cerrado o intervalo de ocorrência de queima varia de 1 a 3 anos (Eiten 1972) e é considerado como um dos determinantes dos tipos fitofisionômicos que vão desde campo limpo até cerradão (Coutinho 1990). As respostas do Cerrado ao aumento deste distúrbio têm mostrado que cada fitofisionomia é impactada diferentemente, mas existe um consenso que a proteção contra queimadas aumenta a proporção de elementos lenhosos em todas as fitofisionomias de Cerrado (Moreira 2000, Sato *et al.* 1998, Hoffmann 1998). Quando se compara duas fitofisionomias abertas de Cerrado (por exemplo, campo sujo), observa-se no campo que as áreas protegidas do fogo apresentam maior proporção de elementos lenhosos (Moreira 2000). Quando as queimadas são frequentes, pode resultar em alta mortalidade do estrato lenhoso tanto de indivíduos adultos (Ramos 1990, Sato *et al.*, 1998) quanto plântulas (Hoffman 1998). Ou seja, quanto se tornam frequentes, as queimadas raleiam a paisagem.

A dinâmica do estrato herbáceo segue a sazonalidade típica das savanas onde durante a estação chuvosa as gramíneas aumentam sua biomassa e na estação seca, por estarem inativas, esta biomassa aérea morre e seca em grande parte (Klink &

Solbrig 1996). Para a propagação do fogo o principal combustível fino de áreas de campo sujo de Cerrado são formados por gramíneas, o que faz com que o comportamento do fogo esteja diretamente relacionado com a dinâmica do estrato graminoso (Andrade 1998).

Após o fogo, o estrato herbáceo-arbustivo apresenta uma regeneração rápida principalmente via sistema subterrâneo como rizomas e xilopódios (Ramos 1990, Ramos & Rosa 1992, Miranda 1997). Para algumas espécies de gramíneas o fogo pode aumentar a densidade de indivíduos tanto por rebrote via rizomas como estabelecimento de plântulas vindas da germinação de sementes (Miranda 1997). Queimadas bienais aumentam a frequência e a densidade de monocotiledôneas no banco de sementes, principalmente de gramíneas, em áreas de campo sujo. Ao contrário, a proteção aumenta o banco de sementes das dicotilidôneas e diminui das monocotiledôneas (Andrade 2002). Também foi verificado que diferentes regimes de queima não alteram a composição de combustível fino do campo sujo, e as gramíneas representaram cerca de 70% do total. Por outro lado, a proteção diminuiu a produção primária (Andrade 1998). Logo o fogo pode estar alterando a diversidade das espécies herbáceas, principalmente as gramíneas.

A diversidade biológica de uma comunidade ecológica pode ser mensurada através de índices. Cada índice tenta capturar aspectos diferentes da estrutura das espécies componentes da biodiversidade, através de funções, que segundo Rényi (1961), são medidas de entropia. A entropia, conforme descrita no mais conhecido índice de diversidade, o índice de Shannon, é um caso especial de Rényi, e é

derivada de uma fórmula geral. Desta forma, à medida que a ordem varia, medidas diferentes de entropia são encontradas. A segunda Lei da Termodinâmica afirma que a entropia é baixa em sistemas ordenados e alta em sistemas desordenados. Uma maneira fácil de entendermos esta lei é imaginar uma caixa cheia de gases onde a tendência natural será que eles se misturem e não que cada gas ocupe uma porção do volume total, assim a entropia dentro da caixa tenderá a sempre aumentar com a mistura dos gases. Na verdade a vida é “uma luta constante” contra a segunda lei da termodinâmica pois a tendência do universo é aumentar sua entropia e portanto aumentar sua desordem. O fato do aumento da entropia estar aliado à estabilidade e a imprevisibilidade, faz da entropia um alicerce da teoria da diversidade biológica (Anand & Orlóci 1996).

Neste Capítulo buscamos compreender o efeito do fogo na composição e estrutura da comunidade de gramíneas do Cerrado, comparando as modificações entre áreas de campo sujo que sofrem regimes distintos de queimadas prescritas, seja pela frequência (bianual, quadrienal e sem queima) ou pela época de queima (junho, agosto e setembro).

Material e Métodos

A entropia $H(S)$ para um determina do valor de q , é máximo quando todos os componentes têm igual representação (equitabilidade alta) e mínimo quando todos os componentes exceto um estão representados por um indivíduo:

$$H\alpha(S) = \frac{1}{1-\alpha} \log_2 \sum_{j=1}^q p_j^\alpha \quad \text{bits}$$

Equação (1)

onde α é a ordem da entropia ($H(S)$); p_j é a proporção do componente j que varia entre 1 e q (número de componentes).

Quando α é igual a zero a equação 1 define o índice de riqueza de espécies. Fazendo α igual a 1, obtém-se o índice de Shannon e, finalmente, quando α é igual a 2 extraímos o índice de Simpson. Portanto Rényi define que a entropia de Shannon é de primeira ordem. Já entropia no índice de Simpson é de segunda ordem e o índice de riqueza de espécies é uma medida de entropia de ordem zero.

O índice de Shannon é derivado da probabilidade de se obter uma seqüência de espécies pré-determinada contendo todas as espécies da amostra, e expresso pelo logaritmo da raiz à enésima (N = número total de indivíduos da amostra) desta probabilidade. O índice de Simpson varia entre 0 e 1 e dá a probabilidade de dois indivíduos de uma população tirados randomicamente serem de uma mesma espécie. Se esta probabilidade é alta, a diversidade da daquela comunidade é baixa (Ludwig & Reynolds 1988). Este índice é muito influenciado pelas espécies mais abundantes e portanto pouco sensível às espécies que aparecem com apenas um indivíduo na amostra. Tem sido o mais freqüentemente usado em ecologia de comunidades. Hill (1973) apresentou uma série de índices de diversidade (números de Hill), que representam o número efetivo de espécies numa amostra. Estes números são a medida do grau de proporcionalidade da abundância distribuída entre as espécies. Os

números de Hill diferem apenas na tendência de incluir ou ignorar espécies raras na amostra. A interpretação destes números causam menos confusão que outros índices: $N_{-\infty}$ é o número total de indivíduos da amostra, N_0 é o número de espécies encontrado na amostra, N_1 mede o número de espécies abundantes, com abundância média e muito abundantes na amostra, N_2 mede o número de espécies abundância média e muito abundantes e $N_{+\infty}$ mede o número de espécies muito abundantes. Desta forma podemos identificar mudanças na estrutura de uma comunidade ecológica através da análise do número de espécies abundantes que vão desaparecendo ou sendo incorporadas de N_1 para $N_{+\infty}$. Existe uma relação entre os números de Hill e diversos índices de diversidade segundo Kempton (1979): N_1 pode ser comparado ao índice de Shannon, N_2 ao índice de Simpson e $N_{+\infty}$ ao índice de Berger Parker. Segundo Orlóci (2001) a biodiversidade é mensurável e ao mesmo tempo analiticamente divisível em termos de causas verdadeiras para as quais ela revela uma resposta. Ou seja, a maneira e a variação temporal em que os componentes da comunidade ou sistema, tangíveis e não tangíveis, estão arranjados fazem parte da estrutura da biodiversidade. Estas propriedades são dependentes das escalas espaço - temporais onde estão inseridas a comunidade ou o sistema definido.

O uso de análise da abundância por espécie para estudos de comunidade ajuda a descrever os padrões e comportamento da mesma no seu ambiente (Ludwig & Reynolds 1988; Magurran 1988). O acúmulo de estudos com dados de abundância por "ranking" de espécies mostrou que certas comunidades apresentavam o mesmo padrão, o que levou ao desenvolvimento dos modelos de abundância de espécies

(May 1975, Whittaker 1965). O conceito de nicho ecológico (Whittaker 1972) como o uso dos recursos por uma espécie passou a ser usado para relacionar a organização da comunidade com os padrões encontrados nos modelos de abundância (Ludwig & Reynolds 1988; Magurran 1988).

Colocado deste modo, cada modelo descreve um padrão de uso de recursos pela comunidade. Por exemplo a "Série Geométrica", apresenta poucas espécies dominantes e há uma proporcionalidade entre as espécies e a quantidade de recursos disponíveis; esta série ocorre geralmente onde espécies chegam a um habitat insaturado, em intervalos regulares de tempo e ocupam as frações restantes de nichos no hiperespaço. Um padrão "Série Logarítmica" é a resultante quando os intervalos entre a chegada das espécies for mais randômico que regular (May, 1975). A maioria das comunidades estudadas por ecólogos apresenta um padrão "Log-normal" de abundância de espécies (Sugihara, 1980), pois prevê que grande parte das espécies apresente pequena abundância e poucas apresentam alguma dominância (Whittaker, 1972).

Quando uma comunidade não parece estar submetida a uma variação ambiental ou espacial explícita e deseja-se revelar as relações entre as diferentes populações, as ordenações são técnicas usadas pelos ecólogos de comunidades a fim de encontrar ordens naturais dentro de um conjunto de dados (Pielou 1984). Por outro lado a análise de correspondência linearizada (DECORANA) é um método que permite extrair os eixos de maior variação de uma matriz, mas com a condição de que a dispersão das variáveis ao longo dos eixos seja máxima (Fariñas 1996). No

caso da análise de vegetação os eixos refletem a composição florística, os quais se supõe revelam a existência de gradientes ambientais. O uso destas análises pode então revelar semelhanças entre grupos de espécies e mostrar a variação dentro e entre comunidades.

Na tentativa de entender como um ecossistema funciona e se mantém, são necessárias duas definições básicas. Quais seus elementos ou componentes? Como estes elementos interagem? A diversidade é apenas um elemento que compõe a complexidade de um sistema (Anand & Orlóci 1996). Segundo os autores a complexidade estrutural ($\Delta(S)$) é a diferença entre a complexidade total ($L(S)$) (equação 2) e a entropia ($H(S)$) (equação 1), onde $L(S)$ representa um código que descreve a composição momentânea da comunidade e a entropia é dada por uma equação geral onde pode-se extrair o índice de Shannon (Entropia de Rényi, equação 1, conforme descrito acima). A função do código é condensar a mensagem (informação) de forma a simplificar sua transmissão sem perder sua integridade. Este código é extraído dos dados da composição dos componentes (espécies, grupos funcionais, etc...) e suas quantidades. O que diferencia $L(S)$ da entropia $H(S)$ é que eventos com baixa probabilidade de ocorrência (espécies raras) possuem códigos maiores que eventos com alta probabilidade de ocorrência (espécies comuns). Ou seja quanto menor a frequência de uma espécie, maior será seu $L(S)$.

$$L(S) = \sum_{j=1}^q p_j l_j \text{ bits}$$

Equação(2)

Onde L_j é o comprimento do código (número de símbolos binários) da quantidade relativa P_j para a espécie S_j e q é o número de espécies.

A entropia na verdade está contida no código $L(S)$:

$$L(S) \geq H(S)$$

Deste modo a complexidade estrutural de uma comunidade pode ser definida por:

$$\Delta(S) = L(S) - H(S)$$

Além das relações já mencionadas, Anand e Orlóci (2000) alertam que $\Delta(S)$ aumenta quando pelo menos uma espécie exerce dominância na comunidade. Esta relação se deve ao fato de que $L(S)$ é muito sensível à presença de altas ou baixas probabilidades. Assim a interpretação de $\Delta(S)$ pode não ter uma única interpretação biológica e deve ser examinada caso a caso. Os autores sugerem que a complexidade é afetada pelo número de espécies e relacionada à suas características emergentes, ou seja, a perda ou ganho de espécies deve ser avaliada nas suas conseqüências potenciais em todos os componentes da complexidade. De acordo com estes autores, quando espécies entram numa comunidade, a pressão para organização e o estabelecimento da estrutura aumentam e a sustentabilidade das mudanças dos arranjos se torna muito mais difícil. O fato da complexidade estrutural $\Delta(S)$ tender a se estabilizar apesar da variação de $H(S)$ e $L(S)$ no tempo ($\Delta(S)$) é uma propriedade

estável. Mandelbrot (1982) definiu como estruturas fractais aquelas que se repetem ao longo das escalas, se então $(\Delta(S))$ não varia com a escala talvez seja uma estrutura fractal (Anand & Orłóci 1996).

O Projeto Fogo

Este é um projeto de longa duração que visa interligar tematicamente diversas escalas de estudo através de estudos dos principais fatores bióticos e abióticos que influenciam a estrutura e funcionamento do Cerrado. A hipótese central é que a interação entre o fogo, a variabilidade climática (especialmente a disponibilidade de chuvas) e recursos (disponibilidade de nutrientes) são os fatores responsáveis pela estrutura e funcionamento do Cerrado. O desenho experimental do projeto inclui o manejo experimental da frequência de queimadas (controle, bienal e quadrienal) em três fitofisionomias de Cerrado (cerrado denso, cerrado *senso stricto* e campo sujo). Estão envolvidos neste projeto pesquisadores da UnB, do IBGE, do IBAMA, da Embrapa Cerrados, do INPE, USP, do Jardim Botânico de Brasília, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, do Serviço Florestal do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, The Woods Hole Research Center, NASA e de várias universidades estrangeiras.

ÁREA DE ESTUDO

O Projeto Fogo está localizado na Reserva Ecológica do IBGE à 35 km ao sul de Brasília (15°56'41" S e 47°51'02" W) (Figura 1). A altitude local varia de 1130 a

1160 m com uma declividade de 3,5%. O clima é caracterizado pela estacionalidade pluviométrica, a estação chuvosa que se prolonga de setembro a março e a estação seca de abril a agosto. A precipitação média anual é de 1.491 mm, a temperatura máxima é 29,3 °C e a mínima é 12,0 °C. O solo é pobre em nutrientes (é caracterizado como latossolo vermelho-amarelo), distrófico, bem drenado, e com alto teor de argila.

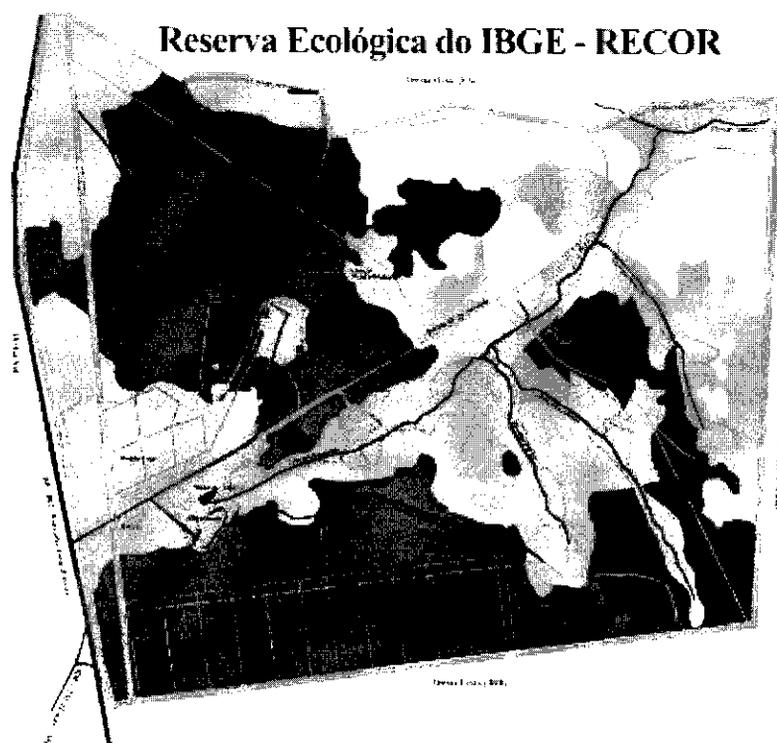


FIGURA 1: Mapa da Reserva Ecológica do IBGE. As parcelas grifadas em vermelho correspondem às parcelas de campo sujo do Projeto Fogo, local do presente estudo. As parcelas estão separadas apenas por estradas corta fogo. As duas parcelas localizadas na parte superior da figura correspondem à quadrienal, à esquerda da figura, e à bienal modal, à direita da figura. O pequeno triângulo ao lado da bienal modal não é uma parcela experimental. As três parcelas contíguas logo abaixo da quadrienal e

da bienal modal são da esquerda para a direita nesta ordem: bienal tardia, bienal precoce e controle (sem queima). Figura extraída do site da RECOR <http://www.recor.org.br/>

ÁREAS EXPERIMENTAIS

A área onde foram estabelecidas as parcelas era uma área de campo sujo sem nenhum aceiro ou divisa estava protegida de queima há 12 anos desde que a fazenda foi desapropriada e transformada em Reserva Ecológica do IBGE. Quando da implantação do Projeto foram feitos então os aceiros e as ruas que separam uma parcela da outra. Portanto partimos da premissa que a única diferença entre estas áreas experimentais é o regime de queima já que na realidade faziam parte de uma única área.

O experimento está sendo conduzido desde 1989, em quatro áreas de campo sujo de Cerrado protegidas do fogo por 4 e 2 anos, cada área possui 4 ha (200 m x 200 m), bem como uma parcela “controle” de 4 ha protegida do fogo por 26 anos. Estas áreas foram submetidas a diferentes regimes de queima, para simular diferentes formas de manejo:

- **Sem queima** (“controle” - 26 anos sem queima) - é o regime proposto nos planos de manejo dos Parques Nacionais do Cerrado; permitiria a sucessão da vegetação do cerrado em direção ao cerradão (IBAMA 1989).
- **Queima quadrienal modal** (realizada na primeira quinzena de agosto) é o regime proposto para avaliar impacto de intervalos mais longos de queima.
- **Queima bienal precoce** (realizada na segunda quinzena de junho) - é o regime alternativo para eliminar o excesso de combustível, evitando grandes incêndios

acidentais, permitindo o controle de capins invasores e disponibilidade de alimento para fauna durante a seca.

- **Queimada bienal modal** (realizada na primeira quinzena de agosto) - é o regime de queima predominante no Cerrado.
- **Queima bienal tardia** (realizada na segunda quinzena de setembro) - provavelmente é o regime de queima que maior impacto causa na vegetação, devido ao padrão fenológico da vegetação que apresenta pico de renovação das copas e reprodução durante a primavera.

O campo sujo segundo Eiten (1972), é um tipo de forma savânica mais rala, não implicando determinada flora ou condições ecológicas, usado apenas como categoria fisionômica pura. Como uma forma savânica, o campo sujo apresenta uma estrato lenhoso (plantas lenhosa que se destacam do estrato gramíneo dominante) com cobertura inferior à 10% porém maior que zero. Ocorre sobre terreno plano e com solos profundos ou não de baixa fertilidade.

Todas as queimadas prescritas são realizadas à favor do vento, com auxílio da Brigada de Combate à Incêndios da RECOR IBGE (www.recor.org.br).

Coleta de dados

Para avaliar o impacto dos diferentes regimes de queima na comunidade de gramíneas, levantamentos florísticos foram realizados através do uso do método da linha nas cinco parcelas de campo sujo do Projeto Fogo. Este método consiste em estender uma linha no campo e todos os indivíduos que a tocam ou estão abaixo do

seu plano vertical, são contados. Os indivíduos são contados a cada metro. Em cada parcela, quatro linhas (transeções) não permanentes de 50 m cada foram extendidas aleatoriamente, totalizando 200 m por área. O comprimento das linhas foi determinado segundo as curvas de espécie área (Figura 2). As linhas não foram permanentes para que fosse possível levantar o maior número de ambientes dentro de cada área, já que por observação de campo muitas espécies ocorrem em manchas. Cada área foi plotada em gráfico quadricular sendo que cada quadrado media 1 metro. Os quadrados foram numerados sequencialmente. A escolha do local onde cada linha seria estendida foi baseada numa tabela de números aleatórios. Foi desconsiderado o espaço que perfazia o início da vegetação até 5 metros entrando na parcela para evitar o efeito de borda. Não houve superposição de linhas em nenhum dos três levantamentos realizados.

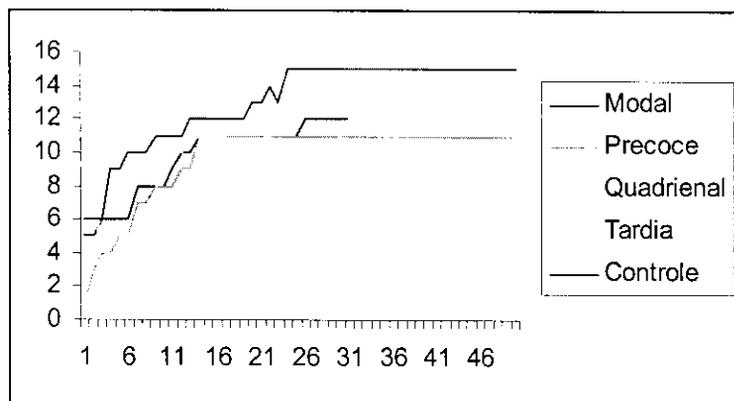


Figura 2: Curva de espécie / área para campo sujo de Cerrado.

Dados coletados nas parcelas do Pprojeto Fogo na Resrva Ecológica do IBGE em Abril de 1999.

Os indivíduos que entraram na contagem e não foram identificados de imediato foram coletados para identificação posterior em herbáreo. Foram anotados o tipo arquitetural, as características de tonalidade das partes aéreas (folha, perfilho e limbo), e presença de rizomas. Foram coletadas no mínimo dois espécimens de cada espécie, sendo que uma ficou sob a posse da pesquisadora e a segunda foi depositada no herbáreo da UnB. Cada amostra foi individualizada e levada à estufa por 48 horas. Nas etiquetas foi anotado tanto as características observadas no campo como as que não se perdem após prensadas. A identificação do material botânico foi feita pela pesquisadora Regina da Silva Borges (EMBRAPA-Recursos Genéticos e Biotecnologia). Além da contagem de espécies e indivíduos foi anotado seu estado reprodutivo.

Foram realizados 3 levantamentos durante o período das chuvas com 10 a 8 meses depois da queima.

1. No final da estação chuvosa, no mês de abril de 1999;
2. No meio da estação chuvosa, no mês de dezembro de 1999;
3. No final da estação chuvosa, no mês de abril de 2001;

A escolha destas épocas foi feita com base na fenologia das espécies de gramíneas que apresentam tipos fenológicos distintos (Almeida 1995):

- Precoces do ciclo curto: espécies que iniciam a floração no início da estação chuvosa, que dura de um a dois meses;
- Precoces do ciclo longo: espécies que florescem em geral a partir de novembro e seu ciclo reprodutivo varia de cinco à dez meses;

- Tardias: espécies cujo ciclo reprodutivo se inicia no meio da estação chuvosa e se completa na estação seca.

Análise estatística

Os resultados dos inventários feitos nas áreas de campo sujo de Cerrado nas parcelas de campo sujo do Projeto Fogo foram analisados inicialmente de forma descritiva para comparação entre as áreas. Os dados foram armazenados em matrizes de espécies por segmento em planilhas Microsoft Excel. À partir destas matrizes, foram calculadas as frequências e a densidade de cada espécie tanto por segmento quanto por área. Os Modelos de abundância foram extraídos das frequências das espécies e para testar as diferenças na abundância das espécies entre os tratamentos usamos o χ^2 (Sokal & Rohlf, 1981). Para avaliar a comunidade entre os tratamentos utilizamos análise multivariada dos Índices de Diversidade de Shannon por segmento para cada área (Sokal & Rohlf 1981). Para avaliar a similaridade entre as áreas foi utilizado análise de agrupamentos de similaridade entre áreas para os três levantamentos por critério de variância mínima a partir dos dados de frequência de espécies utilizando o programa PC-ORD 4,0 (Mc Cune & Mefford, 1977). Para avaliar o efeito do fogo nas mudanças da estrutura da comunidade utilizou-se uma ordenação das unidades amostrais (na dimensão das espécies) pelo método DECORANA, com o auxílio do programa PC-ORD 4,0 (Mc Cune & Mefford, 1997).

Para avaliar a complexidade da comunidade foi utilizado o modelo proposto por Anand & Orlóci (1996) utilizando o pacote estatístico "Multiv" para estudos de comunidade, desenvolvido pelo Dr. Valério Pillar do Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Resultados

Os 6.363 indivíduos amostrados no primeiro levantamento pertencem a 16 gêneros e 29 espécies (Tabela 1). A riqueza entre as áreas variou entre 16 e 22 espécies. Os 6.891 indivíduos amostrados no segundo levantamento pertencem a 19 gêneros e 32 espécies com uma variação ainda menor entre as parcelas de 19 a 21 espécies. No terceiro levantamento 6.670 indivíduos foram amostrados, distribuídos entre 16 gêneros e 27 espécies, com uma variação entre as parcelas de 19 a 24 espécies. Somente 15% dos indivíduos foram identificados no nível genérico, 2,5% até família e 7% não foram identificados. Estes foram morfotipados e após comparação com todas as espécies, considerados no âmbito geral para o número de espécies apresentadas. Houve portanto variação tanto no número de indivíduos amostrados quanto de espécies encontradas. Esta variação por área mostra a importância dos segmentos não terem sido fixos já que algumas espécies estão localizadas em manchas dentro das áreas. Por exemplo, existe uma mancha de capim gordura (*Melinis minutiflora*) na área sem queima, porém não foi amostrada no primeiro levantamento.

Na área controle foram amostradas 30 espécies nos três levantamentos (Tabelas 2, 3 e 4), na quadrienal 31 espécies, na precoce e na modal 27 espécies e na tardia 26. O gênero *Paspalum* foi o que mais contribuiu com número de espécies, mas as mais abundantes foram *Echinolaena inflexa*, *Trachipogon spicatus*, *Schizachyrium tenerum* e *Paspalum gutatum* em todos os levantamentos. *Paspalum amodes* não foi amostrado na área precoce em nenhum dos três levantamentos; *Schizachyrium microstachium* não foi observado na modal; o capim gordura não foi observado na quadrienal, na precoce e na modal. Na tardia foram observados poucos indivíduos no primeiro e no segundo levantamento. *Mesosetum looliforme* não foi amostrado na área controle e na quadrienal. *Paspalum explendens* foi amostrado apenas no 1 e 3 levantamentos no controle e na quadrienal com uma frequência muito baixa. Nas outras áreas ele não foi amostrado. *Paspalum stelatum* foi amostrado no controle, na quadrienal e na tardia igualmente com frequência muito baixa. Algumas espécies menos frequentes podem estar presente no banco de sementes (Andrade 2002).

A área controle foi a que apresentou a menor frequência de indivíduos nos 3 levantamentos. No primeiro levantamento a área tardia apresentou uma média de 7,8 indivíduos por metro contra 7,2 da quadrienal, 6,4 da modal e 6,1 da precoce. No segundo levantamento, a área quadrienal havia sido submetida à queima 4 meses antes, o que causou a diminuição da média para 5,8 indivíduos por metro. A média da quadrienal foi superior à da controle. Novamente observamos que o número médio de indivíduos da área tardia é maior que o da modal e este maior que o da

precoce. No terceiro levantamento, a área quadrienal apresentou a maior densidade (8,3 indiv/m). Neste levantamento as áreas queimadas bienalmente apresentaram pouca diferença no número total de indivíduos.

O primeiro e último levantamentos foram feitos no mês de abril no final das chuvas, é interessante observar o aumento do número de indivíduos no segundo levantamento feito no mês de dezembro, meados da estação chuvosa. Estudos em áreas de cerrado demonstraram que em áreas queimadas, existe uma maior densidade de indivíduos de gramíneas (Miranda 1997), provavelmente devido à liberação de novos nichos antes ocupados por espécies lenhosas ou outras herbáceas.

Nas três coletas, *E. inflexa* apresentou maior frequência na área tardia. Como esta espécie é precoce de ciclo longo, esperava-se que sua frequência deveria diminuir nesta parcela, uma vez que na época da queimada prescrita a população está investindo em reprodução. No entanto as menores frequências foram observadas na área precoce em todos os três levantamentos. O regime de queima precoce parece diminuir a frequência de *E. inflexa* em campo sujo. Em um levantamento de banco de sementes de campo sujo Andrade (2002) mostrou que existe uma redução no número médio de diásporas de *E. inflexa* na área precoce corroborando os resultados obtidos no presente trabalho. *Paspalum gutatum*, outra espécie precoce, não apresentou um padrão claro como *E. inflexa* com uma variação de frequência grande entre as áreas. *S. tenerum* é uma espécie tardia e nos três levantamentos as menores frequências foram observadas na área tardia. *T. spicatus* apesar de ser uma espécie tardia teve maiores frequências na área tardia.

Tabela 1. Lista de espécies levantadas nas cinco parcelas de campo sujo do “Projeto Fogo” na RECOR/IBGE nos três levantamentos realizados. Fontes: a) Filgueiras, 1991; b) Renvoize, 1984; c) Almeida, 1995.

Espécie	Ciclo de vida ^{a c}	Hábito ^b	Fenologia ^c
<i>Agenium leptocladum</i> (Hack)	Perene ^b	Cespitosa	
<i>Agenium</i> sp 1			
Andropogoneae 1			
Andropogoneae 2			
Andropogoneae 3			
<i>Aristida riparia</i> Trin.	Perene ^a	Cespitosa	T
<i>Aristida setifolia</i> Kunth	Perene ^a	Colmos eretos, levemente cespitosos	T
<i>Aristida</i> sp 1			
<i>Axonopus aureus</i> Beauv.	Perene ^a	Colmos eretos, rizomas curtos	T
<i>Axonopus barbigerus</i> (Kunth) Hitchc	Perene ^a	Cespitosa	PCL
<i>Axonopus marginatus</i> (Trin.) Chase	Perene ^a		T
<i>Ctenium chapadense</i> (Trin.) Doell	Perene ^a	Colmos eretos	T
<i>Echinolaena inflexa</i> (Poiret) Chase	Perene ^a de vida curta ^c	Cespitosa, estolonífera, ereta, decumbente e rizomatosa	PCL
<i>Elionurus</i> sp 1			
<i>Ichnanthus camporum</i> Swallen	Perene ^a		
indet 1			
indet 2			
indet3			
<i>Leptocoryphium lanatum</i> (Kunth) Nees	Perene ^a		
<i>Melinis minutiflora</i> Beauv.	Perene ^a	Colmos eretos	
<i>Mesosetum loliiforme</i> (Hochst.) Chase	Perene ^a de vida curta ^c	Estolonífera cespitosa	
<i>Panicum campestre</i> [Nees ex] Trin.	Perene ^a	Colmos eretos	
<i>Panicum cervicatum</i> Chase	Perene ^a	Cespitosa	PCL
<i>Panicum</i> espécie 1			
<i>Panicum olyroides</i> Kunth	Perene ^a		PCL
<i>Paspalum ammodes</i> Trin.	Perene ^b	Cespitosa	
<i>Paspalum erianthum</i> Nees	Perene ^b	Cespitosa	PCC
<i>Paspalum explendens</i>			
<i>Paspalum gardnerianum</i> Nees	Perene ^b	Cespitosa	T
<i>Paspalum gutatum</i>			PCC
<i>Paspalum pectinatum</i> Nees	Perene ^b	Cespitosa	
<i>Paspalum</i> sp 2			
<i>Paspalum</i> sp 3			
<i>Paspalum stellatum</i> Humb.	Perene ^b	Cespitosa	
<i>Schizachyrium microstachyum</i> (Desv.) Roseng., Arr. & Isag.	Perene ^a		
<i>Schizachyrium tenerum</i> Nees	Perene ^a	Cespitosa	T
<i>Thrasya petrosa</i> (Trin.) Chase	Perene ^a	Colmos eretos	T
<i>Trachipogon spicatus</i> (L.f.) Kuntze	Perene ^b	Cespitosa	T
<i>Tristachya leiostachya</i> Nees	Perene ^a		PCL

Onde: T = tardia; PCL = Precoce do ciclo longo; PCC= Precoce do ciclo curto.

Tabela 2: Lista das espécies observadas nos 200 metros amostrados por área nas cinco áreas experimentais do Projeto Fogo no primeiro levantamento de Abril de 1999 identificadas por classes de frequência. Os 200 metros amostrados referem-se à soma das quatro transecções de 50 metros lançadas aleatoriamente dentro de cada área.

Lista de espécies	Controle	Quadrienal	Bienal Precoce	Bienal Modal	Bienal. Tardia
<i>Trachipogon spicatus</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Echinolaena inflexa</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Schizachirium tenerum</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Paspalum gutatum</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Axonopus marginatus</i>	XXXX	XXXX	XXXX	XXX	XXX
<i>Agenium leptocladum</i>	XXX	XXX	XXXX	XXX	XXX
<i>Axonopus barbigerus</i>	XXXX	XXXX	XXX	XXX	XX
<i>Leptocoripherum lanatum</i>	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
<i>Paspalum gardnerianum</i>	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
<i>Panicum campestre</i>	XXX	XXXX	X	XXX	X
<i>Paspalum pectinatum</i>	XXXX	X	XX	XX	0
<i>Treistachia leiostachia</i>	XXX	XX	XXX	XXX	XXX
<i>Axonopus aureus</i>	XX	XX	XXX	XX	XXX
<i>Icnanthus camporum</i>	XXX	XXX	XX	XX	X
<i>Paspalum amodes</i>	0	XX	0	XX	XXX
<i>Aristida riparia</i>	XXX	XX	X	0	0
<i>Ctenium chapadensis</i>	XX	XX	XX	0	X
<i>Aristida septifolia</i>	0	XXX	0	0	0
<i>Panicum cervicatum</i>	0	XXX	XX	0	0
<i>Trasya petrosa</i>	0	XX	X	XX	0
<i>Schizachirium microstachium</i>	0	XXX	X	0	0
<i>Elionurus sp1</i>	0	0	XX	0	0
<i>Melinis minultiflora</i>	0	0	0	0	XX
<i>Paspalum erianthum</i>	XX	0	0	0	0
<i>Mesosetum looliforme</i>	0	0	0	0	XX
<i>Paspalum explendens</i>	XX	0	0	0	0
<i>Paspalum sp 2</i>	0	X	0	0	XX
<i>Paspalum stelathum</i>	XX	0	0	0	0
<i>Paspalum sp3</i>	0	0	X	0	0

Onde 0= nenhuma observação; X= 1 observação; XX= 2-9 observações; XXX= 10-39 observações; XXXX= 40-100 observações; XXXXX= mais que 100 observações

Tabela 3: Lista das espécies observadas nos 200 metros amostrados por área nas cinco áreas experimentais do Projeto Fogo no segundo levantamento de dezembro de 1999 identificadas por classes de frequência. Os 200 metros amostrados referem-se à soma das quatro transecções de 50 metros lançadas aleatoriamente dentro de cada área.

Lista de espécies	Controle	Quadrienal	Bienal Precoce	Bienal Modal	Bienal Tardia
<i>Echinolaena inflexa</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Trachipogon spicatus</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Schizachyrium tenerum</i>	XXXXX	XXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Paspalum gutatum</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Axonopus marginatus</i>	XXXX	XXXXX	XXXX	XXXX	XXXX
<i>Paspalum ammodes</i>	0	XXXXX	0	0	0
<i>Ichnanthus camporum</i>	XXXX	XXX	XX	XXX	X
<i>Agenium sp 1</i>	XX	XX	XXX	XXXX	XXXX
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	XXX	XXXX	XXX	XXX	XXX
<i>Paspalum pectinatum</i>	XXX	XXXX	XX	XX	XX
<i>Axonopus aureus</i>	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
<i>Paspalum erianthum</i>	XX	XXX	XXX	XXX	0
<i>Tristachya leiostachya</i>	XXX	XXX	X	XXX	XXX
<i>Axonopus barbigerus</i>	XXX	0	XX	0	XXX
<i>Panicum campestre</i>	XXX	XX	XXX	XXX	XX
<i>Melinis minutiflora</i>	XXX	0	0	0	XXX
<i>Paspalum gardnerianum</i>	X	0	XX	XX	XXX
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	X	0	0	0	XXX
<i>Ctenium chapadense</i>	XXX	0	X	0	XX
<i>Aristida riparia</i>	0	0	XX	0	XXX
Andropogoneae 2	0	0	X	XXX	0
<i>Panicum cervicatum</i>	XXX	0	XXX	X	XX
indet3	X	0	XX	0	XX
<i>Panicum espécie 1</i>	0	XX	0	0	0
indet 2	X	0	0	XX	0
Andropogoneae 1	0	XX	0	0	0
<i>Agenium leptocladum</i>	0	0	0	0	XX
Andropogoneae 3	0	XX	0	0	0
<i>Aristida sp 1</i>	0	XX	0	0	0
<i>Panicum olyroides</i>	0	0	0	XX	0
indet 1	0	XX	0	0	0
<i>Paspalum sp 3</i>	0	0	0	X	0

Onde 0= nenhuma observação; X= 1 observação; XX= 2-9 observações; XXX= 10-39 observações; XXXX= 40-100 observações; XXXXX= mais que 100 observações

Tabela 4: Lista das espécies observadas nos 200 metros amostrados por área nas cinco áreas experimentais do Projeto Fogo no terceiro levantamento de Abril de 2001 identificadas por classes de frequência. Os 200 metros amostrados referem-se à soma das quatro transecções de 50 metros lançadas aleatoriamente dentro de cada área.

Lista de especies	Controle	Quadrienal	Bienal Precoce	Bienal Modal	Bienal Tardia
<i>Echinolaena inflexa</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Schizachyrium tenerum</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Trachipogon spicatus</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX
<i>Paspalum gutatum</i>	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXX
<i>Axonopus marginatus</i>	XXXX	XXXXX	XXXX	XXXX	XXXX
<i>Panicum campestre</i>	XX	XXXX	XXX	XX	XX
<i>Axonopus barbigerus</i>	XXX	XXXX	XXX	XXX	XX
<i>Panicum olyroides</i>	XX	XXX	0	0	0
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	XX	XXX	XXX	0	XX
<i>Ichnanthus camporum</i>	XXX	XXX	XXX	XXXX	XXX
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
<i>Paspalum pectinatum</i>	XXX	XXX	XX	XX	0
<i>Axonopus aureus</i>	XXX	XXX	XXXX	XXXX	XX
<i>Aristida setifolia</i>	XX	XXX	XXX	X	XX
<i>Thrasya petrosa</i>	XX	XXX	XXX	XX	0
<i>Ctenium chapadense</i>	XXX	XXX	XX	XX	0
<i>Paspalum gardnerianum</i>	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
<i>Aristida riparia</i>	XXX	XXX	XXX	XX	XXX
<i>Agenium leptocladum</i>	XXXX	XX	XXXX	XX	XXX
<i>Panicum cervicatum</i>	XX	XX	XX	XX	0
<i>Paspalum stellatum</i>	0	XX	0	0	XX
<i>Paspalum explendens</i>	0	X	0	0	0
<i>Melinis minutiflora</i>	XXXX	0	0	0	0
<i>Mesosetum loliiforme</i>	0	0	X	0	XXX
<i>Paspalum ammodes</i>	XX	0	0	XXX	XX
<i>Paspalum erianthum</i>	XX	XX	XX	XX	XXX
<i>Tristachya leiostachya</i>	XXX	0	0	0	0

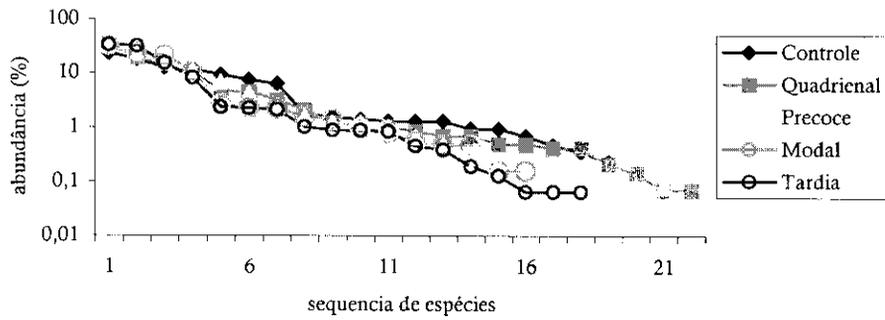
Onde 0= nenhuma observação; X= 1 observação; XX= 2-9 observações; XXX= 10-39 observações; XXXX= 40-100 observações; XXXXX= mais que 100 observações

Os padrões de distribuição da abundância relativa das espécies, para todas as parcelas são mostrados na Figura 3 e na Tabela 5. De modo geral, as parcelas apresentaram a mesma distribuição de abundância pela série Logarítmica. No primeiro levantamento apenas o controle não apresentou qualquer dos dois padrões de abundância.

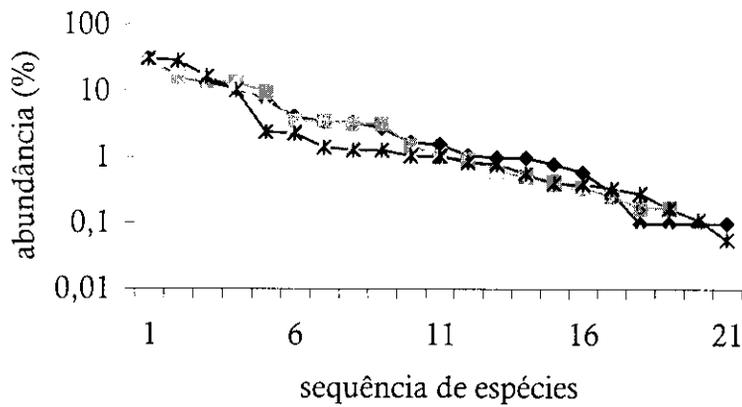
No segundo levantamento a área modal não seguiu o padrão de distribuição de abundância logarítmica (Tabela 5). E no terceiro levantamento a área quadrienal não seguiu o modelo de distribuição de abundância logarítmico.

As análises dos índices de riqueza (S), diversidade (H, D, N1, N2, N+) e os padrões de distribuição da abundância das espécies de gramíneas amostradas nas cinco parcelas de campo sujo são mostradas nas Tabela 5. Na área controle nota-se que existem mais espécies abundantes na classe de espécies intermediárias pois os números de Hill foram: N1 (número de espécies abundantes, com abundancia média e muito abundantes) igual a 9,82 espécies e N+∞ (número de espécies muito abundantes) igual a 4,3 (Tabela 5). Embora tendo havido redução do número de espécies muito abundantes (N+∞) nas parcelas quadrienal e bienais com relação ao controle, o número das outras espécies também foi reduzido (N1 sempre inferior em relação ao controle) (Tabela 5). Portanto não há uma diferença muito grande entre o número de indivíduos da primeira espécie mais abundante para a segunda mais abundante e assim sucessivamente. Podemos confirmar este padrão observando os índices de diversidade que incorporam os dados de abundância (H de Shannon e D de Simpson). A maior equitabilidade (E) do controle confirma a distribuição mais homogênea das abundâncias entre as espécies. Da mesma forma nas parcelas queimadas bienalmente, encontramos os menores índices de diversidade e equitabilidade (Tabela 5).

Primeiro levantamento



Segundo Levantamento



Terceiro Levantamento

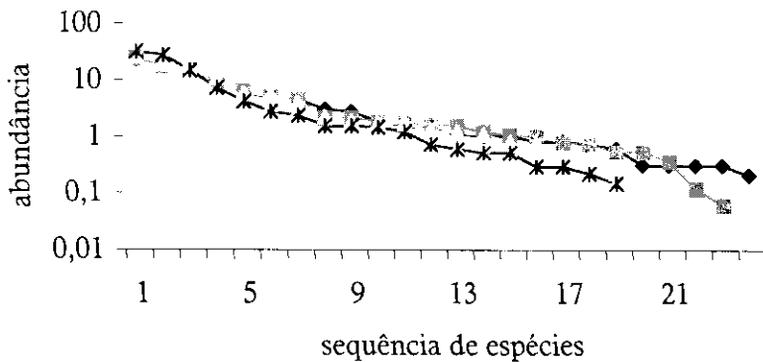


Figura 3. Curvas de abundância das espécies de gramíneas presentes nos duzentos metros amostrados por área para as cinco áreas de campo sujo do Projeto Fogo. Onde: Primeiro Levantamento: Abril/99, Segundo Levantamento: Dezembro/99 e Terceiro Levantamento: Abril/01.

O padrão de distribuição de abundâncias da série logarítmica ter sido observado para a maioria destas parcelas sugere que no campo sujo devemos encontrar poucas espécies dominantes .

Nos três levantamentos os maiores índices de diversidade e equitabilidade foram encontrados nas parcelas controle e quadrienal. Nas parcelas queimadas bienalmente, aumenta a densidade populacional, enquanto reduz a diversidade e a equitabilidade. Na segunda amostragem (Tabela 5) os maiores índices de diversidade também foram observados nas áreas controle e quadrienal e um padrão similar para os números de Hill (maiores valores de N_1); embora a parcela modal tenha tido o maior valor de N^+ , os maiores valores de equitabilidade continuam sendo nas parcelas controle e quadrienal. Outra vez foi observado um valor maior de N^+ na parcela modal no terceiro levantamento (Tabela 5), no entanto as áreas com maior equitabilidade continuam sendo o controle e a quadrienal.

Em termos gerais, nos três levantamentos as áreas controle e quadrienal apresentaram os maiores índices de diversidade e equitabilidade. A diferença entre os índices de diversidade de Shannon entre as cinco áreas difere significativamente ($F=5,493004$; $P=0,00857$; $df=4$); a diferença entre as parcelas o controle e tardia foi significativa ($P=0,005842$) e entre a quadrienal e a tardia também ($P=0,004132$). A variação entre o número de espécies e suas respectivas abundâncias evidencia a dinâmica do ecossistema já que nas áreas queimadas há um processo de recolonização após o fogo (aumento na densidade de espécies abundantes e surgimento de plântulas ocupando os espaços abertos como observado por Miranda

1997). Mesmo tendo havido variações entre os números de Hill e os índices de diversidade, é interessante observar que um mesmo padrão foi observado nas três coletas independentemente das espécies amostradas.

Avaliando a diversidade por área (e não por levantamento) fazendo-se uma média do índice de Shannon para os 12 segmentos de 50 metros que foram estendidos nas parcelas nota-se que queimadas bienais diminuem a diversidade comparando-se com as parcelas controle e quadrienal Tabela 3. Houve diferença altamente significativa entre os índices de diversidade média para os diferentes regimes de queima ($F= 9,99$, $df= 57$, $P<0,002$) (Tabela 6). As áreas que sofreram queimadas bienais ($H'= 1,85$) foram estatisticamente distintas da quadrienal ($H' = 2,25$, $P<0,01$) e do controle ($H'= 2,24$, $P<0,02$). O índice de diversidade da quadrienal foi maior ($H'= 2,25$) que da bienal modal ($H'= 1,88$; $P<0,02$) e da bienal tardia ($H'= 1,75$; $P<0,001$); não houve diferença entre a quadrienal e a bienal precoce ($H'= 1,94$; $P<0,67$). Dentre os regimes de queima bienal, também houve diferença significativa ($F=3,29$, $df=33$, $P<0,05$). A diversidade da tardia ($H'= 1,75$) foi estatisticamente menor que da precoce ($H'=1,94$; $P<0,04$). Quando comparamos os índices de diversidade entre os meses após o fogo, encontramos o maior valor no vigésimo mês que correspondeu à área quadrienal no terceiro levantamento ($H'= 2,67$). Com 32 meses após a queima o índice observado é comparável aos das áreas bienais.

Tabela 5: Diversidade e padrões de abundância de espécies para as três coletas nas áreas de campo sujo de Cerrado do Projeto Fogo, na Reserva Ecológica do IBGE. Os dados são referentes aos 200 metros amostrados por área em cada área somando-se os valores de frequência nas 4 transecções de 50 metros. As duas distribuições de abundância de espécies, Broken stick e Série Log foram testadas usando teste de χ^2 com valor de $P > 0,05$.

Primeiro Levantamento

Índices	Controle	Quadrienal	Precoce	Modal	Tardia
N	860	1433	1230	1278	1562
S	19	22	21	16	18
H	2,28	2,06	1,96	1,83	1,72
D'	0,86	0,81	0,80	0,78	0,75
N1	9,82	7,81	7,12	6,29	5,62
N2	7,50	5,40	5,23	4,72	4,11
N+	4,32	3,02	3,14	3,12	3,00
E	0,77	0,67	0,645	0,66	0,60
Broken Stick	0,028	4,31E-05	2,72 E-19	3,12 E-05	1,95 E-19
Série Log	0,046	0,56	0,74	0,17	0,71

Segundo Levantamento

Índices	Controle	Quadrienal	Precoce	Modal	Tardia
N	1025	1168	1381	1518	1799
S	21	19	20	19	21
H	2,20	2,16	1,88	1,98	1,90
D'	0,84	0,85	0,81	0,82	0,79
N1	9,0	8,71	6,54	7,21	6,67
N2	6,23	6,50	5,05	5,53	4,70
N+	3,25	3,63	3,53	4,04	3,28
E	0,72	0,73	0,63	0,67	0,62
Broken Stick	0,0002	0,02	4,11 E-15	8,17 E-06	2,33 E-43
Log normal	0,93	0,51	0,65	0,01	0,14

Terceiro Levantamento

Índices	Controle	Quadrienal	Precoce	Modal	Tardia
N	962	1658	1345	1342	1363
S	24	23	21	20	19
H	2,40	2,38	2,23	2,04	1,94
D'	0,87	0,87	0,85	0,83	0,79
N1	11,06	10,85	9,31	7,71	6,95
N2	7,70	7,54	6,65	5,80	4,80
N+	4,33	4,13	3,82	4,22	3,18
E	0,76	0,76	0,73	0,68	0,66
Broken Stick	0,00	0,04	1,51 E-05	3,55 E-08	0,00
Log normal	0,07	0,05	0,36	0,23	0,21

Onde N= número total de indivíduos nos 200 metros levantados; S= riqueza de espécies; H = índice de Shannon calculado a partir da matriz de espécies x 200 segmentos; D' = índice de Simpson calculado a partir da matriz de espécies x 200 segmentos; N1, N2 e N+ = números de Hill (vide texto para maiores detalhes); E = equitabilidade calculada a partir do índice de Shannon; Os números nos modelos de abundância correspondem aos valores das probabilidades obtidos do teste de χ^2 .

Tabela 6. Diversidade média obtida à partir dos 12 segmentos de 50 metros dos três levantamentos realizados nas áreas de campo sujo de Cerrado do Projeto Fogo, na reserva Ecológica do IBGE, entre 1999 e 2001.

Diversidade	Controle	Quadrienal	Bianual	Precoce	Modal	Tardia
H	2,24 ^{ba}	2,25 ^{bac}	1,85 ^a	1,94 ^d	1,88 ^c	1,75 ^{dcb}

Índices seguidos de letras iguais diferem estatisticamente $P < 0,05$.

A análise de agrupamentos revelou que no primeiro e no terceiro levantamentos podemos identificar dois grupos bem distintos (Figura 4): um formado pela parcela controle e outro formado pelas áreas queimadas (quadrienal e bienais); no segundo levantamento, quando se mediu o maior índice de diversidade de Shannon da área quadrienal, esta parcela e o controle formam um grupo separado das queimadas bienalmente. Nos três dendrogramas, observamos a alta similaridade dentre as áreas queimadas bienalmente.

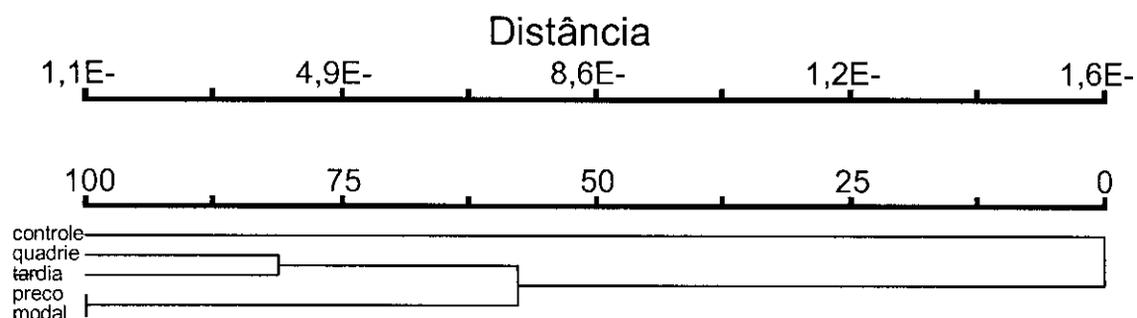
As análises de correspondência linearizadas (Figura 4) mostram que a área controle apresenta uma maior heterogeneidade espacial que as áreas queimadas. No primeiro levantamento são identificados dois grandes grupos: um primeiro formado pelos transectos da área controle e outro, intermediário, formado pelos transectos da área quadrienal. Os pontos representando os transectos das parcelas bienais estão mais próximos entre si, evidenciando a maior homogeneidade dentre e entre áreas. Os transectos 2, 3 e 4 da parcela bienal tardia estão mais próximos entre si, indicando maior similaridade florística entre áreas. A primeira transeção da área tardia assemelha-se mais com aquelas da modal e precoce. Os quatro da área modal também estão relativamente próximos sugerindo que não existiu uma grande variação. Houve uma variação maior na composição das espécies na bienal precoce.

No segundo levantamento observamos três grupos bem distintos (Figura 4): a área quadrienal forma um grupo muito bem definido e distinto do restante e a distância entre eles os demais transectos evidencia uma composição florística muito diferente. O segundo grupo observado é composto pelos segmentos da área controle que estão dispersos no centro-esquerdo do gráfico. Novamente a área controle foi a que apresentou maior heterogeneidade espacial. As parcelas bienais precoce e modal apresentaram uma variação menor na composição florística e alta semelhança no padrão de frequência das espécies. A área tardia nesta coleta apresentou uma heterogeneidade espacial grande e uma composição florística mais ampla que no primeiro levantamento (Figura 4).

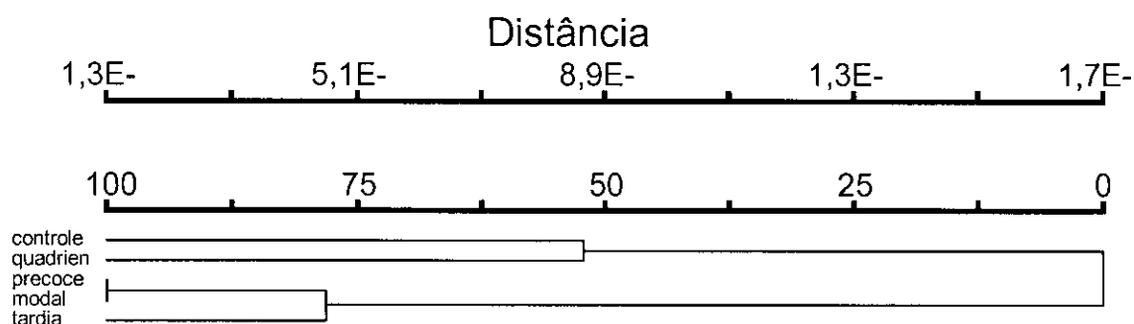
No terceiro levantamento observamos que as áreas controle e quadrienal apresentam alta heterogeneidade espacial e composição florística acentuadamente distinta (Figura 5). Neste gráfico observamos um grupo muito definido no centro onde estão inseridos os transectos das áreas bienais, incluindo uma das transecções do controle, sugerindo que neste levantamento houve similaridade entre estas áreas na composição florística dentre e entre áreas.

A análise de complexidade evidencia a maior estruturação das parcelas controle e quadrienal, onde se registrou os maiores valores de entropia em comparação com aquelas queimadas bienalmente. No primeiro levantamento o aumento do número de espécies elevou o valor da complexidade estrutural na área quadrienal. Pode-se observar que na área controle apesar de não possuir o maior

Primeiro Levantamento



Segundo Levantamento



Terceiro Levantamento

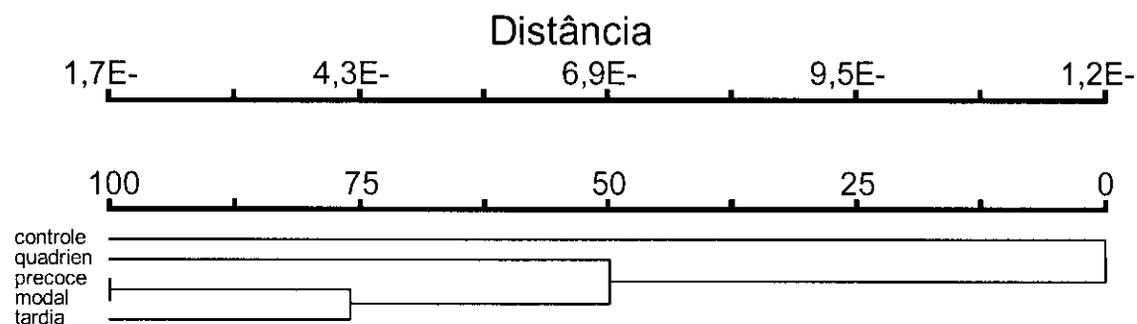


Figura 4. Dendogramas obtidos por análise de agrupamentos da similaridade entre as áreas para os três levantamentos realizados nas áreas de campo sujo de cerrado do Projeto Fogo, na Reserva Ecológica do IBGE. O critério utilizado para o agrupamento foi o de variância mínima a partir dos dados de frequência das espécies.

valor de ΔS , apresenta os maiores $H(S)$ e $L(S)$. Comparando o controle com a área bienal tardia observa-se que as interações na primeira área são maiores que na segunda pois a diferença de apenas uma espécie não explica os menores valores de $H(S)$ e $L(S)$; estas diferenças são explicadas pelas diferenças nas proporções entre as espécies. No segundo levantamento este padrão se confirma pois ambas parcelas possuem a mesma riqueza (21 espécies), mas um ΔS muito distinto

O código $L(S)$ evidencia a presença das espécies com menor probabilidade de ocorrência, ou seja ele "captou" o "ruído" entre a complexidade estrutural ΔS e a entropia do ecossistema. Por exemplo, comparando-se as parcelas quadrienal e bienal modal no segundo levantamento nota-se que ambas apresentam a mesma riqueza (19 espécies) e que a sendo que a entropia $H(S)$ da área modal é maior que a da quadrienal (2,15 versus 2,02); portanto, a diferença na complexidade estrutural se deve ao ruído, que não pode ser captado pela entropia mas foi traduzido no código $L(S)$ (a complexidade total). O $L(S)$ da quadrienal foi maior o que faz esta área apresentar uma maior complexidade estrutural que a modal. No terceiro levantamento os maiores valores de entropia e $L(S)$ foram encontrados nas áreas controle e quadrienal. Entre as parcelas bienais, pode-se observar uma variação da complexidade estrutural que oscila entre as áreas precoce e tardia. Nos três levantamentos a área modal sempre apresentou a menor complexidade estrutural.

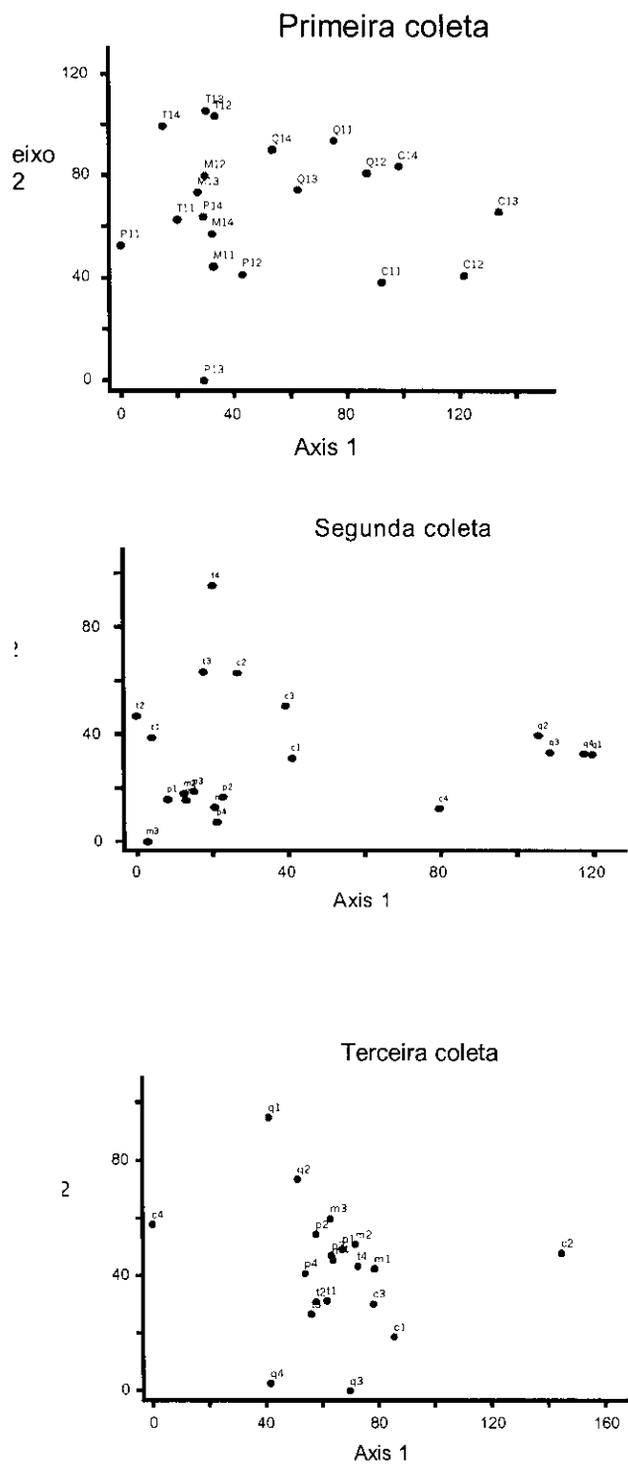


Figura 5. Análise de correspondência linearizada para os três levantamentos das áreas de campo sujo do Projeto Fogo da RECOR/IBGE. As letras representam: C = controle, Q = queimada quadrienal, M = queimada bienal modal, P = queimada bienal precoce, T =

queimada bienal tardia. Os números representam as linhas (transectos) amostrais para cada data de levantamento (4 transectos por parcela).

Tabela 7. Dados de complexidade para as áreas de campo sujo de Cerrado do Projeto Fogo. As medidas foram extraídas dos dados de frequência para cada coleta (à partir da Tabela 1) utilizando o programa estatístico MULTIV. S = riqueza de espécies; HS = entropia; LS = complexidade total; ΔS = complexidade estrutural.

Entropia	Controle	Quadrienal	Precoce	Modal	Tardia
1º. levantamento					
S	19	22	21	16	18
HS	2,29	1,73	1,80	1,78	1,66
LS	3,31	3,02	2,88	2,68	2,57
ΔS	1,01	1,28	1,07	0,89	0,91
2º. Levantamento					
S	21	19	20	19	21
HS	1,80	2,02	1,97	2,15	1,81
LS	3,20	3,16	2,73	2,88	2,78
ΔS	1,35	1,13	0,75	0,72	0,96
3º. Levantamento					
S	24	23	21	20	19
HS	2,29	2,23	2,10	2,2	1,79
LS	3,50	3,47	3,24	2,9	2,85
ΔS	1,20	1,24	1,14	0,79	1,05

Discussão

O efeito do fogo nas comunidades de gramíneas de campo sujo de Cerrado depende da frequência de ocorrência da queima, como indicam os resultados deste estudo. Em muitas savanas, inclusive o Cerrado, a proteção contra queimadas aumenta a densidade de lenhosas (San José & Fariñas, 1983; Moreira, 2000) e modifica a composição das herbáceas (San José & Fariñas, 1991).

O primeiro impacto do fogo na comunidade é a liberação do espaço antes ocupado pelas lenhosas, por isso o aumento na frequência de gramíneas. Moreira (2000) demonstrou que o fogo seleciona espécies de lenhosas tolerantes à queima. Alguns trabalhos tem demonstrado que assim como as lenhosas o fogo seleciona espécies de gramíneas. Klink e Solbrig (1996) observaram que, em gramíneas, algumas espécies são indiferentes ao fogo (por exemplo, *Echinolaena inflexa*), outras são promovidas pelas queimadas (*Agenium* sp, *Axonopus barbigerus* e *Trachypogon* sp) e finalmente há algumas que têm sua densidade reduzida nas áreas queimadas (*Axonopus marginatus* e *Schyzachirium tenerum*). Leite *et al.* (1997) observaram que *E. inflexa* e *A. barbigerus* apresentam grande sobrevivência de perfilhos na estação seca, independente do tipo de solo e da frequência de queima a que foram submetidos. No Pantanal *Andropogon bicornis*, *Mesosetum chaseae*, *Axonopus purpusii*, *Andropogon selloanus* e *Paspalum plicatulum* tiveram suas frequências severamente reduzidas em áreas queimadas (Cardoso *et al.* 2000). Em um estudo de recolonização de campo sujo após o fogo, Miranda (1997) verificou que *E. inflexa* aumenta a produção de espiguetas e reprodução por rizomas nas áreas queimadas.

Portanto, as evidências mostram que cada espécie apresenta resposta própria ao distúrbio que a torna mais ou menos tolerante ao fogo (aumento de propágulos, reprodução vegetativa, sobrevivência de perfilhos, formação de banco de sementes) e isso, determinará o aumento ou a redução de sua frequência e permanência nas áreas queimadas. Tais variações geram dinâmicas distintas entre as espécies o que resulta em diferenciações estruturais das comunidades quando submetidas a queimadas.

No presente estudo também foram observadas diferenças nas respostas das espécies aos tratamentos, sendo que em algumas foi observado aumento da frequência enquanto em outras, diminuição. Por exemplo *E. inflexa*, *T. spicatus* e *S. tenerum* aumentaram em frequência nas áreas queimadas quando comparadas com o controle. A frequência de *E. inflexa* aumentou em qualquer regime de queima dos quais o bienal precoce pareceu o menos favorável já que nesta área foi observada a menor frequência desta espécie dentre as áreas queimadas. Andrade (2002) observou que o banco de sementes de *E. inflexa* é menor na área precoce corroborando a idéia de que queimadas no mês de junho (precoce) podem diminuir a frequência desta espécie em comparação com queimadas modais e tardias. Como fenologicamente *E. inflexa* é uma espécie precoce (Almeida 1995), provavelmente no mês de junho muitas sementes ainda estejam nas espiguetas presentes no pedúnculo floral. O fogo, portanto, estaria eliminando estas sementes vulneráveis o que explica a menor frequência de indivíduos estabelecidos e do número de propágulos no banco de sementes na área precoce. Queimadas bienais parecem ter diminuído as frequências de *Paspalum pectinatum*, *Axonopus marginatus*, *Leptocoriptherum lanatum* e

Ichnanthus camporum, mas suas freqüências aumentaram ou se mantiveram inalteradas na área quadrienal. Para as outras espécies no entanto, não houve uma relação clara entre a época de queima e o aumento ou diminuição da freqüência. Este fato indica que o fogo pode não ser o único agente que determina a freqüência populacional destas espécies. Da mesma forma a idéia de que o fogo seleciona espécies simplesmente de acordo com sua fenologia, não parece ser tão óbvia para as gramíneas. Espécies que possuem plasticidade para alocar recursos em reprodução podem aumentar sua freqüência independente da sua fenologia e da época queimada. Em *T. spicatus* a reprodução assexuada nas áreas queimadas pode estar favorecendo o aumento da freqüência desta espécie. Já a menor proporção deste tipo de reprodução em *S. tenerum* mostra que nesta espécie o aumento populacional deve estar relacionado com o aumento da produção de sementes e seu tipo arquitetural entouceirado que com a passagem do fogo não danifica o meristema.

O fogo então além de diminuir a densidade de lenhosas, está promovendo indiretamente uma reestruturação na comunidade de gramíneas uma vez que as espécies que a compõe vão aumentar ou diminuir suas frequências em função da capacidade de aproveitar os nichos que o fogo liberou. No entanto o comportamento da comunidade pode ser diferente de cada espécie individualmente.

De modo geral, a distribuição da abundância das espécies do campo sujo se enquadra no padrão de distribuição da série logarítmica e este padrão não se modifica com os tratamentos de fogo. A maioria das comunidades vegetais estudadas apresenta este padrão de distribuição de abundância (Sugihara, 1980). Segundo May

(1975) na predição de ocupação de nichos da série logarítmica, as espécies chegam ao habitat “insaturado” em intervalos randômicos e vão ocupando o restante do hiperespaço, ou seja, aquele disponível. Portanto se as áreas de campo sujo apresentam distribuição logarítmica podemos encontrar espécies dominantes, de abundância intermediária e raras, em todas as áreas, independente do regime de queima. A dinâmica espaço-temporal do processo de sucessão de uma comunidade é fortemente influenciada pelo tipo e regime do distúrbio (estação quando ocorre, sua intensidade, amplitude e frequência) (Pickett e White, 1985). Em uma cronoseqüência estudada por Foster e Tilman (2000), observou-se que a taxa de mudança sucessional diminuiu com o tempo. Outros fatores que também influenciam a resposta de uma comunidade vegetal ao distúrbio são o estado da comunidade antes do evento, a história de vida das espécies que formam a comunidade e sua resiliência. Desta forma distúrbios freqüentes podem influenciar a diversidade da comunidade selecionando espécies tidas como pioneiras. A ausência de distúrbios por outro lado pode selecionar comunidades formadas por espécies de sucessão tardia. *P. pectinatum*, por exemplo, é uma gramínea pioneira na sucessão após a ocorrência de fogo de acordo com o estudo de Rosa (1990); no presente estudo observamos que sua frequência parece diminuir nas áreas queimadas bienalmente. Entretanto, *E. inflexa* e *T. spicatus*, que também são pioneiras pelo estudo de Rosa (1990), apresentaram frequências elevadas nas áreas bienais. *Paspalum amodes* foi muito freqüente na área quadrienal depois da queima, mas não foi observado no levantamento seguinte. O fogo parece modificar as frequências das espécies porém

para a comunidade estas mudanças não são evidentes. Isto sugere que se o mesmo número de classes de espécies dominantes, intermediárias e raras são observadas nas cinco áreas com regimes distintos a comunidade deve ser madura e provavelmente ter uma resiliência alta.

O padrão logarítmico observado nestas áreas corrobora a hipótese que a comunidade de gramíneas de campo sujo de Cerrado do "Projeto Fogo" é uma comunidade já estabelecida e madura onde existem espécies dominantes (*E. inflexa*, *T. spicatus*, *S. tenerum*, *P. gutatum*), intermediárias (*A. leptocladum*, *P. gardnerianum*, *P. campestre*, *P. pectinatum*, *I. camporum*, *A. marginatus*) e raras (*Paspalum explendens*, *Ctenuin chapadense*, *P. stelatum*, entre outras). Podemos sugerir que mesmo que haja mudança na composição das espécies dominantes, o fogo não é necessariamente o único determinante. Pillar & Quadros (1997) concluíram em um estudo de determinantes de paisagem no sul do país que em grandes escalas a sazonalidade e as flutuações climáticas anuais eram responsáveis pelos déficits hídricos que favoreciam a formação de campos em detrimento da florestas em algumas áreas, mas em pequenas escalas estes déficits hídricos variam em função da heterogenidade local relacionada com a geomorfologia e características do solo. A vegetação estabelecida, concluem os autores, é função das interações entre a cobertura da vegetação, de distúrbios como fogo e herbivoria e a reserva hídrica. A área que estudamos neste trabalho era, antes do experimento, uma área única e contígua, com mesmo tipo de solo, topografia, padrão pluviométrico e que foi dividida em 5 parcelas experimentais que à partir de 1989 diferem apenas no regime

de queima. Podemos então concluir que as variações ocorridas nas espécies mais abundantes da comunidade de gramíneas de campo sujo de Cerrado são determinadas pelas interações entre o fogo e a capacidade destas espécies em recolonizar a área que podem variar desde um aumento na produção de sementes ou uma maior capacidade de produzir clones (Miranda 1997), lembrando que resta averiguar as respostas das espécies às modificações do ambiente físico causadas pelo fogo (por exemplo, luz, nutrientes e água).

Estas diferenças são sutis quando analisamos a comunidade utilizando o padrão de abundância das espécies. As queimadas, que alteram as densidades de lenhosas, igualmente estão alterando as frequências das gramíneas. Porém, foi somente quando se avaliou os índices de diversidade, que se vislumbrou os pontos de mudança entre os diferentes tratamentos.

O aumento na frequência da queimada elevou a desproporção entre as espécies dominantes e aquelas de abundância intermediária. Ou seja são as espécies de abundância intermediária que estão diminuindo em frequência e sofrendo o impacto do fogo porque as espécies dominantes do controle continuam sendo as mesmas em todas as áreas (*E. inflexa*, *T. spicatus*, *S. tenerum*). As análises dos números de Hill mostraram que ocorreram mudanças nas áreas queimadas bienalmente e, quando analisamos os índices de diversidade, estas mudanças ficam evidentes pelas diferenças significativas encontradas entre as áreas controle e quadrienal com a bienal tardia. A menor equitabilidade nas parcelas bienais também aponta nesta direção e entre os regimes bienais o que apresentou o menor índice foi a

bienal tardia. Uma vez que os menores índices de diversidade foram observados nas áreas bienais e que os índices da área quadrienal não diferiram estatisticamente do controle podemos sugerir que, para campo sujo de Cerrado, as queimadas que ocorram em intervalos de no mínimo quatro anos, manteriam a diversidade da comunidade de gramíneas nos padrões do controle. Já as queimadas bienais promovem a redução na proporção de espécies intermediárias, diminuindo a diversidade e a equitabilidade quando comparadas às do controle e quadrienal. Estas análises estão indicando que queimadas bienais são as que modificam os padrões de abundância das espécies de gramíneas. Portanto podemos sugerir que as queimadas bienais são indicadores de redução de diversidade e que queimadas quadrienais ao contrário, podem ser alternativas de manejo.

Na análise de cluster entre as áreas ficou evidente a dinâmica do processo de recolonização. No primeiro levantamento a análise de "cluster" mostrou a similaridade entre a parcela quadrienal com as parcelas bienais, que diferiram do controle. No segundo levantamento a área quadrienal foi similar ao controle, enquanto no terceiro elas se tornam dissimilares e ocorreu uma similaridade entre as parcelas queimadas (bienais e quadrienal). Estas evidências indicam uma dinâmica rápida de mudança na área quadrienal com o aumento da diversidade, promovida pelo fogo, e uma tendência à estabilidade das áreas queimadas com o tempo.

Isto reforça a hipótese da resiliência do campo sujo levantada acima. As parcelas bienais apresentaram heterogeneidade espacial baixa, pois, de modo geral, agruparam-se, especialmente no terceiro levantamento (conforme demonstrado pelos

resultados da análise de componentes linearizada). Na verdade, os padrões obtidos por esta análise sintetizam os resultados obtidos com o estudo da abundância, dos índices de diversidade e as análises de “cluster”: as áreas queimadas bienalmente tendem a ser mais homogêneas, mais similares e com menor diversidade que áreas queimadas quadrienalmente e a áreas protegida.

Quando finalmente analisamos a complexidade das áreas, concluímos que as queimadas bienais diminuem o “ruído” da comunidade, tornando-a mais homogênea, ou seja as espécies que apresentam menor probabilidade de ocorrência diminuem sua frequência. As áreas controle e quadrienal foram mais complexas devido ao maior número de espécies com baixa probabilidade de ocorrência. A perda da entropia nas áreas queimadas evidencia que o fogo está eliminando estas espécies (porém quando analisamos a riqueza ou a diversidade, tal clareza inexistente). Para que este processo seja evidente são necessários muitos anos de acompanhamento principalmente porque as espécies estudadas já foram selecionadas e sua eliminação não dependeria apenas do fogo.

A redução da diversidade promovida pelas queimadas bienais pode, no longo prazo, desestabilizar a estrutura da comunidade tornando-a mais suscetível. Segundo McGrady-Steed e Morin (2000) a riqueza de espécies pode afetar tanto a estabilidade como o tamanho das populações. Os autores observaram que quando houve um aumento da riqueza de espécies, sua densidade caiu quase pela metade. A diversidade de plantas pode aumentar a diversidade de artrópodes (Siemann *et al.*,

1999) e esta relação, segundo os autores, sugere que a interação predador-presa possa também influenciar a dinâmica sucessional da diversidade de artrópodes.

A idéia de que o fogo é prejudicial para o Cerrado está associado ao efeito negativo deste no estrato lenhoso. No entanto, os índices da área quadrienal estiveram muito próximos aos da área controle o que sugere que a proteção poderia ser manejada com eventos de queima de, no mínimo, quatro anos. As áreas bienalmente queimadas tiveram os menores índices de diversidade, equitabilidade, complexidade e heterogenidade, sendo portanto os regimes mais prejudiciais.

A complexidade de ecossistemas vem de associações de um pequeno número de processos controladores que interagem entre si numa mesma escala (Archer et al. 1996; Holling, 2001). Ao conjunto de processos controladores e interações entre várias escalas, Holling (2001) cunhou o termo "panarchy". "Panarchy" seria a "soma" dos vários níveis (cada nível representando uma escala) que compõe um sistema; cada nível (em sua determinada escala) possui uma dinâmica própria, mas também interage com os outros níveis, formando uma estrutura hierárquica. A dinâmica desta estrutura hierárquica (a "panarchy") se dá através do que Holling (2001) chamou de "ciclo adaptativo" que é composto por processos de "crescimento", "acumulação", "reestruturação" e "renovação". O estudo destes ciclos pode nos ajudar a identificar os pontos onde o sistema pode ser capaz de internalizar mudanças positivas e pontos onde ele se torna vulnerável.

De acordo a proposta deste autor, informações podem ser transferidas de um nível para o próximo. Ao mesmo tempo em que cada nível conserva e estabiliza

condições para os próximos níveis, eles geram e testam inovações que ocorrem dentro do nível. A predisposição para mudanças, o controle interno (por exemplo, a sensibilidade ou não às perturbações) e a capacidade adaptativa (resiliência do sistema) são propriedades que vão direcionar as respostas do ecossistema. A trajetória de um ciclo adaptativo alterna-se entre longos períodos de acumulação e transformação dos recursos com curtos períodos de criação de oportunidades para inovações.

Podemos imaginar que o período de acumulação e transformação no caso do campo sujo, seria a fase em que se encontra protegido contra o fogo no Cerrado. Nesta fase acumular-se-ia grande quantidade de biomassa, o tempo favoreceria interações entre as espécies (por exemplo, competição por espaço, recursos, associação entre espécies, reciclagem da matéria), e finalmente a estabilidade do sistema. Ocorre então uma queimada e os recursos acumulados até então são rapidamente perdidos. Esta fase é caracterizada por rápida reorganização onde ocorrem novas oportunidades de interações (recolonização dos espaços abertos pelo fogo, ocupação de nichos) que se refletirão na próxima fase de acúmulo e transformação. Nesta fase, do evento da queima até o próximo acúmulo, é quando, pela ação do fogo, as espécies serão selecionadas. Como nas áreas queimadas bialmente este tempo é curto a seleção é feita apenas nas espécies que conseguem recolonizar a área. Vários autores mostraram que o fogo exerce diferentes pressões nas populações que compõe as savanas. A maior "plasticidade" de *Echinolaena inflexa*, *Trachypogon spicatus* e *Schizachyrium tenerum* aumentam a densidade

destas espécies em áreas queimadas. *E. inflexa* (Miranda, 1997) e *T. spicatus* possuem a capacidade de reprodução via rizomas que lhes permite ocupar os espaços abertos pelo fogo, característica inexistente em *S. tenerum*. Podemos ver que o efeito do fogo depende da espécie em questão e que ele sozinho não explica as mudanças na abundância das espécies.

Os padrões observados neste estudo mostraram que o fogo quando em frequências bienais pode alterar a estrutura da comunidade de gramíneas em áreas de campo sujo quando comparada à área de queimada quadrienal ou área protegida de queima por 28 anos. Porém não se sabe se o fogo pode alterar também a paisagem e a distribuição espacial destas espécies. Outra questão importante é o efeito do tempo somado tanto à proteção como ao histórico de queima. Existem diferenças na paisagem de áreas de campo sujo ou mesmo Cerrado *sensu stricto* quando protegidas ou submetidas a queima? Estas questões serão exploradas no capítulo seguinte.

Conclusões

1. A área com regime de queima quadrienal não diferiu do controle, na diversidade e equitabilidade. Sugere-se que este regime de queimada possa ser utilizado como alternativa de manejo de áreas de campo sujo para manutenção da comunidade de gramíneas quando da sua necessidade;
2. Regimes de queimas bienais modais e tardia parecem ser os mais impactantes no curto prazo para a comunidade de gramíneas do campo sujo de Cerrado.

As áreas bienais tiveram baixos índices de diversidade independente do tempo de ocorrência do fogo ;

3. O fogo por si só não explica as mudanças na estrutura de algumas espécies em função da fenologia ou capacidade de colonização;
4. Queimadas bienais diminuem a diversidade, a equitabilidade, e homogenizam as áreas, porém permitem aumento da frequência de indivíduos de uma mesma espécie e reduzem a complexidade da comunidade de gramíneas;

Referências

- Almeida, S. P. de 1995. Grupos fenológicos da comunidade de gramíneas perenes de um campo cerrado no Distrito Federal, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30: 1067-1073.
- Anand , M. & L. Orlóci 1996. Complexity in plant Communities: The Notion and Quantification. *J. Theor. Biol.* 179: 179-186.
- Anand , M. & , L. Orlóci 2000. On hierarchical partitioning of an ecological complexity function. *Ecological Modelling* 132:51-62.
- Andrade, L. A. Z. 2002. Impacto do fogo no banco de sementes de Cerrado *sensu stricto*. Tese de Doutorado. 175p.
- Andrade, S. M. de A. 1998. Dinâmica do Combustível Fino e Produção Primária do Estrato Rasteiro de Áreas de Campo Sujo de Cerrado Submetidas a

Diferentes Regimes de Queimas. Tese de Mestrado. Universidade de Brasília. 43.

Archer, S.; Coughnour, M.; Dall'Aglio, C.; Fernandez, G.W.; Hay, J.; Hoffmann, W.; Klink, C.A.; Silva, J.F & Solbrig, O. T. 1996. Savanna biodiversity and ecosystem properties. In: Solbrig, O.; Medina, E. & Silva, J.F., eds. Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes. A Global Perspective. Ecological Studies 121. Berlin, Springer-Verlag. pp. 207-215.

Berry, Th. 1990. The Dream of the Earth. Nature and Natural Philosophy Library, Sierra Club Books, San Francisco. 208-209 pp.

Bird, M. I., Veenendaal, E. M., Moyo, C., Lloyd, J. & Frost, P. 2000. Effect of fire and soil texture on soil carbon in a sub-humid savanna (Matopos, Zimbabwe). *Geoderma* **94** (1): 71-90.

Cardoso, E. L., Crispim, S. M. ^a, Rodrigues, C. ^a G. & Junior, W. B. 2000. Composição e dinâmica da biomassa aérea após a queima em savana Gramíneo-Lenhosa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **35** (11): 2309-2316.

Chapin III, F.S., Sala, O. & Huber-Sannwald, E. (eds.). 2001. Global biodiversity in a changing environment. Scenarios for the 21st Century. Ecological Studies 152. New York, Springer.

Chapin, F. S., Walker, B. H., Hobbs, R. J., Hooper, D. U., Lawton, J. H., Sala, D. E, & Tilman, D. 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science* **277**: 500-504.

- Chase, J. M., Leibold, M. A., Downing, A. L & Shurin, J. B. 2000. The effects of productivity, herbivory, and plant species turnover in grassland food webs. *Ecology*, **81**(9) 2485-2497.
- Chase, J. M., Leibold, M. A., Downing, A.L e Shurin, J.B. 2000. the effects of productivity, herbivory, and plant species turnover in grassland food webs. *Ecology* 81(9): 2485-2497.
- Conservation International do Brasil, Funatura, Fundação Biodiversitas, Universidade de Brasília. 1999. *Ações prioritárias para a conservação da biodiversidade do Cerrado e Pantanal*. Brasília: CNPq, MMA, Banco Mundial, GEF.
- Dorgeloh, W. G. 1999. Diversity of the herbaceous layer in mixed bushveld. *Journal of range management*, **52** (5): 519-524.
- Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38:201-341.
- Fariñas, M. R. 1996. Analisis de la vegetación y de sus relaciones con el ambiente mediante metodos de ordenamiento. Centro de Investigaciones Ecológicas de Los Andes Tropicales.256p.
- Filgueiras, T. S. 1991. A floristic analysis of the Gramineae of Brazil's Distrito Federal and list of the species occurring in the area. *Edinb. J. Bot.* 48 (1): 73-80.
- Foster, B. L & Tilman, D. 2000. Dynamic and static views of succession: Testing the descriptive power of the chronosequence approach. *Plant ecology* **146**: 1-10

- Hill, M. O. 1973. Diversity and evenness: an unifying notation and its consequences. *Ecology* **54**: 427-432.
- Holling, C. S. 2000. Understanding the complexity of economic, ecological and social systems. *Ecosystems* **4**: 390-405.
- IBAMA, 1989. *Parques Nacionais, Reservas Biológicas e Estações Ecológicas do Brasil*. Brasília.
- Kempton, R. A. 1979. Structure of species abundance and measurement of diversity. *Biometrics*, **35**:307-322.
- Klink, C. A. and Solbrig, O.T. 1996. Efeito do fogo na biodiversidade de plantas do cerrado. In: *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina*, G. Sarmiento, M. Cabido (eds.) Cytel y Cielat, Venezuela. p. 230-244.
- Klink, C.A. & Moreira, A.G. 2002. Past and current human occupation, and land-use. In: P. S. Oliveira & R. J. Marquis (editors) 2002, *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, NY. (IN PRESS).
- Knops, J. M. H., Tilman, D., Haddad, N. M., Naeem, S., Mitchell, C. E., Haarstad, J., Ritchie M. E., Howe, K. M., Reich, P. B., Siemann, E. & Groth, J. 1999. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecology Letters* **2**(5): 286-293.
- Leite, G.G., Neto, R. T., Gomes, A. C., De Moraes, E. A. & Neto, C. R. B. 1997. Dynamics of tillers in native grasses submitted to burning in the cerrados of

the Federal District. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia* 26 (4): 691-696.

Ludwig, J. A. & Reynolds, J. F. 1998. *Statistical Ecology: a primer on methods and computing*. Wiley-Interscience Publication. New York.

Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, New Jersey – USA. 7-47p.

May, R. M. 1975. Patterns of species abundance and diversity. In *Theoretical Ecology: Principles and Applications*. Ed. M. L. Cody and J. M. Diamond. Harvard University Press, Cambridge, MA, 81-120. pp.

Mc Grady-Steed, J. & Morin, P.J. 2000. Biodiversity, density composition, and the dynamics of populations and functional groups. *Ecology*, **81**(2):361-373.

McArdle, B. H. & Anderson, M. J. 2001. Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology*, 82(1) 290-297.

Miranda, M. I. 1997. Colonização de um campo sujo por *Echinolaena inflexa* (Poir.) Chase (Poaceae). Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 77pp.

Moreira, A. G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, **27**: 1021-1029.

- Orloci, L. 2001. On Biodiversity and its analysis. Anais do V Congresso de Ecologia do Brasil "Ambiente e Sociedade", Universidade do Rio Grande do Sul, Novembro, Porto Alegre.
- Pickett, S. T. A. & White, P. S. 1985. Patch dynamics: a synthesis. *In. The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. S. T. A. Pickett & P. S. White (eds.). Academic Press, Orlando Florida, USA.. pp:371-884
- Pielou, E. C. 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York. USA.
- Pivello, V. R., Shida, C. N. & Meirelles, S. T. 1999. Alien grasses in Brazilian Savannas: a threat to the biodiversity. *Biodiversity and conservation* **8** (9): 1281-1294.
- Renvoize, S. A. 1984 The Grasses of Bahia. Royal Botanic Gardens, Kew
- Rényi, A. 1961. On measures of entropy and information. In: J. Neyman (ed) Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press. Berkeley. 547-561.
- Rodrigues, G.S. 2001. Impacto das atividades agrícolas sobre a biodiversidade: causas e conseqüências. In Garay, I. & Dias, B.F.S. (eds.) Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais. Editora Vozes, Petrópolis.
- Roem, W. J. & Berendse, F. 2000. Soil acidity and nutrient supply as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities. *Biological Conservation* **92**(2): 151-161.
- Rosa, C. M. M. 1990. *Recuperação pós-fogo do estrato rasteiro de um campo sujo de cerrado*. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília.

- San José , J. J. & Fariñas, M. R. 1983. Changes in tree density and species composition in a protected *Trachypogon* savanna, Venezuela. *Ecology*, **64**: 447-453.
- San José , J. J. & Fariñas, M. R. 1991. Changes in tree density and species composition in a protected *Trachypogon* savanna protected for 25 years. *Acta oecologica*, **12**:237-247
- Siemann, E. Haarstad, J. & Tilman, D. 1999. Dynamics of plant and arthropod diversity during old field succession. *Ecography*. **22**(4): 406-414.
- Sugihara, G. 1980. Minimal community structure: an explanation of species abundance patterns. *American Naturalist*. **116**: 770-787.
- Tilman, D.1999. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology* **80**: 1455-1474.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenko, J., & Mellilo, J. M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* **277**: 494-499.
- Whittaker, R. H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science*, **146**; 250-260.
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, **21**: 213-251.

Capítulo 3

A descrição dos padrões espaciais de comunidades de gramíneas de cerrado submetidas á diferentes regimes de queima segundo a geometria fractal

Introdução

A ocupação agropecuária está transformando a paisagem do Cerrado (Klink *et al.* 1995). A ampla diversidade fisionômica e florísticas que lhe dá a característica savânica (um estrato arbóreo cujo dossel não cobre totalmente o solo, entremeado por uma matriz gramínea), vem sendo substituída por grandes extensões de culturas e pastagens plantadas. Geralmente o equilíbrio entre os dois principais elementos vegetais do Cerrado, depende da ação do fogo, que devido à expansão agropecuária na região, tem aumentado em frequência.

O fogo, quando ocorre em frequência e intensidade “naturais”, é considerado um fator ecológico característico do Cerrado (Coutinho 1990), portanto sua eliminação completa pode se constituir numa intervenção no ecossistema (Archer *et al.* 1996). No cerrado já foram registradas queimadas de até 32.000 anos A. P. (Vicentini 1993), mas que ocorriam em frequências muito inferiores ao observado nos dias de hoje. O aumento na frequência das queimadas vem modificando a paisagem do cerrado, principalmente diminuindo o estrato lenhoso, e aumento da cobertura herbácea (Moreira 1996, 2000, Silva *et al.* 1996).

O impacto do fogo na vegetação vai depender da frequência da queimada (Moreno & Oechel 1991), da estação de queima (Auld & Bradstock 1996) e das características físicas do fogo (Miranda *et al.* 1993). O fogo altera não apenas as

lenhosas, mas também as gramíneas. Todas as espécies apresentam características que as tornam mais ou menos adaptadas às queimadas. Como é possível então avaliar as mudanças na paisagem da matriz de gramíneas sujeitas a diferentes regimes de queimadas ao longo do tempo? Para responder a esta pergunta, neste capítulo propomos a utilização da geometria fractal com o intuito de descrever o padrão espacial das cinco comunidades de campo sujo (descritas no Capítulo 2) e compará-lo com duas comunidades de cerrado *sensu stricto* (uma queimada bienalmente e outra protegida do fogo), pertencentes ao Projeto “Década dos Trópicos” da Embrapa-Cerrados.

A idéia de que alguns padrões observados na natureza não apresentam diferença entre variações no curto e no longo prazo deram a primeira noção da dimensão fractal proposta por Mandelbrot em 1982, que introduziu o conceito de fractais, uma ferramenta matemática que descreve a variação espacial em diferentes escalas. Os fractais podem apresentar uma infinidade de formas. O que existe de comum entre todos eles são a auto-semelhança e a complexidade infinita, ou seja, apresentam cópias aproximadas de si em seu interior.

A proposição da dimensão fractal por Mandelbrot tornou possível a compreensão matemática de todas as formas antes consideradas “imperfeitas”. Segundo Mandelbrot “nuvens não são esferas, montanhas não são cones e continentes não são círculos”. Um fractal é um objeto que possui detalhes em qualquer escala espacial. Por exemplo, um círculo não é um fractal pois se observarmos a linha que descreve um círculo baixo uma lente de aumento, aquela

porção magnificada do círculo, ainda se assemelhará à uma linha (ou seja, aquela porção não mostrará qualquer detalhe) (Gleick 1987; Palmer 1988). “O número de diferentes escalas de comprimento que se observa na natureza é, para todos os efeitos, infinito”. A existência dessas diferentes escalas, nos desafia a estudar aquelas formas que Euclides deixou de lado por não possuir uma forma definida; “desafia-nos a investigar a morfologia do amorfo” (Mandelbrot 1982).

Para entendermos se o fogo altera a composição e a dinâmica das gramíneas do Cerrado temos, inicialmente, que conhecer as leis que regem este sistema. A utilização das equações que regem os fractais pode nos ajudar a descrever os efeitos do fogo na comunidade de gramíneas do Cerrado, já que a vegetação pode ser classificada como um fractal pois apresenta detalhes em todas as escalas.

Quase sempre há dependência espacial na distribuição de uma vegetação (Palmer 1988). Comumente na análise de vegetação, os ecólogos buscam averiguar se a distribuição da vegetação é homogênea ou heterogênea na paisagem. Quando amostramos uma vegetação, as amostragens que estão próximas entre si no campo, geralmente possuem uma composição florística mais semelhante que aquelas amostragens que distam entre si (Palmer 1988). No campo sujo do Cerrado, por exemplo, é comum encontrar espécies de gramíneas agrupadas no campo. Numa escala espacial pequena (de poucos metros), a vegetação parecerá homogênea; numa escala maior (de dezenas à centenas de metros), a presença destes agrupamentos de plantas no campo aumentará sua heterogeneidade.

Na análise da geometria fractal, “homogêneo” significa “que permanece similar mesmo quando subdividido em partes menores”; e “heterogêneo” significa “possuir um alto grau de dependência espacial” (Palmer 1988). Ou seja, o conceito de homogeneidade da vegetação, dependerá da escala e a análise fractal pode ser útil para descrever a variação espacial existente na vegetação.

Na tentativa de compreender melhor as diferenças da distribuição espacial da vegetação graminosa do Cerrado quando submetida ao fogo, este estudo teve por objetivo avaliar a variação espacial da comunidade de gramíneas de Cerrado em duas situações. Na primeira comparou-se cinco áreas de campo sujo que são submetidos a regimes de queima diferentes, tanto na frequência (bienal, quadrienal e sem queima) como época de queima (junho, agosto e setembro, no caso da queima bienal). A segunda avaliou as modificações em duas áreas de cerrado “*senso stricto*”, uma com regime de queima bienal e outra protegida de queima, acompanhadas ao longo de 7 anos. Desta forma pudemos avaliar os efeitos do fogo na comunidade de gramíneas tanto no longo prazo como sob regimes de queima distintos.

Nossa premissa é que as áreas protegidas do fogo deverão apresentar uma paisagem heterogênea com dependência espacial e áreas queimadas deverão ser espacialmente independentes do substrato e com uma distribuição homogênea.

Material e Métodos

O Projeto Fogo

O Projeto Fogo da RECOR/IBGE já foi descrito no Capítulo 2.

Coleta de Dados

A coleta de dados foi feita através do método da linha em abril de 2001 nas cinco parcelas experimentais de campo sujo do Projeto fogo. Cada área foi plotada em gráfico quadricular sendo que cada quadrado media 1 metro. Os quadrados foram numerados sequencialmente. A escolha do local onde cada linha seria estendida foi baseada numa tabela de números aleatórios. Foi desconsiderado o espaço que perfazia o início da vegetação até 5 metros entrando na parcela para evitar o efeito de borda. No levantamento foram amostradas apenas espécies de gramíneas. Este método consiste em estender uma linha no campo e todos os indivíduos que a tocam ou estão abaixo do seu plano vertical, são contados. Em cada parcela, uma linha de 64 metros foi estendida aleatoriamente. Para facilitar o levantamento a linha apresentava demarcações precisas de metro em metro, totalizando 64 segmentos contínuos de 1 metro de comprimento cada. Neste estudo foram obtidas a frequência absoluta e relativa das espécies. Para isso foram anotadas, para cada metro amostrado, todas as espécies encontradas a 5 cm para a direita e para a esquerda da projeção da corda de náilon. Os indivíduos que entraram na contagem e não foram identificados de imediato foram coletados para identificação posterior em herbáreo. Foram coletadas no mínimo dois espécimens de cada espécie, sendo que uma ficou sob a posse da pesquisadora e a segunda foi depositada no herbáreo da UnB. Cada amostra foi individualizada e levada à estufa por 48 horas. Nas etiquetas foram anotado tanto as características observadas no campo como as que não se perdem

após prensadas. A identificação do material botânico foi feita pela pesquisadora Regina da Silva Borges (EMBRAPA-Recursos Genéticos e Biotecnologia).

Projeto “Década dos Trópicos” da EMBRAPA CERRADOS

O Programa da Década dos Trópicos fez parte de um Programa Internacional entre a União Internacional das Ciências Biológicas- IUBS, a Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura - UNESCO e o Programa DIVERSITAS, uma parceria entre a IUBS, a UNESCO e o SCOPE (Comitê Científicos para Problemas Ambientais). O objetivo da Década dos Trópicos foi buscar o entendimento do funcionamento das savanas frente aos distúrbios e estresses, tanto de origem antópica como natural. No Brasil a Década dos Trópicos foi desenvolvida na unidade experimental da EMBRAPA CERRADOS em Planaltina DF. O trabalho de campo objetivou desenvolver estudos referentes à dinâmica do estrato herbáceo da fitofisionomia cerrado “*sensu stricto*” e a previsão de respostas ao distúrbio fogo.

Área de estudo

A área de estudo está localizada segundo as coordenadas geográficas 15° 38' S e 47° 37' W , cerca de 32 Km de Brasília, dentro da área experimental do Centro de Pesquisa da unidade EMBRAPA Cerrados. O Cerrado ralo, a forma mais baixa e menos densa de um Cerrado *sensu stricto*, é um tipo de vegetação arbóreo – arbustiva, com a cobertura arbórea de 5% a 20% e altura média de 2 a 3 metros. O

clima pode ser classificado como AW com 5 meses de estação seca , precipitação média anual de 1577 mm e temperatura média anual de 20,4 ° C. O solo é Latossolo Vermelho-Escuro álico (Embrapa 1978) desenvolvido a partir da decomposição da cobertura dendrítrico-laterítica de caráter argiloso do Terciário. Maiores detalhes sobre os solos do Experimento da Década dos Trópicos estão em Spera *et al.* (2000).

O experimento foi conduzido em duas áreas adjacentes de 1,25 ha, uma sem fogo desde 1979, submetida à ação bienal do fogo, e outra protegida. Em cada área foram estabelecidos quatro transeções fixas em 1988, sendo dois na área queimada bienalmente (transeções A e B) e dois na área protegida (transeções C e D). As duas áreas eram contíguas. Foi realizado o levantamento quantitativo das gramíneas utilizando-se o “método da linha” (Mantovanni 1987)

Todas as transeções possuíam 100 m de comprimento e 20 m de distância entre si e cada transeção foi dividida em segmentos de 1m; ou seja, ao longo da linha foram estabelecidos segmentos amostrais de 1m; perfazendo um total de 200 amostras na área protegida e 200 na queimada. Esta foi submetida à queima no mês de agosto dos anos 1988, 1990, 1992 e 1994.

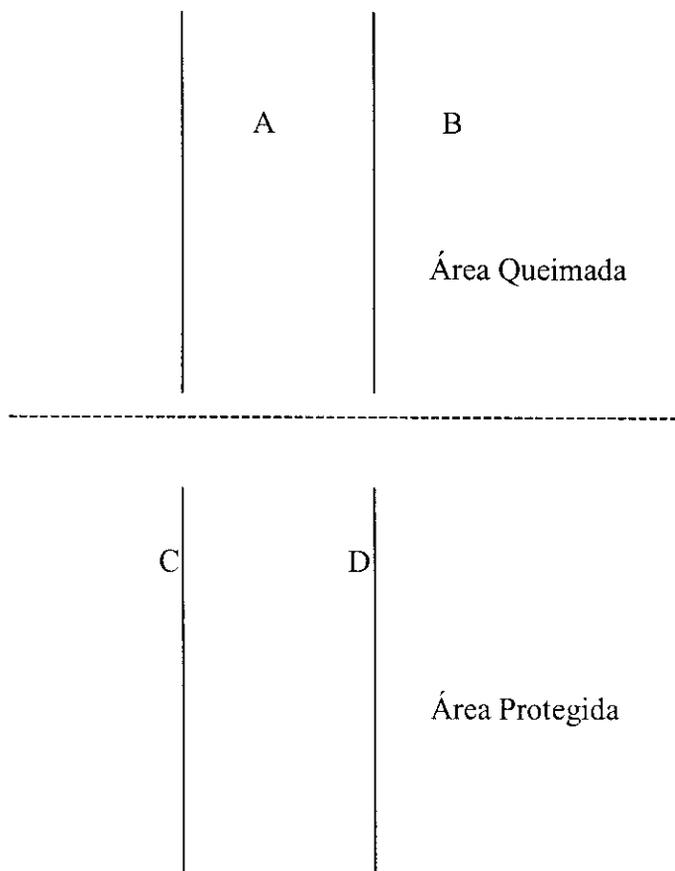


Figura 1: Desenho esquemático do posicionamento das transeções de 100 m fixas do Projeto da Década dos Trópicos, na área de cerrado *sensu stricto* que faz parte do sistema de reservas da Embrapa-Cerrados em Planaltina, DF.

Coleta de dados

A coleta de dados foi feita anualmente entre os anos de 1988 e 1994. Foram consideradas como pertencentes ao estrato herbáceo todos os indivíduos com menos de 1 metro de altura. Cada transeção correspondia à projeção de uma corda de náilon esticada na área a ser amostrada e que apresentava demarcações precisas de metro em metro, totalizando 100 segmentos contínuos de 1 metro de comprimento cada.

O método da linha permite a obtenção de todas as medidas padrões utilizadas em um levantamento de vegetação. Neste estudo foram obtidas a frequência absoluta e relativa das espécies. Para isso foram anotadas, para cada metro amostrado, todas as espécies encontradas a 5 cm para a direita e para a esquerda da projeção da corda de náilon. Como os dados do Projeto Fogo foram coletados ao longo de 64 metros contíguos optou-se por considerar apenas os primeiros 64 metros da linha de 100 metros no experimento da Década.

Análise da Geometria Fractal

A variação da composição de espécies de uma comunidade em diferentes escalas pode ser calculada pelo semivariograma, que é uma representação gráfica do grau de dependência da variância de uma variável dependente em relação à escala, ou seja, o grau de mudança da variância em função da escala (Palmer 1988). Deste modo, o semivariograma pode ser útil para distinguir distintos padrões espaciais na vegetação.

Para se construir um semivariograma, é necessário definir a semivariância. A semivariância $V(h)$ é definida por:

$$V(h) = \frac{\sum (X_i - X_{i+h})^2}{2N - h}$$

Onde X_i é o valor de uma variável dependente no ponto i ao longo de um transecto, X_{i+h} é o valor desta variável no ponto $i + h$ (h é a distância) e $N(h)$ é o número de

pares de pontos separados pela distância h . O semivariograma é o gráfico da semivariância $V(h)$ em função da distância (h), quando plotado em escala logarítmica.

Segundo Burrough (1983) a dimensão fractal (D) do gráfico da variável dependente X em função da sua posição ao longo do transecto, pode ser calculada à partir da inclinação m do gráfico do semivariograma, de acordo com a seguinte equação:

$$D = \frac{4 - m}{2}$$

Esta equação reflete a mudança na variância de uma variável dependente quando a escala dobra de tamanho (Palmer 1988). Por exemplo, se a variável dependente X é uma função linear da distância, o semivariograma será uma parábola, e a inclinação do gráfico (em escala log) de uma parábola é 2. Portanto, sua dimensão fractal será igual a 1 (Palmer 1988). Se os valores da variável dependente X em duas amostras que estão próximas entre si no campo não difere de duas amostras que distam entre si no campo, a inclinação do semivariograma será zero e a dimensão fractal $D = 2$, ou seja a vegetação é homogênea em qualquer escala espacial (há independência espacial) (Palmer 1988). Portanto a dimensão fractal é um índice do grau de dependência espacial da variável em questão.

Segundo Palmer (1988) há diversos modos de se mostrar graficamente a dimensão fractal como uma função da escala. A abordagem utilizada aqui foi a mesma utilizada por este autor, ou seja, pelo cálculo da inclinação do semivariograma para cada distância (em escala log, como descrito acima). Quando se plota a dimensão fractal D em função da escala, obtém-se um gráfico que foi chamado por Palmer (1988) de um "fractograma", que permite interpretar em quais escalas de espaço um ecossistema pode ser considerado homogêneo.

No exemplo a seguir Palmer (1988) hipotetizou algumas comunidades para demonstrar como a dimensão fractal pode variar. Observa-se que no gráfico da seqüência de segmentos da comunidade A, a variação de espécies é a mesma em qualquer ponto do gráfico. Nesta situação quando calculamos o semivariograma o gráfico é uma linha reta, o que indica que esta comunidade é homogênea e independente do substrato. Ou seja qualquer ponto da comunidade que se escolha será significativamente representativo já que nesta comunidade todos os pontos apresentam a mesma variação. Calculando a dimensão pela fórmula $D = (4-m)/2$, encontramos:

$$D = (4-0)/2 = 2.$$

No caso da comunidade B existe uma variação das espécies em pequenas e grandes escalas. Tomando-se 10 metros como exemplo, encontra-se diferentes composições florísticas para esta comunidade. À medida que se aumenta a distância, para 30 metros por exemplo, a composição florística continua variando. Por isto quando se calcula o semivariograma o gráfico é uma reta que apresenta inclinação

em toda sua extensão. Como a inclinação é igual a 1,0 a dimensão fractal será 1,5 o que indica que esta comunidade é heterogênea em pequenas e grandes escalas e dependente do substrato. Finalmente na terceira comunidade em pequenas escalas não se observa uma variação na composição de espécies, no entanto ela é observada em grandes escalas. Por isto quando é feito o semivariograma ele é reto em pequenas escalas e inclinado para grandes escalas. A dimensão fractal neste caso é 2 para pequenas escalas e 1 em grandes escalas indicando que esta comunidade apresenta uma homogeneidade em pequenas escalas com independência espacial e uma heterogeneidade espacial em grandes escalas com dependência do substrato.

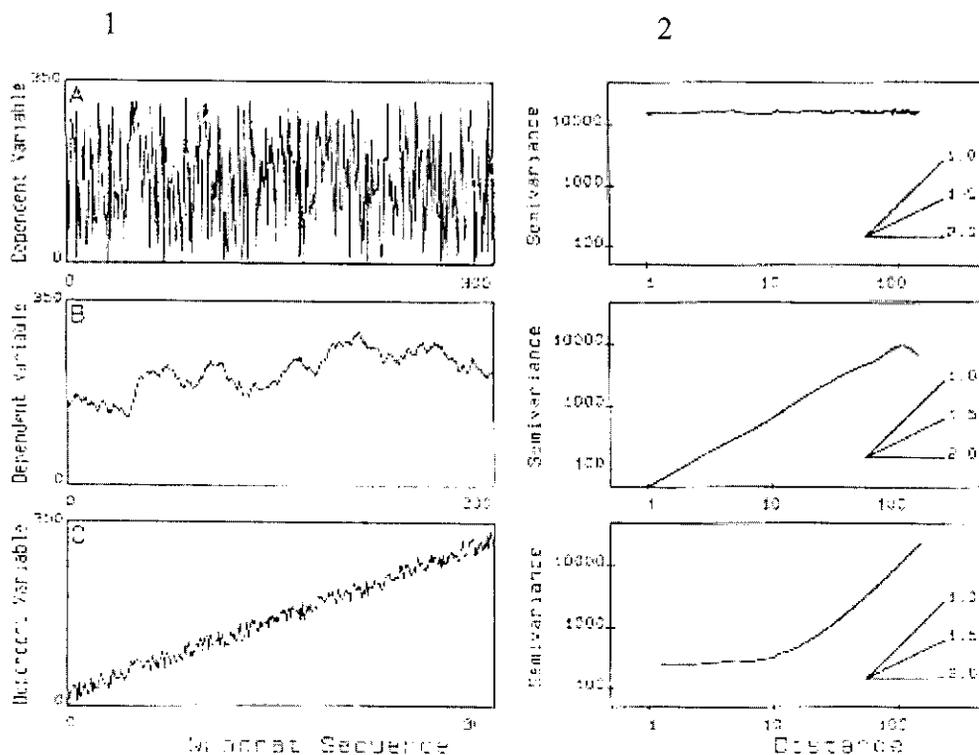


Figura 2: valores da variável dependente ao longo dos segmentos contíguos (1), seus semivariograma (2) correspondentes. Gráficos extraídos e modificados de Palmer (1988).

Resultados

Os dados ordenados pela análise de componentes linearizada (ACL). Os valores do primeiro eixo do ACL foram utilizados como as ordenadas dos gráficos pois foi reportado que eles são um bom índice da composição de espécies (Palmer 1988).

As dimensões fractais obtidas para todas as comunidades estudadas, geralmente não foram uma função constante da escala, o que implica que a composição amostrada não foi similar (ao longo da escala dos transectos). As linhas do Projeto Fogo são todas homogêneas, embora a área controle tenha a composição florística mais heterogênea dentre todas as áreas amostradas, seguida das áreas quadrienal, bienal modal, tardia e precoce. As áreas do Projeto Fogo tiveram maior variação que as da Década devido ao maior número de espécies amostradas (Tabela 1). No Projeto da Década o transecto A quando amostrado em 1994 (A94) teve a composição florística mais heterogênea seguida pela D88, D94, C94, B94, A88, B88 e C88.

As depressões e picos no gráfico da ACL representam mudanças na composição de espécies já que os valores diferentes do eixo Y indicam uma composição de espécies diferente. No ACL do controle, por exemplo, entre os segmentos 36 a 41 existe uma grande mancha de *Paspalum pectinatum* o que explica a grande depressão no gráfico e igualmente o mínimo que se segue onde existe outra mancha, de capim gordura (*Melinis minutiflora*).

Tabela 1: valores de média e variância dos índices de composição florística obtidas pelo primeiro eixo de variação da ACL das linhas de 64 metros levantadas em abril de 2001 para todas as áreas amostrais do Projeto Fogo, localizado na Reserva Ecológica do IBGE e em 1988 e 1994 para as áreas A, B C e D do Projeto da Década dos Trópicos, localizado na Reserva da EMBRAPA-Cerrados em Planaltina-GO. N=64

Área	Média	Variância	Desvio Padrão
A94	91,8	989,2	31,5
B94	89,8	670,4	26,0
C94	72,8	689,4	26,6
D94	56,0	731,3	27,0
A88	85,2	551,0	23,5
B88	107,0	433,8	20,9
C88	93,5	389,0	19,7
D88	114,4	893,8	29,9
CONTROLE	170,4	5867,1	76,6
QUADRIENAL	100,3	2819,3	53,1
PRECOCE	105,0	1676,1	41,0
MODAL	47,1	2427,2	49,2
TARDIA	79,3	2007,0	44,8

Onde: A, B correspondem às réplicas de queimadas bienais e C e D às protegidas de fogo do Projeto da Década dos Trópicos e 88 e 94 correspondem aos anos de 1988 e 1994 quando da coleta dos dados. Controle, Quadrienal, Precoce, Modal e tardia correspondem às áreas do Projeto Fogo.

Desta forma nos gráficos de ACL pode-se identificar áreas onde a composição é semelhante, quando os valores são aproximados.

Os semivariogramas mostram como a composição varia, quando as comparações são feitas em diferentes escalas. Na verdade a mudança de escala aumenta o “zoom” da ACL e por isso, à medida que se aumenta a escala as curvas se tornam mais suaves (menos acentuadas). Os valores mínimos no semivariograma indicam que a variância diminui naquela escala, indicação de que algum padrão se repete.

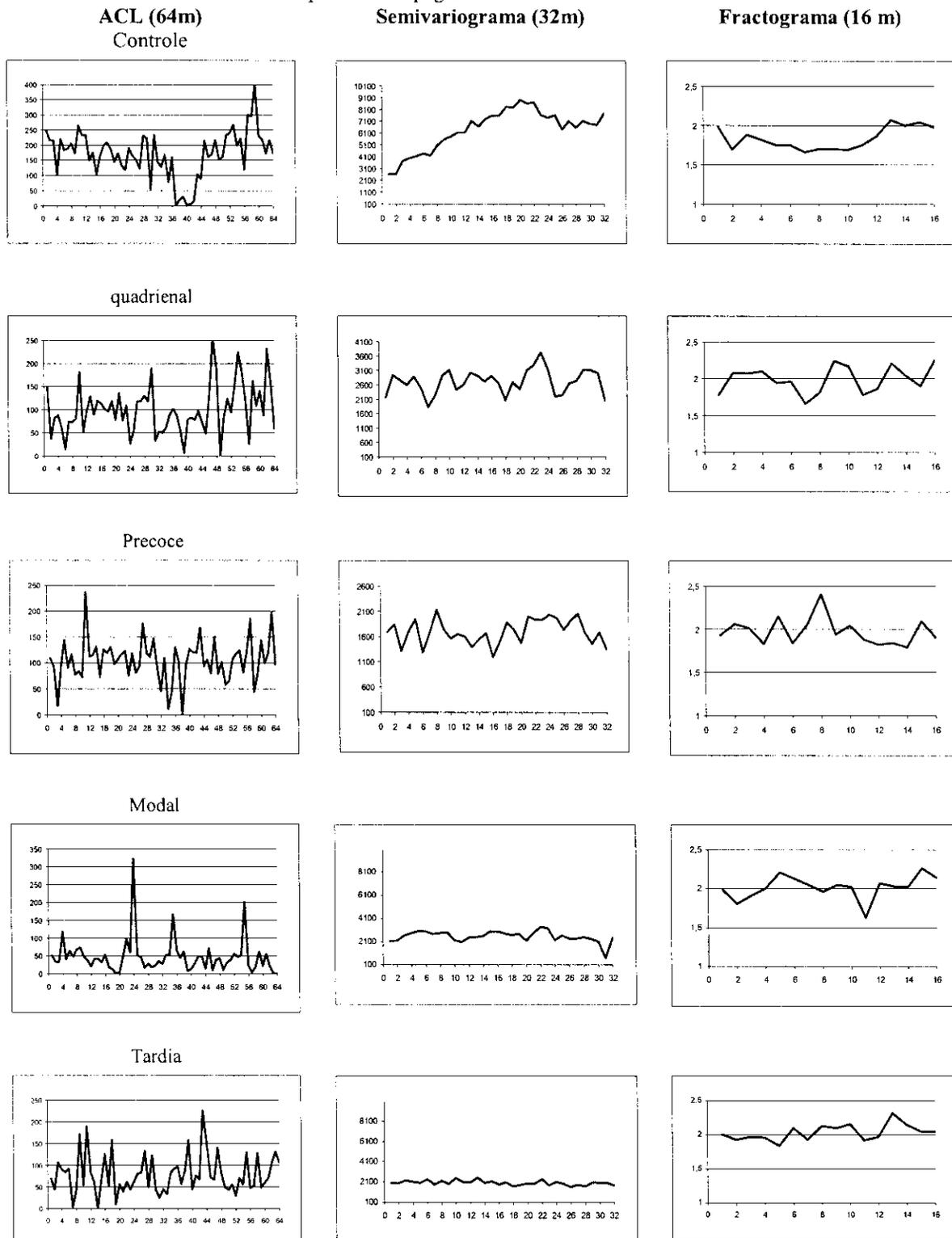
A independência espacial do substrato pode ser observada em todas as áreas experimentais do Projeto Fogo (Figura 2). Isto quer dizer que dois segmentos vizinhos tem, na média, a mesma probabilidade de serem similares a dois segmentos distantes. Para verificar graficamente tal padrão basta observar que a dimensão fractal para todas as áreas está variando em torno de 2.

Na área controle, entre as escalas 2 a 11, o gráfico tem a dimensão inferior à 2 e nas escalas 13, 14, 15, e 16 tem dimensão $D=2$. Podemos apenas falar de dependência espacial ou heterogeneidade quando D é menor ou igual a 1,5. Por isto a área controle é considerada homogênea e independente do substrato. Podemos apenas sugerir que existe uma tendência, nesta área, de menor homogeneidade em escalas de 24 metros aproximadamente.

A área quadrienal apresentou um padrão de composição homogênea já que mesmo os picos e depressões ao longo dos 64 metros amostrados são aproximadamente constantes (Figura 3). Os picos no fractograma são observados nas escalas 18 (9x2), 26 (13 x 2) e 32 (16 x 2), embora todos sejam pouco definidos. Esta área também é considerada homogênea e independente do substrato.

Na área precoce a homogeneidade da composição de espécies também foi observada, mas aqui há microheterogeneidade pois pode-se identificar grupos de composição relativamente semelhantes a cada 16 metros. Este padrão é confirmado pelo pico observado no fractograma na escala de 16 (8x2) metros. Esta área deve também ser considerada homogênea e independente do substrato, pois a dimensão fractal oscila em torno de 2.

Figura 3: Figura: valores da variável dependente ao longo dos segmentos contíguos (1), seus semivariograma (2) e fractogramas (3) correspondentes. Dados coletados no projeto Fogo em 2001. Para maiores detalhes vide anexo explicativo na página 88.



A área modal também é homogênea. Na Figura da ACL podemos identificar um estrato uniforme e contínuo e pontos onde aparecem outras espécies.

O semivariograma e o fractograma evidenciam a homogeneidade da área com pouca variação da composição ao longo da escala e a dimensão fractal em torno de 2, respectivamente.

A área tardia apresenta uma homogeneidade bastante acentuada com microheterogeneidade. O semivariograma mostra uma pequena variação na escala 26 também identificada pelo pico no fractograma na mesma escala 26 (13x2). Esta área também é homogênea (independente do substrato).

Se dois segmentos são espacialmente independentes eles podem ser considerados réplicas estatisticamente independentes. Se a dimensão fractal maior que 2 indica independência espacial, podemos considerar que as amostras podem ser espaçadas pelas distâncias onde a dimensão fractal é 2 (Palmer 1988). Na área controle as amostras devem estar separadas aproximadamente 13 metros. Entretanto, nas áreas queimadas a dimensão fractal igual ou maior que 2, ocorre em várias escalas. Neste caso, relacionar a composição de espécies com a variação espacial é uma tarefa difícil pois a similaridade entre os transectos vale tanto para pequenas como para grandes distâncias. Para experimentos de campo tem-se, nestes casos, a vantagem que qualquer pequena amostra nestas áreas, é representativa, pois a área é verdadeiramente homogênea. A situação ideal para sugerir um gradiente ambiental é quando a dimensão está próxima de 1 (Phillips 1985), mas a falta de independência

espacial pode ser confundida com gradiente ambiental quando a dimensão vale para as distâncias que separam os gradientes.

As análises de componentes linearizada (ACL) do Projeto Década mostram que existem diferenças na composição ao longo dos transectos para algumas áreas (Figura 4). As áreas A88 e A94 são homogêneas. No levantamento de 1994, seis anos após o primeiro, observa-se uma interessante mudança na composição das espécies. A área A aumentou a variação na composição de espécies. Nota-se que a escala do ACL que em 1988 variava entre 30 a 120 em 1994 varia entre 35 a 160. Os semivariogramas para 1988 e 1994 são horizontais com oscilações de microheterogenidade.

As dimensões dos fractogramas não são muito diferentes de 2. Em A88 são observados picos na escala 4 (2x2), 18 (9x2) e outro em 30 (15x2), mas observa-se que são muito sutis, não podem ser considerados blocos. Da mesma forma em A94 observa-se um pico em 12 (6x2) e outro maior em 26 (13x2), porém também são pequenos e não podem ser considerados blocos ou manchas homogêneas.

Na área B88 parece haver três partes de vegetação mais homogênea. Uma primeira dos segmentos 1 a 24, a segunda mais homogênea entre os segmentos 25 a 44 e a última também mais heterogênea entre os segmentos 45 ao 64. O semivariograma de B88 mostra três mínimos em 12, 15 e 20. De 22 adiante volta a aumentar a variância. O fractograma mostra apenas um pico em 10, ou seja blocos com 20 metros. No entanto o pico não é muito alto e não parece muito expressivo.

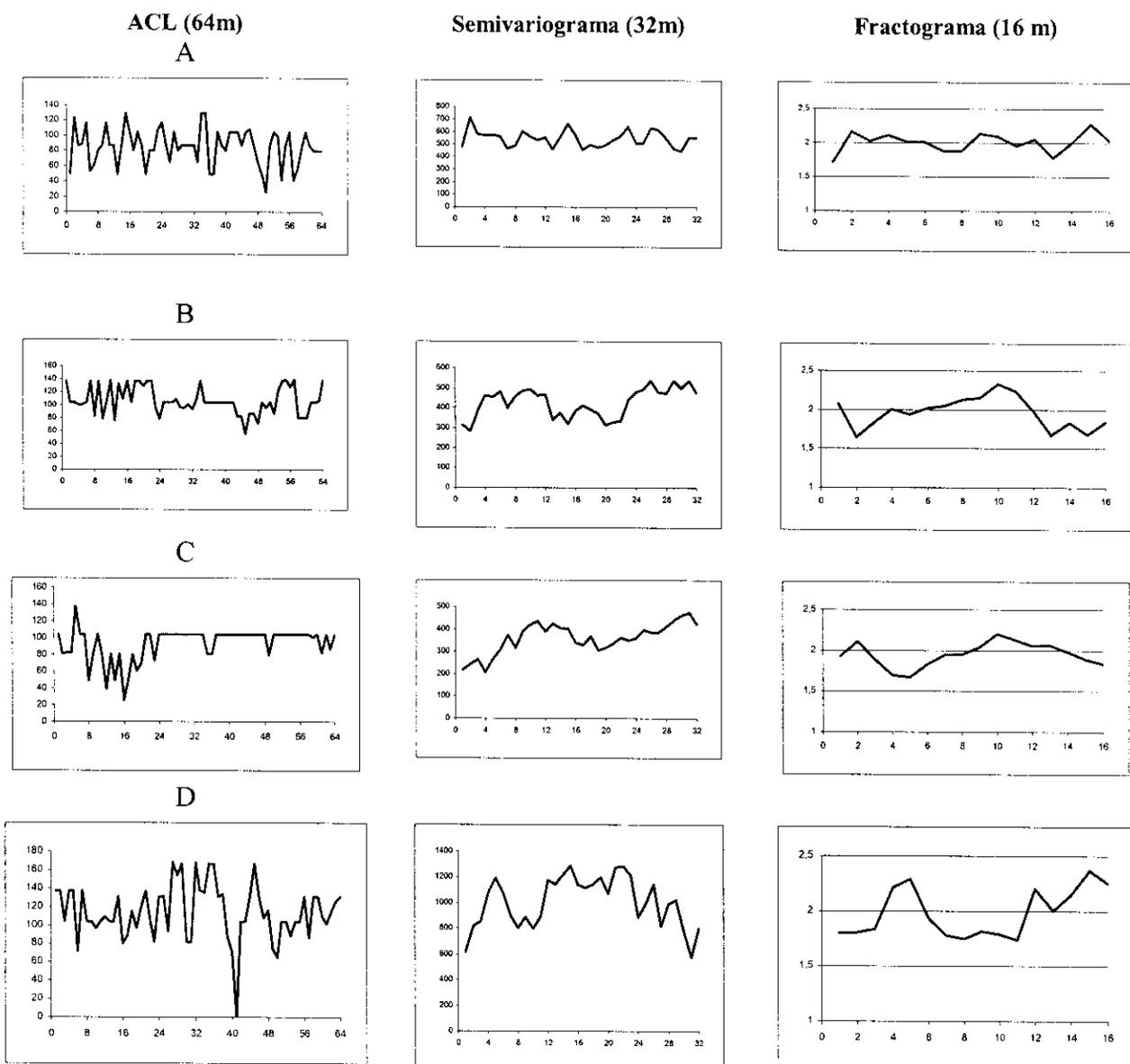


Figura 4: valores da variável dependente ao longo dos segmentos contíguos (ACL), seus semivariograma e fractogramas correspondentes. Dados coletados no projeto da Década dos Trópicos em 1988. Onde os transectos A e B queimados bienalmente e transectos C e D protegidos de queima. Para maiores detalhes vide anexo explicativo na pg 88.

É importante salientar que os semivariogramas não são muito eficientes para detectar blocos, os mínimos de 12 e 15 não aparecem no fractograma.

Note que no ACL desta área sugerimos três blocos de aproximadamente 20 metros com composição florística distinta. Esta área pode ser considerada independente do substrato o que é confirmado analisando as dimensões fractais que giram em torno de 2.

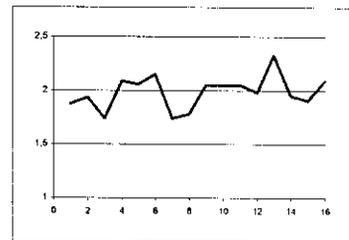
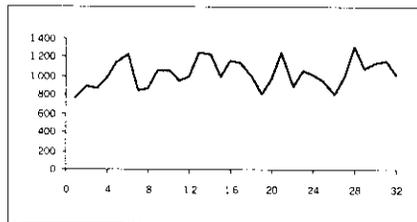
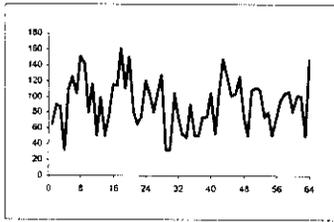
Em 1994 a homogeneidade continua, mas existe microheterogeneidade. Se continuamos a calcular a variação aumentando a escala as variações vão diminuindo até desaparecer quando todos os segmentos estiverem representados por um único. Na área C88 entre os segmentos 24 e 33, 39 e 47 e 49 a 57 a composição de espécies não varia; neste caso podemos considerar que nestes segmentos a composição de espécies tem variância zero e portanto que são manchas homogêneas. C88 apresenta independência do substrato com mínimos no semivariograma em 4, 5, 12, 16, e 20. No fractograma tem-se dois picos, um pequeno de 4 metros (2x2) e um maior de 20m (10x2). Esta área pode ser portanto considerada homogênea e independente do substrato. Em C94 a área também é homogênea, mas comparando os semivariogramas, observa-se que em C88 os picos e vales são mais suaves. O fractograma tem apenas dois picos em 1988 e em 1994 tem 4 (6 (3x2), 12 (6x2), 20 (10x2) e 30 (2x15)), mas observa-se que todos são pequenos. O pico observado de 24 m (12x2) como tem dimensão inferior à 2, pode ser apenas uma casualidade. C94 portanto também pode ser considerada uma área homogênea e independente do substrato.

ACL (64m)

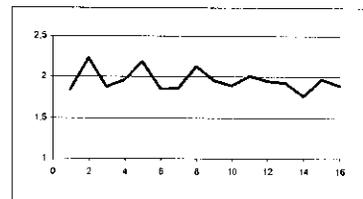
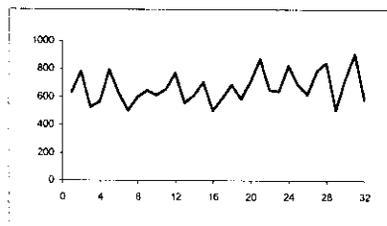
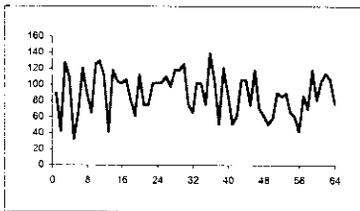
Semivariograma (32m)

Fractograma (16 m)

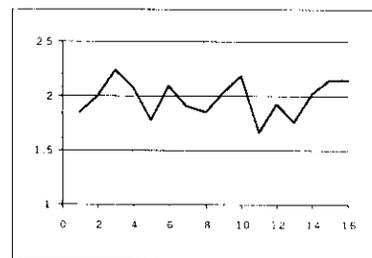
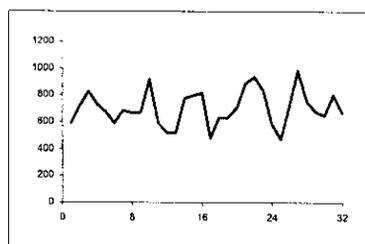
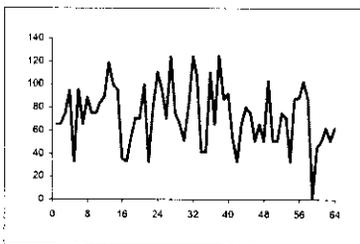
A



B



C



D

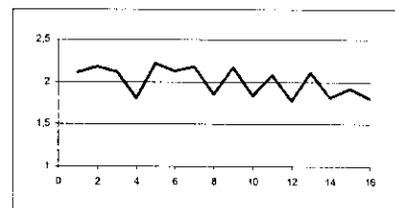
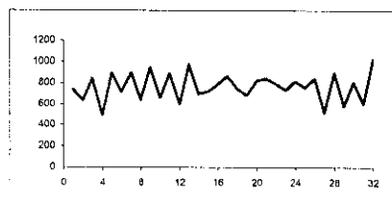
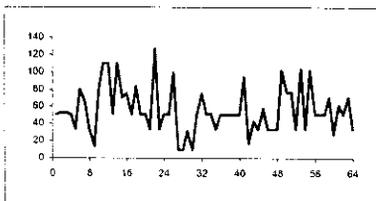


Figura 5: valores da variável dependente ao longo dos segmentos contíguos (ACL), seus semivariograma e fractogramas correspondentes. Dados coletados no projeto da Década dos Trópicos em 1994. Onde A e B correspondem aos transectos queimados bianalmente e C e D correspondem aos transectos protegidos de queima. Para maiores detalhes vide anexo explicativo na página 88 .

Na área D encontramos a maior variação na composição entre as áreas de 1988. Pode-se observar pelo menos 2 padrões distintos na composição. Observa-se que na ACL, existe variação entre escalas de 10 e 30 metros. Podemos confirmar este padrão com os mínimos de 10 e 30 no semivariograma e os picos em 10 metros e 30 metros no fractograma. Podemos concluir que D88 é uma área homogênea e independente do substrato. Em 1994 a área D é mais homogênea que em 1988, e a mais homogênea de todas as áreas do Projeto Década, o que é facilmente notado observando as diferenças no semivariograma. Este padrão de dentes serrilhados no semivariograma sugere uma microheterogenidade. Podemos concluir que esta área é homogênea e independente do substrato. É importante salientar que a dinâmica nas áreas (o tempo transcorrido entre uma medição e outra), é um importante fator atuando na mudança da composição o que pode resultar na dependência da escala espacial.

Discussão

Os resultados obtidos neste estudo mostram que todas as áreas de campo sujo do Projeto Fogo são homogêneas e independentes do substrato. A comunidade de gramíneas das áreas de cerrado *sensu stricto* do Projeto da Década dos Trópicos também apresenta o mesmo padrão de distribuição espacial homogênea e independente do substrato.

No Projeto Fogo podemos sugerir que a área controle, protegida de queima há pelo menos 28 anos quando este estudo foi realizado, tende a apresentar uma

paisagem mais heterogênea, com uma variação maior entre os segmentos, a pesar desta área também ser considerada independente do substrato e espacialmente homogênea.

A maior complexidade da área controle pode explicar a tendência a uma maior heterogenidade. As particularidades de microclima, por exemplo, que ocorrem nesta área, pelo maior número de lenhosas que nas áreas queimadas, promovem a criação de nichos que naturalmente vão favorecer a formação de diferentes grupos de espécies. Ao contrário, nas áreas queimadas o estrato arbóreo e subarbustivo é proporcionalmente menor e mesmo visualmente estas áreas aparentam ser mais homogêneas. Como a distribuição espacial de uma espécie também está relacionada com sua história de vida, para compreendermos o padrão de distribuição espacial de determinada população é importante ter o conhecimento da forma de reprodução e a resposta da espécie ao distúrbio. *Echinolaena inflexa* por exemplo foi considerada uma espécie que apresenta plasticidade de reprodução, uma vez que em áreas queimadas aumenta sua reprodução via sementes e rizomas (Miranda 1997). Por isto esta espécie responde positivamente ao distúrbio. No entanto algumas espécies não alteram seu modo de reprodução tendo inclusive uma tolerância pequena ao fogo (Klink e Solbrig 1994).

A dinâmica espaço temporal do processo de sucessão de uma comunidade é fortemente influenciada pelo tipo de distúrbio, do regime (estação, intensidade, amplitude, intensidade e frequência) (Pickett e White 1985). Outros fatores que também influenciam a resposta da comunidade ao distúrbio é o estado da

comunidade antes do evento, desta forma distúrbios freqüentes podem influenciar a diversidade da comunidade, selecionando espécies tolerantes. A ausência de distúrbios, por outro lado, pode selecionar comunidades formadas por espécies dominantes. Esta variação nas respostas das espécies vai determinar tanto o padrão de distribuição espacial como a estabilidade da área. Tanto no campo sujo quanto no cerrado *sensu stricto*, é comum observar agregação de plantas entre as espécies de gramíneas. Podemos imaginar portanto, que antes da ocorrência de um evento de distúrbio (fogo, por exemplo), estas comunidades serão caracterizadas por “manchas” de vegetação, ou seja, espaços com maior heterogeneidade (sobreposição de espécies) entremeados por espaços mais homogêneos. Quando ocorre um evento uma queimada a comunidade voltará a seu estado anterior (dependendo de sua resiliência) ou apresentará uma nova distribuição das espécies, em função da sua capacidade em recolonizar os espaços abertos. Imaginando que cada espécie possui uma história de vida que lhe permita ser uma boa colonizadora, podemos supor que esta área dificilmente apresentará a mesma configuração que tinha anterior á queima. Do contrário aquelas espécies que possuam a capacidade de espalhar propágulos, ou que tenham plasticidade e investir em reprodução assexuada aumentarão sua freqüência bem como sua área de ocupação. Se imaginamos que este evento, em que várias espécie investirão em aumentar seu nicho de ocupação a cada evento de queima, podemos admitir que o fogo promoverá esta homogenização do espaço

Quando Vicentini (1999) mostrou que as queimadas são eventos frequentes no Cerrado, podemos sugerir que este efeito homogenizador está atuante no sistema

desde seu primeiro evento. Obviamente o que faz com que as áreas tenham distribuição distinta e paisagens distintas é a particularidade das espécies que fazem parte daquela área, especialmente nos ecossistemas estudados neste trabalho, pois foram áreas experimentais e homogêneas quanto ao substrato (ou seja, não apresentavam diferenças antes do fogo).

Na área da Década observamos que além do efeito homogenizador do fogo, o tempo, que é um dos fatores mais importantes nos processos ecossistêmicos também atua. As áreas protegidas vão tender à homogeneidade naturalmente, já que neste caso a velocidade de “deslocamento” de espécies secundárias pelas dominantes seria uma função do tempo, que neste caso deveria ser mais longo. A diferença da presença do fogo é que este além de homogeneizar a área traz também um efeito que reduz a diversidade (Capítulo 2) e a estabilidade do sistema.

O efeito homogeneizador do fogo, porém, deveria ser mais rápido, entendendo-se homogeneização como definido por Palmer (1988) no início deste capítulo (“que permanece similar mesmo quando subdividido em partes menores”, ou seja, dependente da escala espacial de distribuição da vegetação). Se imaginarmos o fogo como um evento externo ao sistema, poderíamos supor que uma área queimada tenderia a ir para o seu maior grau de entropia, ou seja desordem. Portanto as espécies que antes estavam separadas em manchas homogêneas, dando um caráter heterogêneo à área como um todo, depois do fogo irão, como os gases em um volume, misturar-se. Se a cada evento de fogo existir esta mistura de espécies, podemos esperar que áreas que queimam com frequência deveriam apresentar uma

independência espacial grande e se tornariam homogêneas. De fato as áreas queimadas foram mais homogêneas e sua dimensão fractal variou em torno de 2 que representa alto grau de independência espacial. Na área controle do Projeto Fogo a dimensão fractal menor que 2 nas escalas pequenas, evidencia a diferença causada pelo fogo neste experimento. Mesmo não tendo a informação da real composição daquela área antes da instalação do Projeto, pode-se supor que as espécies apresentavam o padrão de distribuição observado no controle.

Isto nos leva a sugerir que o fogo tem um importante papel na recolonização das áreas pós-queimada, já que as espécies nas áreas queimadas estão distribuídas muito mais homogeneamente que no controle. Experimentos com fogo em comunidades herbáceas indicam que as queimadas alteram a frequência das espécies (Klink e Solbrig 1994, Miranda 1997, Cardoso et al 2000, Parron e Hay 1997, Murakami & Klink 1996). As queimadas no Cerrado ocorrem principalmente no final da estação seca, quando a maioria das gramíneas está em estado de latência e sofreriam assim um impacto menor que árvores e arbustos.

No Projeto da Década a variável temporal teve um importante efeito nos resultados. As áreas A e B são réplicas de um mesmo efeito, queimada bienal, enquanto as áreas C e D são réplicas do controle sem queima. Em geral a dimensão fractal para todas as áreas variou em torno de 2 e a independência espacial não foi uma constante para todas as escalas. Ou seja, isto reforça a idéia de que após um tempo mais longo, pode-se notar o maior efeito homogenizador das queimadas.

Nos casos estudados aqui, a variação observada na vegetação (comunidade de gramíneas) geralmente apresentou dimensões fractais próximas à 2, o que implica dependência espacial “fraca”. Obviamente isto pode ter sido o resultado da escolha da variável dependente. Por exemplo se ao invés dos valores da ordenação, tivéssemos escolhido biomassa, os resultados poderiam ser distintos. Dados de biomassa mostram que a quantidade de combustível fino acumulada no estrato herbáceo em áreas de campo sujo de Cerrado após dois anos da queima não apresenta diferença significativa com áreas sem queima (Andrade 1998). A biomassa da área controle do projeto Fogo é visualmente distinta das áreas queimadas principalmente as de regime bienal pela quase ausência de elementos lenhosos nestas últimas. Por isto poderíamos, vislumbrando a dimensão fractal do controle através da biomassa total (árvores, arbustos, herbáceas, incluindo a biomassa subterrânea), encontrar uma alta dependência espacial nesta área ($D=1$) comparando-a com as áreas bienalmente queimadas que devem apresentar um valor bem inferior de biomassa pela escassez de lenhosas. Se a biomassa de um campo sujo queimado se recupera rapidamente, esperar-se-ia que a homogeneidade (em qualquer escala) seria maior que aquela obtida quando se considera a composição florística.

Nas áreas de cerrado sensu stricto do projeto da Década e nas de campo sujo do Projeto Fogo, mesmo sendo fitofisionomias distintas, o fogo parece não alterar o padrão espacial de distribuição de espécies sendo este homogêneo e independente do substrato em todas as áreas estudadas.

Conclusões

- 1) comunidade de gramíneas de cerrado apresentou um padrão de distribuição espacial homogênea e independente do substrato;
- 2) o fogo parece promover a homogenização das comunidades estudadas;
- 3) o tempo é outro importante fator que altera a dinâmica espacial das comunidades.

Referências

- Andrade, S. M. DE A. 1998. Dinâmica do combustível fino e produção primária do estrato rasteiro de áreas de campo sujo de cerrado submetidas a diferentes regimes de queimas. Dissertação de mestrado UnB.
- Auld, T. D. & Bradstock R. A. 1996. Soil Temperatures after the passage of fire: Do they influence the germination of burried seeds? *Australian Journal of Ecology* **21**, 106-109.
- Burrough, P. A. 1993. Multiscale sources of spacial variation in soil. I. Application of fractal concepts to nested levels of soil variation. *J. Soil. Science* **34**: 577-597.
- Cardoso, E. L., Crispim, S. M. A, Rodrigues, C. A. G. & Junior, W. B. 2000. Composição e dinâmica da biomassa aérea após a queima em savana Gramíneo-Lenhosa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **35** (11): 2309-2316.

- Coutinho, L. M. 1990. Fire in the ecology of Brazilian Cerrado. In: J. G. Goldammer (ed): Fire in the tropical biota. Springer-Verlag, Berlin. pp 82-105.
- Embrapa 1978. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - Levantamento e reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Boletim Técnico. Rio de Janeiro. 455p.
- IBAMA, 1989. *Parques Nacionais, Reservas Biológicas e Estações Ecológicas do Brasil*. Brasília.
- Klink, C. A. and Solbrig, O.T. 1996. Efeito do fogo na biodiversidade de plantas do cerrado. In: *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina*, G. Sarmiento, M. Cabido (eds.) Cytel y Cielat, Venezuela. p. 230-244.
- Klink, C. A., R. H. Macedo & C. C. Mueller. 1995. De grão em grão o cerrado perde espaço. WWF-PRÒ_CER, Brasília.
- Mandelbrot, B. B. 1982. The fractal geometry of nature. Freeman, San Francisco.
- Miranda, A. C., Miranda, H. S., Dias, I. DE F. O. & Dias, F. S. 1993. Soil and air temperatures during prescribed cerrado fires in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 9:313-320.
- Miranda, M. I. 1997. Colonização de um campo sujo por *Echinolaena inflexa* (Poiret) Chase (Poaceae). Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 77pp.
- Moreira, A. G. 1996. Proteção contra o fogo e seu efeito na distribuição e composição de espécies de cinco fisionomias de cerrado. In: *Impactos de*

- queimadas em áreas de Cerrado e Restinga*. H. S. Miranda; C. H. Saito & B. F. de S. Dias (Eds). Anais do Simpósio das queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. pp:112-121.
- Moreira, A. G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography* **27**: 1021-1029.
- Moreno, J. M. & Oechel, W. C. 1991. Fire intensity effects on germination of shrubs and herbs in southern California chaparral. *Ecology* **72** :1993-2004.
- Palmer, M. W. 1988. Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities. *Vegetatio* **75** : 91-102.
- Parron, L. M. & Hay, J. Du V. 1997. Effect of fire on seed production of two native grasses in the Brazilian cerrado. *Ecotropicos* **10**(1):1-18.
- Philips, J. D. 1985. Measuring complexity of environmental gradients. *Vegetation* **64**: 95-102.
- Pickett, S. T. A. & White, P. S. 1985. Patch dynamics: a synthesis. In: *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. S. T. A. Pickett & P. S. White (eds.). Academic Press, Orlando Florida, USA.. pp:371-884
- Silva, G. T., Sato, M. N. & Miranda, H. S. 1996. Mortalidade de plantas lenhosas em um campo sujo de cerrado submetido a queimadas prescritas. In: *Impactos de queimadas em áreas de Cerrado e Restinga*. H. S. Miranda; C. H. Saito & B. F. de S. Dias (Eds). Anais do Simpósio das queimadas sobre os Ecossistemas

- e Mudanças Globais. 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. pp:93-101.
- Spera, S. T., Reatto, A. ., Correia, J. R., e Silva, J. C. S. 2000. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, no Cerrado de Planaltina, DF, submetido á ação do fogo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35(9): 1817-1824.
- Vicentini, K. R. F. 1999. História do Fogo no Cerrado: uma análise palinológica. Dissertação de doutorado. Universidade de Brasília.129p.
- Vicentini, K. R. F. 1993. Análise palinológica de uma vereda em Cromínia-GO. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.

Conclusões Gerais

As queimadas bienais alteram a paisagem do Cerrado tornando-o menos diverso, mais homogêneo e menos complexo. Estas afirmações foram corroboradas por várias análises distintas. Os padrões de distribuição de abundância indicam que estas comunidades são maduras e que as espécies que as compõe estão sendo selecionadas desde o primeiro evento de queima. As análises de diversos índices de diversidade (Hill, Simpson e Shannon) mostram que a queimada quadrienal do Projeto Fogo mantém a diversidade e a desproporção de espécies dominantes em relação à de espécies intermediárias diminui. As análises de "cluster" igualmente evidenciam que existe uma dinâmica de recolonização nas áreas queimadas e que queimadas quadrienais podem ser uma opção de manejo quando necessário. As análises de componentes linearizada indicam novamente que áreas com regimes bienais são mais homogêneas e com menor heterogenidade espacial. As análises de fractal mostraram que a comunidade de gramíneas é homogênea, independente do substrato, e que tanto o fogo como o tempo exercem um papel importante na homogenização destas áreas, no entanto o fogo além de homogenizar pode promover a perda de espécie no longo prazo. Apesar do fogo ser um determinante das savanas, para a comunidade de gramíneas a distribuição das populações e os padrões de dominância entre as espécies parece ser o resultado de outros fatores que não apenas as queimadas.

ANEXO EXPLICATIVO DOS GRÁFICOS 1,2 e 3

O gráfico 1 apresenta o primeiro eixo de variação da ACL no eixo y e ao longo dos 64 metros amostrados no eixo x. Este gráfico traduz a complexidade de cada área. Segmentos com o mesmo índice de variação apresentam composição semelhante. Quanto maior a variação no eixo y maior a variância na composição de espécies. Os semivariogramas, gráfico 2, mostram a variância da composição em função da escala. As depressões nestes gráficos significam uma diminuição na variação da composição florística, ou seja, que algum padrão está se repetindo. Para que esta depressão seja significativa deve ser bastante profunda. Por exemplo, se existe uma seqüência de espécies que se repete a cada 10 metros quando a escala do semivariograma alcança 10 metros haverá uma depressão indicando que a variância na composição diminuiu. Quando as depressões são muito pequenas elas indicam microheterogenidade (observadas por exemplo nos gráficos das áreas da Década em A88 e A 94, B94). Uma depressão no vigésimo metro indica que a cada 20 metros um padrão se repete. Quanto mais horizontal a curva do semivariograma maior a independência espacial. Os fractogramas, gráfico 3, apresentam o valor da dimensão no eixo y em função da escala no eixo x. Observe que o fractograma é um zoom do semivariograma. À medida que aumentamos a escala (no gráfico 1 a escala é de 64 metros, no semivariograma de 32 e no fractograma 16) obtemos uma visão mais ampliada da composição florística e a curva torna-se cada vez mais suave. Neste gráfico podemos verificar diretamente a independência espacial da dimensão em função da escala. Para que uma área seja dependente do substrato a dimensão deve oscilar entre 1,5 e 1,0. Note que os gráficos giram em torno da dimensão 2,0 o que evidencia uma estreita independência espacial do substrato. Mesmo o fractograma da área controle do projeto fogo não chega a cruzar a dimensão de 1,5 por isto não podemos afirmar que esta área tenha um dependência espacial em pequenas escalas, apenas que apresenta uma tendência.