

# III



## AS RELAÇÕES ENTRE A VEGETAÇÃO E O MEIO FÍSICO DO CERRADO PÉ-DE-GIGANTE

13.

O solo e a comunidade vegetal

Patricia Guidão Cruz Ruggiero  
Vânia Regina Pivello

PARTE III

Apesar de muito estudado, o cerrado ainda desperta grande interesse, por apresentar aspectos aparentemente paradoxais, que geram discussão na literatura. A relação solo-vegetação é um desses pontos controversos da ecologia do cerrado. Por estarem intimamente associados, é intuitivo esperar uma relação de causa e consequência entre solo e vegetação. No entanto, é, ao mesmo tempo, difícil reconhecer os efeitos que um tem sobre o outro. No presente capítulo, investiga-se essa questão na Gleba Cerrado Pé-de-Gigante por meio da interpretação de dados de solo e vegetação, com o auxílio de análises multivariadas. Mais especificamente, foram feitas considerações entre as características físicas e químicas do solo e suas possíveis relações com a variação dos tipos e formas de vegetação encontrados na área.

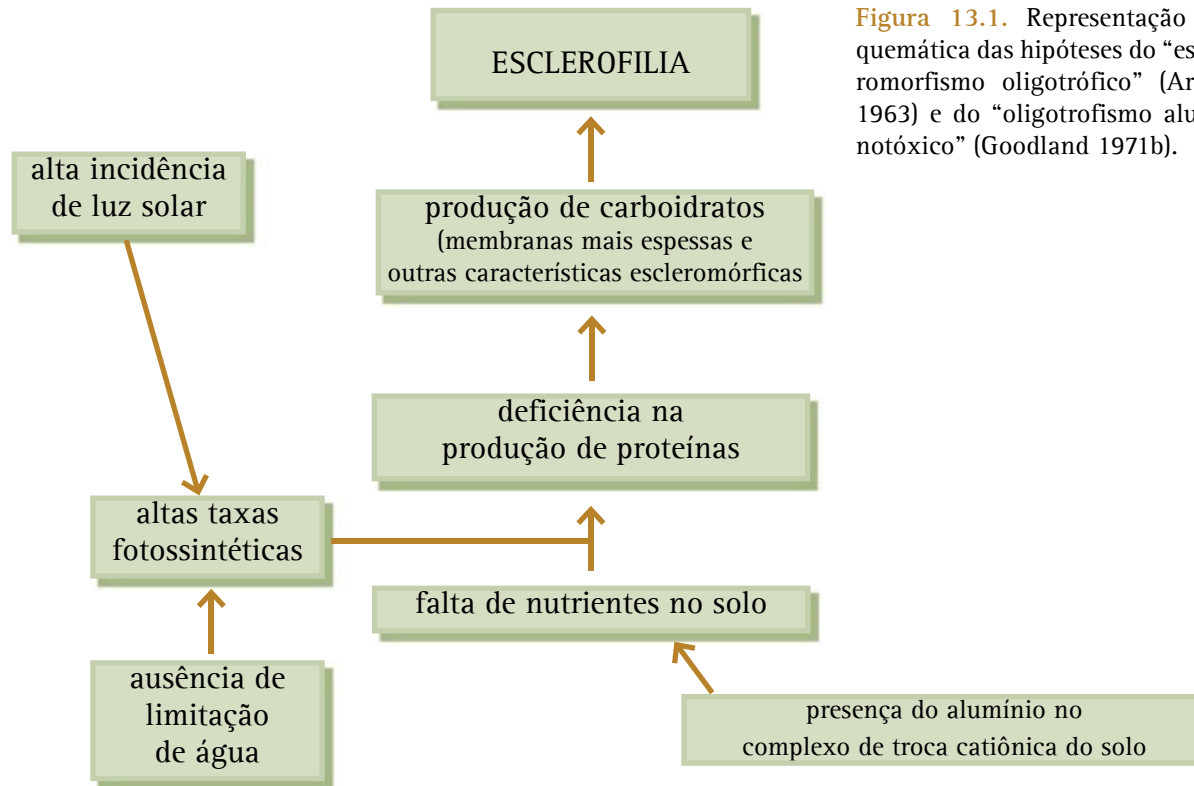
## A relação solo-vegetação no cerrado ao longo do tempo

No início da década de 1940, na tentativa de se compreender melhor as causas da distribuição dos cerrados, foram realizados os primeiros estudos ecológicos sistemáticos na Estação Experimental Cerrado de Emas (Pirassununga, SP) (Rawitscher, 1942; 1948; Rawitscher *et al.*, 1943). Esses trabalhos focalizaram, prioritariamente, os fatores relacionados ao balanço de água para a vegetação, já que o aspecto xeromórfico das plantas havia sido ressaltado pelos primeiros pesquisadores a descrever o cerrado, como Lund (1835, *apud* Rawitscher *et al.*, 1943) e Warming (1908). A hipótese de vegetação xeromórfica intrigou os pesquisadores da década de 1940, uma vez que manchas de cerrado eram encontradas em regiões com predominância de cobertura vegetal florestal, como é o caso do Estado de São Paulo. Assim, Rawitscher *et al.* (1943) propuseram que a ocorrência de campos cerrados em locais onde eram esperadas florestas, bem como o aspecto xeromórfico das plantas, fossem devidos a outros fatores – como queimadas – e não a um possível déficit hídrico, já que os dados de umidade do solo e o comportamento das plantas não eram compatíveis com os de uma situação xérica ou árida.

Outros fatores ambientais começaram, então, a ser apontados pelos pesquisadores como determinantes da vegetação de cerrado. Em 1952, Alvim e Araújo, estudando diversas manchas de cerrado dentro do Domínio Morfoclimático do Cerrado, concluíram que o solo – especialmente com relação ao pH e concentrações de cálcio – constituía o fator ecológico mais importante na distribuição das fisionomias de cerrado. Passou-se, então, a atribuir maior importância às características do solo para a ocorrência do cerrado. O aspecto “xeromórfico” da vegetação, estudado por Rawitscher *et al.* (1943), passou a ser investigado com enfoque nas deficiências minerais do solo, por Arens (1963), que propôs a hipótese do escleromorfismo oligotrófico (Figura 13.1).

No início da década de 1970, Goodland (1971a) afirmou que a fisionomia de cerradão era preferencialmente desmatada para o uso agrícola, por ocorrer sobre solos mais ricos. Ao mesmo tempo, Askew *et al.* (1971) verificaram, numa região de limite entre cerrado e mata, solos distróficos tanto sob o cerrado quanto sob a mata, bem como maiores valores de pH e de cálcio trocável para os solos de cerrado. No entanto, os resultados de Askew *et al.* (1971), discordantes de Alvim e Araújo (1952), não tiveram muita repercussão. A importância do solo para a vegetação de cerrado foi reforçada quando, no mesmo ano, Camargo (1971) reafirmou a idéia de que somente os fatores climáticos não pareciam suficientes para explicar a distribuição dos cerrados.

Em seguida, Goodland e Pollard (1973) mostraram um paralelo entre um gradiente fisionômico do cerrado e um gradiente de fertilidade do solo, numa correlação entre a área basal por hectare e concentrações de fósforo, nitrogênio e potássio. Esses autores enfatizaram que a fertilidade do solo não seria necessariamente a causa do gradiente fisionômico, fato ressaltado por Lopes e Cox (1977) numa revisão sobre o tema. No entanto, alguns autores, como Eiten (1982), referindo-se às manchas de cerrado do Estado de São Paulo, continuaram a atribuir uma relação de causa e efeito à questão da fertilidade do solo no cerrado: “Hence, whether cerrado or forest occurs in this climate depends on the soil fertility.” (Grifo nosso.)



**Figura 13.1.** Representação esquemática das hipóteses do “escleromorfismo oligotrófico” (Arens, 1963) e do “oligotrofismo aluminotóxico” (Goodland 1971b).

Goodland e Pollard (1973) não encontraram correlação negativa significativa entre esse mesmo gradiente de vegetação e o alumínio, porém encontraram correlação negativa significativa entre o alumínio e teores de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{K}^{+}$ . Com base nisso, os autores sugeriram que o principal efeito do alumínio no solo seria o de competir com as bases trocáveis pelos mesmos sítios de troca no complexo coloidal do solo. A idéia de que o alumínio promove o empobrecimento ainda maior do solo ficou conhecida como hipótese do oligotrofismo aluminotóxico (Goodland, 1971b) e foi adicionada à hipótese do escleromorfismo oligotrófico (Figura 13.1).

Posteriormente, uma seqüência de estudos priorizou a investigação das relações entre os nutrientes do solo e a vegetação de cerrado em diversas áreas. No conjunto desses estudos, os resultados apresentados são diversos e muitas vezes discordantes. Entre outros autores que observaram correlação entre o teor de nutrientes e a vegetação de cerrado (Batista, 1988; Silva Júnior *et al.*, 1987; Silva, 1993), é digno de nota que a importância relativa de cada nutriente para a vegetação

tenha variado nos diferentes trabalhos. Num trabalho realizado na região de Mogi-Guaçu, Batista (1988) encontrou correlação entre várias características edáficas – entre elas, o teor de potássio e o pH – com variáveis da vegetação, como altura e área basal, sendo a influência das características edáficas diferente para cada espécie. Silva Júnior *et al.* (1987) encontraram correlação positiva entre os teores de alumínio com altura, densidade e área basal da vegetação. Posteriormente, Silva (1993) encontrou correlação entre matéria orgânica e a área basal, e também verificou que o número de indivíduos era diretamente proporcional aos teores de fósforo, cálcio e matéria orgânica, num gradiente de campo sujo e campo cerrado em direção ao cerrado.

Ao contrário dos trabalhos citados, cujos autores encontraram diferentes fisionomias de cerrado variando simultaneamente com características do solo, outros trabalhos mostraram a variação de características edáficas, sem que tenha sido encontrada correspondência na variação fitofisionômica, mas sim, na flora local. Por exemplo, alguns pesquisadores observaram a existência de dois tipos de cerradão: um associado a solos

mais pobres, e um segundo tipo relacionado a solos mesotróficos e caracterizado pela presença de espécies como *Magonia pubescens* e *Callisthene fasciculata* (Ratter *et al.*, 1977; Oliveira Filho & Martins, 1986; Furley & Ratter, 1988). Silva Júnior *et al.* (1987), estudando áreas de cerradão com variações na composição florística, encontraram apenas duas espécies cuja distribuição está associada às características do solo analisadas – *Eugenia dysenterica* e *Magonia pubescens* –, o que, em parte, parece estar de acordo com o observado por Oliveira Filho e Martins (1986) e Furley e Ratter (1988). Já as espécies encontradas em cerradão distrófico, como *Qualea grandiflora*, *Qualea multiflora*, *Qualea parviflora*, *Didymopanax macrocarpum*, *Kielmeyera coriacea*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Xylopia aromatica*, parecem ser em grande parte compartilhadas pelas fisionomias mais abertas de cerrado (Moreno & Schiavini, 2001).

Na tentativa de correlacionar fatores edáficos com a vegetação, alguns trabalhos acabaram por mostrar prováveis relações entre outros fatores ambientais e as variações na comunidade vegetal, como o padrão da profundidade do substrato concrecionário e o padrão florístico (Mecenas, 1980). Nesse mesmo trabalho, o autor observou que os fatores físicos e geomorfológicos pareciam preponderar sobre os químicos na distribuição dos agrupamentos florísticos e aspectos da vegetação. Essa opinião já era compartilhada por Cole (1986), ao observar diversas áreas de cerrado no Brasil Central. Além desses autores, Queiroz-Neto (1982), Furley e Ratter (1988) e Furley (1996) também atribuíram grande importância à situação geomorfológica e topográfica locais na distribuição da vegetação, ponderando que relevos mais dissecados e rejuvenescidos por processos erosivos poderiam suportar vegetação de maior porte. Outros fatores foram destacados, como o regime hídrico do solo e as variações do lençol freático e condições hídricas do solo (Botrel *et al.*, 2002; Oliveira Filho & Martins, 1986; Oliveira Filho *et al.*, 1989; 1997), o fogo (Coutinho, 1982; Coutinho, 1990) e os aspectos antrópicos (Durigan *et al.*, 1987).

Alguns anos depois do trabalho de Goodland e Pollard (1973), num estudo realizado na Fazenda Campininha (Mogi Guaçu, SP), Gibbs *et al.* (1983) observaram que a vegetação variava ao longo da transeção

estudada e podia ser separada floristicamente por meio de técnicas de análise multivariada em pelo menos duas fisionomias distintas: campo cerrado e cerrado. Entretanto, esses mesmos pesquisadores observaram que as características do solo eram uniformes ao longo da área. Em 1983, estudando a mesma área de cerrado estudada por Mecenas (1980), em Brasília, Ribeiro (1983) não encontrou diferenças suficientes nos elementos químicos do solo para explicar a variação encontrada na vegetação e mostrou valores de saturação de alumínio maiores para o cerradão, quando comparados com os de cerrado denso. Esses dados, portanto, contrariavam o padrão anteriormente encontrado por Goodland e Pollard (1973).

Em 90% das amostras de solos de cerrado são encontrados níveis de alumínio frequentemente tóxicos para plantas cultivadas (Lopes, 1984). Entretanto, para o cerrado de Mogi-Guaçu, Pompéia (1989) concluiu que o alumínio e o manganês não ocorriam em níveis prejudiciais ao desenvolvimento da vegetação, tendo apontado a existência de ecossistemas florestais com níveis desses elementos até maiores que nos cerrados.

Assim, apesar de muito já ter sido discutido sobre a relação solo-vegetação em fisionomias do Domínio Cerrado, é evidente que ainda existe muita controvérsia sobre o assunto e a “polêmica da savana” (Goodland, 1979) de forma alguma foi encerrada. Em uma parte dos trabalhos realizados, os resultados mostraram uma correlação entre as características químicas do solo e alguns parâmetros da vegetação, às vezes mostrando relações específicas, porém sem que houvesse um consenso quanto aos elementos mais relevantes nessas correlações. Alguns trabalhos, ao contrário, encontraram diferenças nas características do solo em áreas onde a fisionomia da vegetação não apresentou variação. Um terceiro conjunto de trabalhos aponta outras características do ambiente físico, que não o aspecto nutricional do solo, como as mais importantes para a vegetação. Assim como Askew *et al.* (1971), alguns pesquisadores não encontraram correlação alguma entre características do solo e variações fisionômicas da vegetação de cerrado (Gibbs *et al.*, 1983; Pompéia, 1989; Ribeiro, 1983). É devido a esse cenário que as relações solo-vegetação ainda continuam a intrigar os pesquisadores.

## Uma análise detalhada das relações entre características edáficas e comunidades vegetais

A comparação entre os mapas de fisionomias de vegetação e classes de solo forneceu uma idéia geral da distribuição das fitofisionomias sobre os diferentes tipos de solo na Gleba (vide Capítulo 5). A fim de verificar a validade das hipóteses acerca da variação das fisionomias de cerrado e floresta conforme a fertilidade do solo, anteriormente formuladas por Alvim & Araujo (1952), Arens (1963), Goodland & Pollard (1973), partiu-se para análises mais detalhadas, tentando analisar características químicas e texturais dos solos em cada fitofisionomia da Gleba. Essas características edáficas foram determinadas conforme descrito no Capítulo 5, sempre em quatro profundidades (0-5, 5-25, 40-60 e 80-100 cm). A partir daqui, neste capítulo, os dados obtidos para as classes de vegetação “cerrado *sensu stricto* com estrato herbáceo ralo” e “cerradão” serão agrupados numa única classe, denominada somente como “cerradão”.

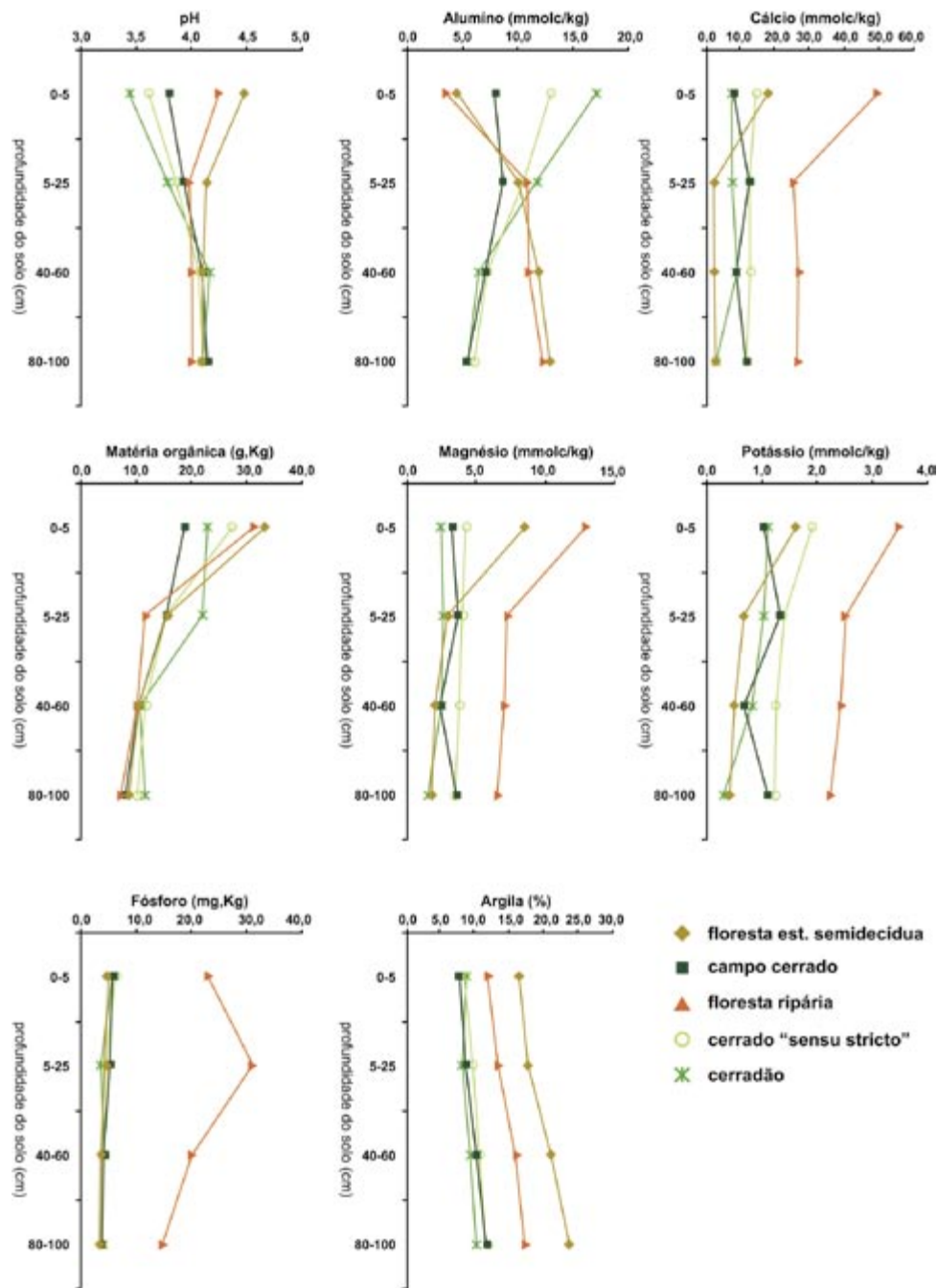
Num primeiro momento, relacionaram-se as características dos solos à sua posição em campo (coordenadas geográficas) quanto às classes do mapa de vegetação apresentado no Capítulo 3. Nesse caso, os parâmetros edáficos analisados foram plotados ao longo do perfil de solo, para cada classe de vegetação (Figura 13.2). Algumas tendências, então, podem ser apontadas: (1) os valores referentes ao solo superficial (0-5 cm) tendem a comportar-se de maneira distinta daqueles obtidos em maiores profundidades – isso fica evidente principalmente para o pH e o teor de alumínio; (2) as fisionomias florestais (floresta ripária e floresta estacional semidecídua) assemelham-se mais quando comparadas às fisionomias de cerrado, especialmente quanto aos teores de alumínio, magnésio e argila; e (3) os pontos coletados dentro da floresta ripária apresentaram quantidades maiores de cálcio, potássio, magnésio e fósforo, portanto, maior quantidade de soma de bases.

Até aqui, foram apresentadas apenas as características dos solos conforme as classes do mapa de vegetação do Capítulo 3. Entretanto, há algumas outras questões que devem ser colocadas. Existem, de fato, diferenças estruturais entre as fisionomias estudadas? Se existem, as diferenças estão relacionadas a alguma das variáveis edáficas medidas? Para essa análise das relações entre o solo e a vegetação na Gleba Pé-de-Gigante foram coletados dados quantitativos das fisionomias de vegetação mais representativas na área e novas coletas de solo (Ruggiero *et al.*, 2002).

Foram distribuídas aleatoriamente 40 parcelas de 10 x 10 m em quatro fitofisionomias: campo cerrado, cerrado *sensu stricto*, cerradão (lembrando que esta classe, neste capítulo, representa o agrupamento de “cerrado *sensu stricto*, com estrato herbáceo ralo” e “cerradão”) e floresta estacional semidecídua. As demais fitofisionomias foram excluídas dessa parte do estudo por dois motivos: (1) não são fisionomias representativas no que se refere à sua extensão na Gleba; ou (2) são fisionomias cuja estrutura está claramente descaracterizada, como é o caso da floresta ripária. Em cada parcela, novamente foram coletadas amostras de solo em quatro profundidades (0-5, 5-25, 40-60 e 80-100 cm) e identificadas todas as espécies lenhosas do componente arbustivo-arbóreo com diâmetro no nível do solo > 3 cm (SMA, 1997), com o auxílio de chaves de identificação baseadas em caracteres vegetativos (Batalha & Mantovani, 1999). Os valores de densidade relativa para cada espécie foram calculados segundo Mueller-Dombois e Ellenberg (1974).

Com essa nova amostragem de solo, agora associada a parcelas de vegetação, conduziram-se análises estatísticas descritivas, testes de normalidade (Zar, 1999) e, por fim, análises de ordenação de correspondência canônica (CCA) e de correspondência destendenciada (DCA) ter Braak, 1986). As análises de ordenação são capazes de posicionar as parcelas estudadas ao longo de eixos, com base nos dados quantitativos obtidos para as espécies, de maneira que os pontos que se apresentam mais próximos entre si correspondem a parcelas mais similares quanto ao parâmetro analisado (frequência, densidade absoluta, densidade relativa etc.). Mais especificamente, as análises de correspondência canônica detectam que variável ambiental me-

Figura 13.2. Parâmetros químicos (matéria orgânica, pH, alumínio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo) e texturais (argila) ao longo do perfil de solos na Gleba Cerrado Pé-de-Gigante. Amostras de solos identificadas segundo as classes de vegetação (campo cerrado, cerrado *sensu stricto*, cerradão, floresta estacional semidecídua e floresta ripária).



didada supostamente pode explicar melhor os padrões de variação encontrados nos dados das espécies. Assim, para essas análises, as matrizes foram construídas com os dados obtidos nas análises químicas e físicas do solo (variáveis ambientais deste trabalho) e com os valores de densidade absoluta das espécies vegetais amostradas. Após as primeiras análises de ordenação, foram retiradas as variáveis que apresentaram alta colinearidade. O teste de permutação de Monte Carlo foi usado para verificar a significância da análise de correspondência canônica, especialmente com relação ao primeiro eixo da análise (ter Braak, 1986).

A seguir, esses resultados serão apresentados e discutidos, procurando responder às questões inicialmente levantadas, sobre a dependência das fisionomias de vegetação em relação aos aspectos químicos e físicos do solo. A maior parte das conclusões aqui apresentadas decorre desse estudo mais detalhado, feito nas parcelas de vegetação (Ruggiero, 2000; Ruggiero *et al.*, 2002). No entanto, em alguns momentos há referências aos primeiros dados de solo apresentados na Figura 13.2.

## As fisionomias florestais diferenciam-se das savânicas quanto aos dados de solos?

Primeiramente analisaram-se os resultados obtidos dos dois maiores grupos fisionômicos estudados – savanas (campo cerrado, cerrado *sensu stricto*, cerradão) e florestas (floresta estacional semidecídua). Segundo as análises de ordenação de correspondência canônica, ficou evidente que a percentagem de argila no solo foi a variável mais importante nessa distinção, apresentando os eixos mais significativos das análises (Figura 13.3). Nesse caso, os valores percentuais de argila foram maiores na floresta estacional semidecídua ao longo de todo o perfil até a maior profundidade analisada (100 cm) (Figura 13.3). (A análise dos dados de solo de 80-100 cm de profundidade não está na Figura 13.3 porque mostrou resultado semelhante à análise de 40-60 cm.)

Sabe-se que maiores percentagens de argila proporcionam maior retenção de água pelo solo. Essa mudança no regime de água no solo já foi apontada por outros pesquisadores como o principal fator na distinção entre savana e floresta (Furley, 1992) e pode estar sendo determinante também no Cerrado Pé-de-Gigante (Figuras 13.2 e 13.3).

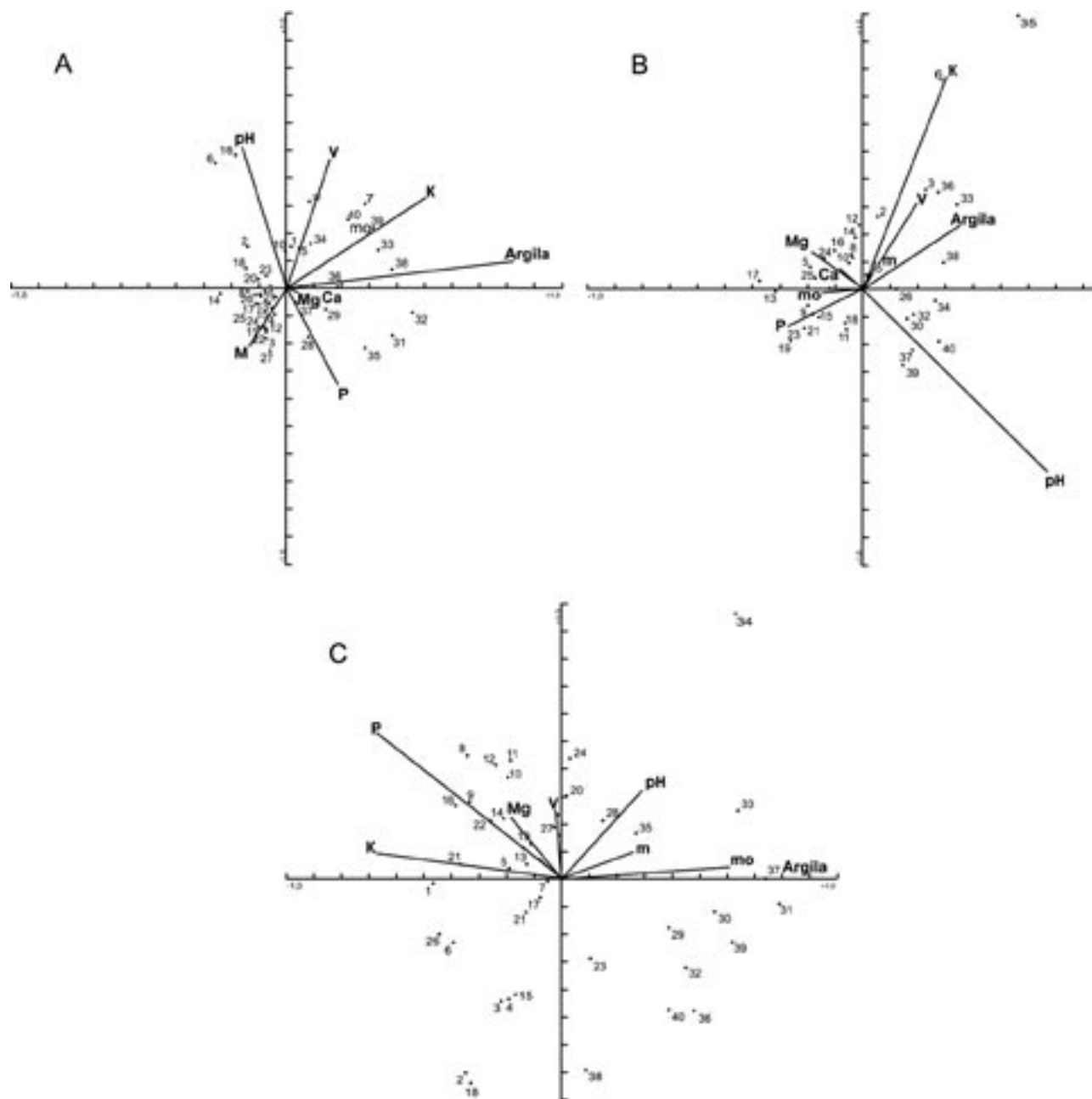
No que se refere à primeira camada do solo (0-5 cm), observou-se que a quantidade de nutrientes, depois da percentagem de argila, é a variável que apresenta maior importância na distinção entre fisionomias florestais e savânicas. No entanto, essa tendência não é observada nas demais profundidades. No diagrama de ordenação da correspondência canônica (Figura 13.3), os eixos referentes a fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (mo) e saturação por bases (V) mostram que essas variáveis apresentam maiores valores nas parcelas da floresta estacional (parcelas de 31 a 40).

Segundo a Figura 13.2, tanto a floresta estacional semidecídua quanto a floresta ripária tendem a apresentar maiores valores de soma de bases na superfície do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Berroterán (1997) em florestas e savanas da Venezuela. Uma possível hipótese para explicar esses maiores valores de bases no solo superficial seria a maior produção de biomassa aérea e as maiores taxas de decomposição esperadas para as florestas, que resultariam num incremento de bases na superfície do solo.

No Cerrado Pé-de-Gigante, apesar de ambas as florestas – ripária e estacional semidecídua – apresentarem algumas características edáficas semelhantes (Figura 13.2), os pontos de coleta de solo sob floresta ripária apresentaram valores notavelmente maiores de potássio, magnésio, cálcio e fósforo muito distantes dos demais. O pH também se mostrou maior em solos superficiais (0-5 cm) sob florestas (Figura 13.2), ao contrário dos valores de alumínio, menores nessas formações.

Estudando uma floresta semidecídua ao longo de uma catena de solos, Oliveira Filho *et al.* (1997) encontraram altos níveis de nutrientes, particularmente de Ca e Mg, em solos fracamente drenados e, conseqüentemente, maiores valores de soma de bases. Os dados obtidos para o Cerrado Pé-de-Gigante parecem concordar com os desses autores, uma vez que os sítios de coleta

Figura 13.3. Eixos 1 (horizontal) e 2 (vertical) dos diagramas de ordenação resultantes das análises de correspondência canônica (CCA), com os valores de densidade absoluta das espécies e variáveis ambientais do solo, nas profundidades de: 0-5 cm (A), 5-25 cm (B) e 40-60 cm (C). (mo, matéria orgânica; Ca, cálcio; Mg, magnésio; K, potássio; P, fósforo; V, saturação por bases; m, saturação por alumínio; argila, percentagem de argila e pH; 1-10, parcelas em campo cerrado; 11-20, parcelas em cerrado *sensu stricto*; 21-30, parcelas em cerradão; 31-40, parcelas em floresta estacional semidecídua).





na floresta ripária, ao longo do córrego Paulicéia, possivelmente apresentam solo com drenagem deficiente, quando comparados com os sítios na floresta estacional semidecídua. Além disso, nos pontos de coleta na floresta ripária, os valores de fósforo (P) encontrados foram discrepantes em relação aos encontrados em outras fisionomias (Figura 13.2). Esse fato pode indicar a presença de processos locais, possivelmente mais relacionados à atividade biológica ou à dinâmica da água que à composição mineral do material de origem do solo.

## As características pedológicas variam entre as classes de fisionomias de cerrado?

As fisionomias de cerrado, por sua vez, não se apresentaram relacionadas à fertilidade do solo (Figura 13.2 e 13.3): os solos coletados nas fisionomias de cerrado – campo cerrado, cerrado *sensu stricto*, cerradão – não mostraram distinção entre si (Figura 13.2).

As fisionomias de cerrado, quando comparadas à densidade das espécies do componente arbóreo-arbustivo, também não se mostraram relacionadas a nenhum gradiente de fertilidade no solo. Esse fato pode ser observado no diagrama de ordenação da correspondência canônica (Figura 13.3), no qual os pontos referentes às fisionomias de cerrado se encontram próximos ao centro do diagrama, sem que se possa fazer nenhuma distinção entre elas. Quanto ao cerrado *sensu lato* (conjunto das fisionomias de cerrado), o vetor de saturação por alumínio tende a ser o mais fortemente relacionado a esses pontos. Nesse caso, apesar de estarem mesclados entre si, os pontos referentes ao cerrado *sensu lato* podem ser nitidamente distintos dos pontos da floresta estacional semidecídua, especialmente pela diferença na percentagem de argila e, secundariamente, pela quantidade de bases na superfície do solo (matéria orgânica, potássio, cálcio e fósforo), como discutido no item anterior (Figura 13.3).

Concluindo, a variação na quantidade de bases trocáveis ou de nutrientes disponíveis no Cerrado Pé-de-Gigante não distingue as fisionomias de cerrado

entre si, mas apenas o cerrado *sensu lato* da floresta estacional semidecídua. De forma geral, com exceção da percentagem de argila, essa relação ficou praticamente restrita às primeiras camadas do solo, principalmente entre 0-5 cm, tornando-se menos evidente quanto maior a profundidade do solo analisada (Figura 13.3).

## A comunidade vegetal e os solos superficiais

Em geral, a relação entre fitofisionomias e classes de solo foi mais forte na superfície. Observando-se somente os dados de solo (Figura 13.2) ou a análise dos dados quantitativos do componente arbóreo-arbustivo com relação aos dados de solo (Figura 13.3), nota-se que, enquanto a relação entre a variação da vegetação e a percentagem de argila no solo se mantém ao longo do perfil, a relação entre a vegetação e as variáveis químicas, que se mostrou significativa na primeira camada do solo, enfraquece logo na profundidade seguinte, deixando de ser significativa, não sendo mais observada a partir de 40-60 cm (Figura 13.3). Furley (1976), estudando vertentes catenárias na América Central, também encontrou forte correlação entre os padrões da vegetação e as características do solo da superfície, bem como os solos da subsuperfície, notavelmente uniformes. Outros trabalhos que buscaram descrever as relações entre solo e vegetação de cerrado e que apontaram algumas correlações significativas fizeram-no apenas para as primeiras camadas (Alvim & Araújo, 1952; Goodland & Pollard, 1973). Goodland & Pollard (1973) chegam a ressaltar que seria preferível uma amostragem em maiores profundidades de solo.

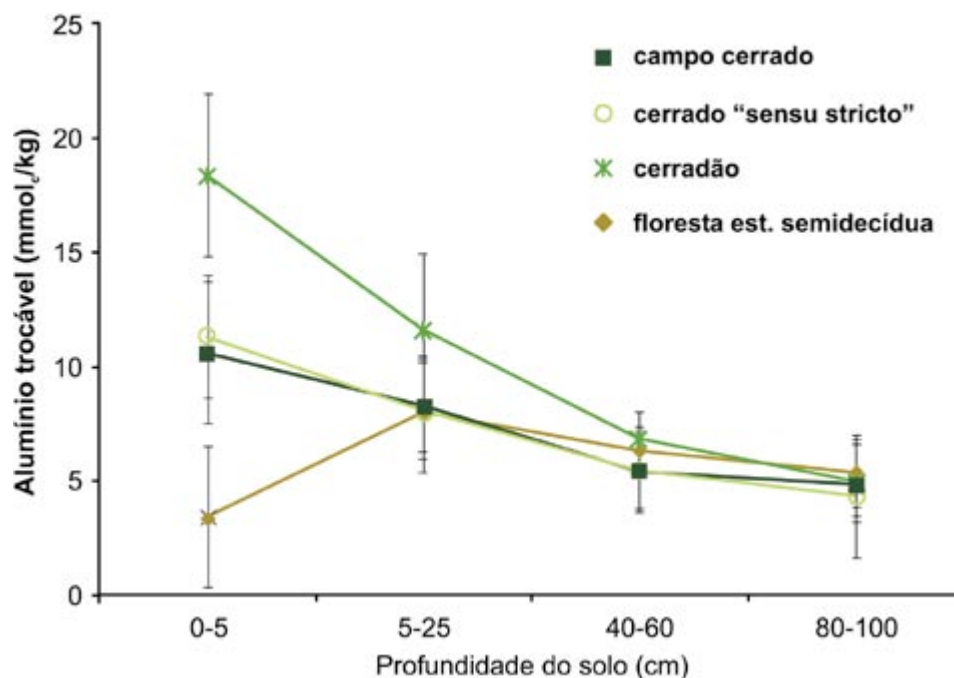
Sparovek & Camargo (1997), estudando os solos de um remanescente florestal no Estado de São Paulo, mostraram a alta variação das características do solo nas primeiras camadas (0-5 cm), provavelmente causada por influência da heterogeneidade da biota que

se encontra acima do solo. Logo, essa variação decorre também da forte influência da vegetação, uma vez que a superfície do solo está mais diretamente em contato com a comunidade biótica e, portanto, pode ser entendida como fruto da interação dos dois meios. Kellman (1979) mostrou um enriquecimento das primeiras camadas do solo por meio do aumento na concentração de determinados elementos químicos, sob as copas de determinadas espécies de savana –como *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, *Clethra hondurensis* Britton, *Quercus shipii* Standl., *Q. oleoides* Cham. & Schlecht e *Miconia albicans* (Sw.) Triana. Silva Júnior *et al.* (1987) também apontam o importante papel da ciclagem de nutrientes, especialmente nas camadas superficiais do solo, para a comunidade vegetal. Como as comunidades biológicas (vegetal e faunística) e as primeiras camadas do solo estão intimamente relacionadas, pode-se esperar, portanto, que as correlações mais fortes entre vegetação e solo se dêem com dados provenientes dessas camadas superficiais.

## As hipóteses do escleromorfismo oligotrófico e do oligotrofismo aluminotóxico e o Cerrado Pé-de-Gigante

Na Gleba Pé-de-Gigante, os solos superficiais sob florestas semidecídua e ripária apresentaram tanto os maiores valores de bases trocáveis quanto os menores valores em concentração de alumínio e saturação por alumínio. A partir de 40-60 cm de profundidade, no entanto, as florestas possuem concentrações de alumínio iguais às dos solos das fisionomias de cerrado. Esse padrão, que já havia sido detectado nas primeiras coletas de solo na Gleba (Figura 13.2), foi confirmado no detalhamento do estudo feito nas parcelas em diferentes fitofisionomias (Figura 13.4). As fisionomias de cerrado, por sua vez, mostraram-se associadas aos maiores valores de alumínio trocável nas camadas superficiais do solo (Figura 13.4).

Figura 13.4. Teores de alumínio trocável (média e desvio-padrão) nas quatro fisionomias de vegetação estudadas, na Gleba Cerrado Pé-de-Gigante.



Em geral, os solos sob cerrado são distróficos, ricos em alumínio e ácidos (Queiroz-Neto, 1982; Lopes, 1984) e, em consequência, muitos autores propuseram que o aspecto xeromórfico das plantas de cerrado fosse decorrente dessa distrofia edáfica. Como visto anteriormente, essa idéia ficou conhecida como hipótese do escleromorfismo oligotrófico (Arens, 1963) (Figura 13.1).

No que se relaciona ao uso agrícola do solo, considerando-se a acidez freqüente nos solos sob cerrado – com pH geralmente entre 4,8 e 5,2 –, os valores absolutos de alumínio trocável não são considerados tão altos. Entretanto, por também apresentarem uma baixa capacidade de troca catiônica efetiva, a saturação por alumínio, ou seja, a participação do alumínio no complexo de troca de cátions, costuma ser elevada, podendo o alumínio ser o cátion dominante nesse processo (Lopes, 1984). A hipótese do oligotrofismo aluminotóxico, citada no início deste capítulo, refere-se justamente à capacidade do alumínio de competir no solo pelos mesmos sítios ocupados pelas bases trocáveis, tornando, assim, o solo ainda mais distrófico (Goodland, 1971b). No entanto, ainda que a maioria das plantas cultivadas sofra com esses teores de alumínio, para que as hipóteses do escleromorfismo oligotrófico e oligotrofismo aluminotóxico fossem corroboradas, esperar-se-ia que, em condições naturais, a concentração de bases fosse a variável mais importante na distinção entre cerrado e floresta, em todas as profundidades do solo analisadas, e que a quantidade de alumínio ou a saturação por alumínio fosse crescente ou, pelo menos, constante ao longo do perfil do solo e com valores distintos entre floresta e cerrado. Isso não foi verificado para o Cerrado Pé-de-Gigante. Ao contrário, a percentagem de argila foi o único fator que se mostrou significativo nessa distinção, em profundidades maiores do solo, enquanto os valores de alumínio foram homogêneos entre as fitofisionomias nessas profundidades (Figura 13.4). Também se acreditava, quando Arens (1963) e Goodland (1971) formularam tais hipóteses, que as plantas de cerrado não sofriam nenhum tipo de restrição hídrica ao longo do ano, inclusive durante o período de seca. Atualmente, estudos que utilizaram técnicas mais recentes de troca de gases, documentaram bem casos nos quais se detectou uma depressão na fotossíntese e

na condutância estomática no meio do dia durante a estação seca (Franco, 2000).

Adicionalmente, há indícios de que as alterações que diferentes espécies vegetais promovem nas primeiras camadas do solo estejam condicionadas à qualidade e à quantidade de matéria orgânica liberada no solo (Challinor, 1968; Furley, 1976). Ao mesmo tempo, sabe-se que muitas das espécies características de cerrado, como as pertencentes às famílias Rubiaceae e Vochysiaceae, são acumuladoras de alumínio (Haridasan, 1982). Assim, pode-se sugerir que os altos valores de alumínio encontrados na superfície do solo sob cerrado podem estar relacionados ao acúmulo de alumínio por essas plantas, que o transferem para as primeiras camadas do solo via serapilheira e decomposição. Nesse caso, uma possível hipótese seria que o acúmulo de alumínio pelas plantas não se daria somente por um mecanismo de tolerância à presença desse elemento em quantidade excessiva, de forma absoluta, mas, talvez, como consequência de algum mecanismo fisiológico de captação de recursos do solo que seja eficiente nessas condições em que se encontram as áreas de cerrado: baixa disponibilidade de macronutrientes e moderada restrição hídrica.

Somente a existência desse mecanismo fisiológico nas plantas de cerrado, no entanto, não explicaria os valores significativamente mais baixos de alumínio encontrados nos solos superficiais das áreas de floresta no Cerrado Pé-de-Gigante. Há evidências de que algumas espécies têm alta capacidade de modificar o ambiente da sua rizosfera, exudando uma variedade de componentes orgânicos que podem formar um complexo com os íons de alumínio na solução do solo, reduzindo a fitotoxicidade desse elemento. Esse fato já foi demonstrado para solos de floresta (Tyler & Falkengren-Grerup, 1998). Dessa forma, o decréscimo de alumínio nas primeiras camadas dos solos sob florestas é esperado devido a esse efeito tampão do pH, resultante da presença de matéria orgânica na superfície do solo (Malavolta *et al.*, 1977), e poderia explicar, no caso deste estudo, os baixos valores de alumínio medidos no solo sob floresta estacional semidecídua.

Assim como também concluiu Haridasan (1992), portanto, a toxicidade por alumínio não parece ser o

fator limitante para o desenvolvimento de floresta em áreas de ocorrência de vegetação de cerrado. Os cerrados – sujeitos a uma restrição hídrica maior – e as florestas apenas parecem possuir mecanismos ou “estratégias” diferentes para a solução de um mesmo problema. Os mecanismos de absorção de nutrientes e de adaptação em solos com alta saturação de alumínio, por sua vez, são pouco conhecidos pela ciência e ainda não foram completamente elucidados, especialmente no caso dos cerrados (Haridasan, 2000).

## Os limites pedológicos entre floresta estacional semidecídua e cerrado na Gleba Pé-de-Gigante

Com o intuito de verificar a existência de padrões florísticos nas diferentes fitofisionomias da Gleba Pé-de-Gigante, foi feita uma análise de correspondência destendencionada (DCA) com as espécies mais abundantes, isto é, aquelas com dez ou mais indivíduos, nas 40 parcelas aleatórias amostradas. Além do padrão já observado nas outras análises, esta análise mostrou uma separação das parcelas da floresta estacional semidecídua em dois grupos, ainda que fisionomicamente iguais, que puderam ser caracterizados pela maior abundância de algumas espécies (Figura 13.5).

Em seguida, foram separadas somente as parcelas da floresta estacional semidecídua e as variáveis do solo que se mostraram mais importantes na análise do conjunto total das parcelas e realizada uma análise de correspondência canônica (CCA) com esses dados (Figura 13.6). No gráfico de ordenação das parcelas da floresta estacional semidecídua (Figura 13.6), notaram-se, novamente, os dois grupos distintos da Figura 13.5. Contudo, nesta análise, eles se encontram claramente relacionados às variáveis ambientais do solo (soma de bases, argila e alumínio trocável). Nesse caso, um grupo foi caracterizado pela abundância de *Vochysia tucanorum*, *Copaifera langsdorffii*, *Tapirira guianensis*, *Croton floribundus*, *Esenbeckia febrifuga*, *Cupania vernalis*

e *Xylopia aromática*, e por maiores valores de alumínio na superfície do solo. Um segundo grupo de parcelas foi caracterizado pela maior abundância de *Virola sebifera*, *Platypodium elegans*, *Pterodon pubescens*, *Casearia sylvestris*, *Amaioua guianensis*, *Matayba elaeagnoides* e *Anadenanthera macrophila*, e por maiores quantidades de bases na superfície do solo.

Os gêneros *Vochysia* e *Xylopia* já foram apontados na literatura como transicionais entre floresta e savana na América Central (Romney, 1959 *apud* Kellman & Miyanishi, 1982). Outra espécie de *Vochysia* (*Vochysia haenkeana*) foi descrita como típica de cerrados de solos distróficos da região do Brasil Central (Ratter *et al.*, 1977). No Cerrado Pé-de-Gigante, *Vochysia tucanorum* encontrou-se associada a valores menores de soma de bases na superfície (Figura 13.6), mostrando uma tendência semelhante, ao menos para o gênero, à verificada em outros cerrados brasileiros. Ratter *et al.* (1977) também apontaram *Platypodium elegans* – que se encontrou no Cerrado Pé-de-Gigante em situação intermediária, tendendo a associar-se a maiores valores de soma de bases (Figura 13.6) – como propriamente árvore de cerradão e floresta.

Esse detalhamento provavelmente mostra a transição da vegetação e a mudança das características do solo superficial, no limite entre a floresta estacional semidecídua e o cerrado *sensu lato* no Pé-de-Gigante. A separação entre as parcelas de cerrado e floresta está relacionada às percentagens de argila em todo o perfil do solo. Na transição entre esses dois tipos de vegetação, observa-se a mudança na abundância de espécies, correlacionada com variações nos valores de alumínio e de bases trocáveis no solo superficial.

Figura 13.5. Eixos 1 (horizontal) e 2 (vertical) do diagrama de ordenação resultante da análise de correspondência destendencionada (DCA), com os valores de densidade absoluta das espécies mais abundantes e das parcelas estudadas. Os números indicam as fisionomias onde se encontravam as parcelas: 1-10, campo cerrado; 11-20, cerrado *sensu stricto*; 21-30, cerradão; e 31-40, floresta estacional semidecidual. As espécies estão representadas por abreviações (4 letras do gênero e 4 da espécie).

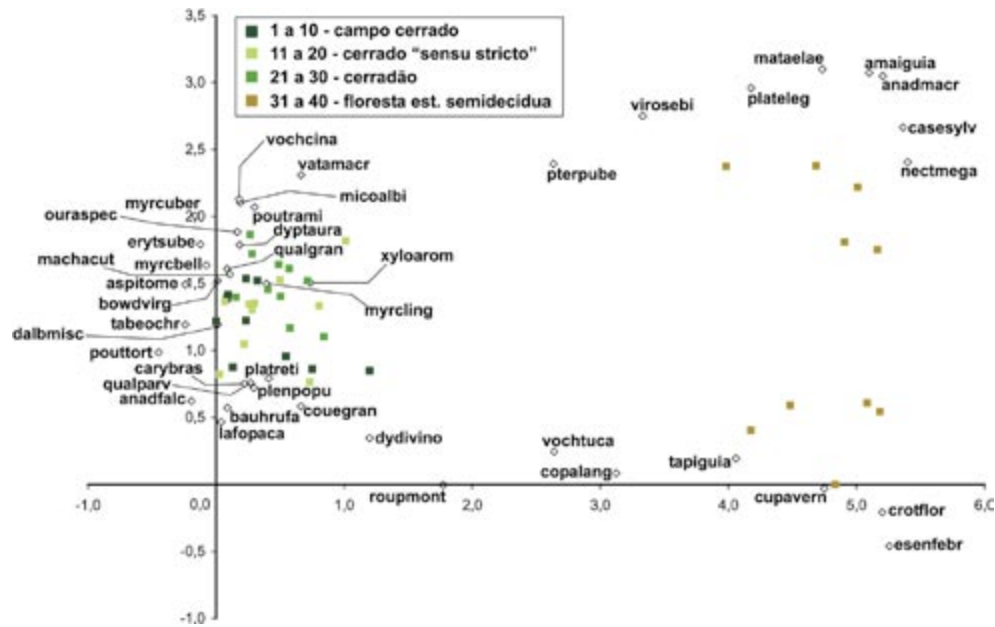
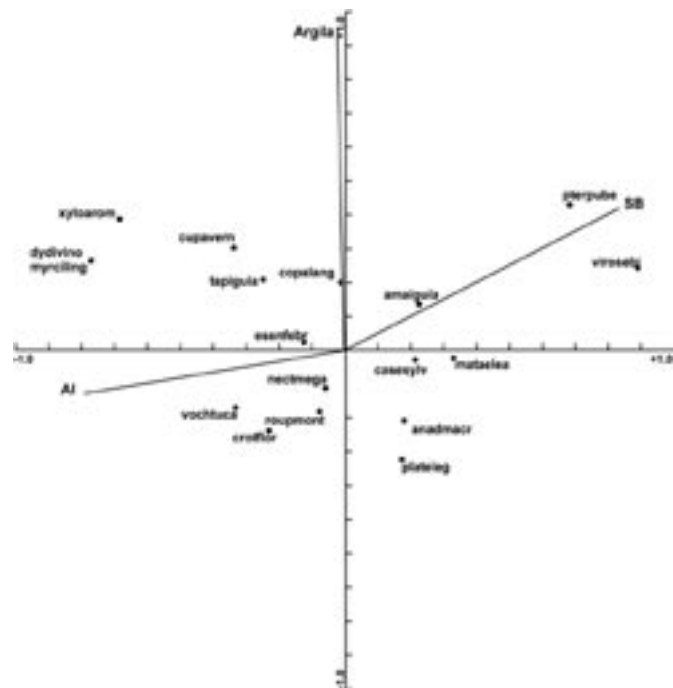


Figura 13.6. Diagrama de ordenação da análise de correspondência canônica (CCA) considerando as espécies apenas das parcelas da floresta estacional semidecidual e as seguintes variáveis do solo: soma de bases (SB), quantidade de alumínio (Al) e percentagem de argila a 0-5 cm de profundidade. As espécies estão representadas por abreviações (4 letras do gênero e 4 da espécie).



## Síntese

Na Gleba Pé-de-Gigante é evidente a distinção entre as formas de cerrado e as florestais e a sua relação com as características do solo. A floresta estacional semi-decídua está correlacionada a um maior teor de argila e, na superfície do solo, a uma saturação de bases trocáveis. A floresta ripária, assim como a floresta estacional, também apresentou maiores valores de bases trocáveis na superfície, menores valores de alumínio trocável e, especificamente, altas quantidades de fósforo em alguns pontos de coleta. Essas características, de modo geral, as distinguiram das formas de cerrado na área. Não foi possível, no entanto, a separação das fisionomias de cerrado (campo cerrado, cerrado *sensu stricto* e cerradão) com base na densidade do componente arbustivo-arbóreo ou com base nas características edáficas. O conjunto das parcelas de cerrado *sensu lato* aparentemente está associado a maiores valores de saturação por alumínio e menores valores de bases na superfície do solo, quando comparado com a floresta estacional semidecídua. Essa correlação inversamente proporcional entre a quantidade de alumínio e de bases trocáveis fica evidente no limite entre floresta e cerrado.

A análise dos resultados aqui encontrados à luz dos estudos já desenvolvidos sobre essa questão no cerrado permite, desse modo, algumas inferências:

1. Não deve existir uma hierarquia única entre os componentes ambientais que determinam as fisionomias e a estrutura do cerrado. Provavelmente, em cada local, um fator ambiental específico pode mostrar-se mais relevante do que outro.

2. As relações entre precipitação, nível do lençol freático, dinâmica da água na subsuperfície e no subsolo e, conseqüentemente, a disponibilidade total de água para as plantas, devem ter influência direta na estrutura e na fisionomia da vegetação e na disponibilização dos nutrientes no solo. Esses aspectos precisam ser mais estudados.

3. Quanto à questão nutricional, acredita-se que a presença de uma espécie como resposta direta ao aumento da quantidade de nutrientes no solo – isto é,

como conseqüência desse fator – só deve ser considerada quando essa característica química do solo se dá ao longo do perfil e em conseqüência do material de origem do solo. Como grande parte dos solos sob cerrado são distróficos, acredita-se que a maioria das espécies vegetais esteja adaptada a essa condição edáfica e que talvez somente uma minoria de espécies esteja associada a locais onde exista uma eutrofia característica. Da mesma forma, não se acredita que somente a distrofia ou a eutrofia dos solos possa ser determinante da ocorrência das fisionomias, ou formas, de cerrado.

## Referências Bibliográficas

- ALVIM, P. de T. & ARAÚJO, W. A. 1952. El suelo como factor ecológico en el desarrollo de la vegetación en el centro-oeste del Brasil. *Turrialba* 2 (4): 153-160.
- ARENS, K. 1963. As plantas lenhosas dos campos cerrados como vegetação adaptada às deficiências minerais do solo. In: FERRI, M. G. (coord.) III Simpósio sobre o cerrado. São Paulo, Edgard Blucher /EDUSP, p. 13-115.
- ASKEW, G. P.; MOFFATT, D. J.; MONTGOMERY, R. F. & SEARL, P. L. 1971. Soils and soil moisture as factors influencing the distribution of the vegetation formations of the Serra do Roncador, Mato Grosso. In: FERRI, M. G. (coord.) III Simpósio sobre o cerrado. São Paulo, Edgard Blucher /EDUSP, p. 150-160.
- BATALHA, M. A. & MANTOVANI, W. 1999. Chaves de identificação das espécies vegetais vasculares baseada em caracteres vegetativos para a ARIE Cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP). *Revista do Instituto Florestal* 11: 137-158.
- BATISTA, E. A. 1988. Influência de fatores edáficos no cerrado da Reserva Biológica de Mogi-Guaçu, SP. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP.
- BERROTERÁN, J. 1997. La importancia de los suelos en la distribución de los tipos de vegetación en los Altos Llanos de Venezuela. *Acta Biológica Venezolana* 17(4): 15-21.
- BOTREL, R. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; RODRIGUES, L. A. & CURI, N. 2002. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustivo de uma floresta estacional semidecídua em Ingai, MG. *Revista Brasileira de Botânica* 25(2): 195-213.
- CAMARGO, A. P. de. 1971. Clima do cerrado. In: FERRI, M. G. (coord.) III Simpósio sobre o cerrado. São Paulo, Edgard Blucher /EDUSP, p. 93-115.
- CHALLINOR, D. 1968. Alteration of surface soil characteristics by four tree species. *Ecology* 49(2): 286-290.
- COLE, M. M. 1986. *The Savannas - Biogeography and Geobotany*. Academic Press.

- COUTINHO, L. M. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: HUNTLEY, B. J. & WALKER, B. H. (eds.) Ecology of tropical savannas. Berlin, Springer-Verlag, p. 273-291.
- COUTINHO, L. M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (ed.) Fire in the tropical biota – ecosystem processes and global challenges. Berlin, Springer-Verlag, p. 81-105.
- DURIGAN, G.; SARAIVA, I. R.; GURGEL GARRIDO, L. M. do A.; GARRIDO, M. A. de O. & PECHE FILHO, A. 1987. Fitossociologia e evolução da densidade da vegetação do cerrado, Assis, SP. Boletim Técnico do Instituto Florestal 41(1): 59-78.
- EITEN, G. 1982. Brazilian Savannas. Ecological Studies 42: 25-47.
- FRANCO, A. C. 2000. Water and light use strategies by Cerrado woody plants. 51º. Congresso Nacional de Botânica - Tópicos atuais em Botânica (Palestras), Brasília, DF, 23 a 29 de julho/2000, p. 292-298.
- FURLEY, P. A. 1976. Soil-slope-plant relationships in the northern Maya mountains, Belize, Central America III – Variation in the properties of soil profiles. Journal of Biogeography 3: 303-319.
- FURLEY, P. A. 1992. Edaphic changes at the forest-savanna boundary with particular reference to the neotropics. In: FURLEY, P. A.; PROCTOR, J. & RATTER, J. A. (eds.) Nature and Dynamics of forest-savanna boundaries. Reino Unido, Chapman & Hall.
- FURLEY, P. A. 1996. The influence of slope on the nature and distribution of soils and plant communities in the central Brazilian cerrado. Advances in Hillslope Processes 1(15): 327-345.
- FURLEY, P. A. & RATTER, J. A. 1988. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. Journal of Biogeography 15: 97-108.
- GIBBS, P. E.; LEITÃO-FILHO, H. de F. & SHEPHERD, G. 1983. Floristic composition and community structure in an area of Cerrado in SE Brazil. Flora 173: 433-449.
- GOODLAND, R. 1971 (a). A physiognomic analyses of the “cerrado” vegetation of the central Brazil. Journal of Ecology 59: 411-419.
- GOODLAND, R. 1971 (b). Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: FERRI, M. G. (coord.) III Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, Universidade de São Paulo, p. 44-50.
- GOODLAND, R. J. A. 1979. Ecologia do Cerrado. São Paulo, EDUSP/ Itatiaia.
- GOODLAND, R. & POLLARD, R. 1973. The Brazilian cerrado vegetation: a fertility gradient. Journal of Ecology 61: 219-224.
- KELLMAN, M. 1979. Soil enrichment by neotropical savanna trees. Journal of Ecology 67: 565-577.
- KELLMAN, M. & MIYANISHI, K. 1982. Forest seedling establishment in Neotropical savannas: observations and experiments in the Mountain Pine Ridge savanna, Belize. Journal of Biogeography 9: 193-206.
- LOPES, A. S. 1984. Solos sob “cerrado” características, propriedades e manejo. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.
- LOPES, A. S. & COX, F. R. 1977. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. Agronomy Journal 69: 828-831.
- HARIDASAN, M. 1982. Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. Plant and Soil 65: 265-273.
- HARIDASAN, M. 1992. Observations on soils, foliar nutrients concentrations and floristic composition of cerrado sensu stricto and cerradão communities in central Brazil. In: FURLEY, P. A., PROCTOR, J. & RATTER, J. A. (eds.) Nature and Dynamics of forest-savanna boundaries. Reino Unido, Chapman & Hall.
- HARIDASAN, M. 2000. Nutrição mineral das plantas nativas do Cerrado: grupos funcionais. 51º. Congresso Nacional de Botânica - Tópicos atuais em Botânica (Palestras), Brasília, DF, 23 a 29 de julho/2000, p. 159-164.
- MALAVOLTA, E.; SARRUEL, J.R. & BITTENCOURT, V.C., 1977. Toxidez de alumínio e manganês. In: M.G.FERRI (ed.) IV Simpósio sobre o Cerrado. Belo Horizonte, Itatiaia. pp. 275 - 301.
- MECENAS, V. V. 1980. Relação entre a vegetação e fatores pedológicos, com ênfase em Gramineae e Leguminosae. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- MORENO, M. I. C. & SCHIAVINI, I. 2001. Relação entre vegetação e solo em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia (MG). Revista Brasileira de Botânica 24 (4, suplemento): 537-544.
- MUELLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Nova Iorque, John Willey & Sons.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T. de & MARTINS, F. R. 1986. Distribuição, caracterização e composição florística das formações vegetais da região da Salgadeira, na Chapada dos Guimarães, MT. Revista Brasileira de Botânica 9: 207-223.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T. de; SHERPHERD, G. J.; MARTINS, F. R. & STUBBLELINE, W. H. 1989. Environmental factors effecting physiognomic and floristic variation in area of cerrado in central Brazil. Journal of Tropical Ecology 5: 413-431.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T. de; CURI, N; VILELA, E. A. & CARVALHO, D. A. 1997. Tree species distribution along soil catenas in a riverside semideciduous forest in the southeastern Brazil. Flora 192:47-64.
- POMPÉIA, S. L. 1989. Aspectos da dinâmica dos nutrientes minerais em solo sob vegetação de campo-cerrado (Mogi-Guaçu, SP). Dissertação de Mestrado. Departamento de Ecologia/IBUSP.
- QUEIROZ-NETO, J. P. de 1982. Solos da região dos cerrados e suas interpretações (revisão de literatura). Revista Brasileira de Ciência do Solo 6(1): 1-12.
- RATTER, J. A.; ASKEW, G. P.; MONTGOMERY, R. F. & GIFFORD, D. R. 1977. Observações adicionais sobre o cerradão de solos mesotróficos no Brasil Central. In: FERRI, M. G. (coord.) IV Simpósio sobre o cerrado. São Paulo, EDUSP/Itatiaia, p. 303-316.
- RAWITSCHER, F. 1942. Algumas noções sobre a transpiração e o balanço d’água de plantas brasileiras. An. Acad. Bras. de Ciências T. XIV no. 1.

- RAWITSCHER, F. 1948. The water economy of the vegetation of the 'campos cerrados' in southern Brazil. *Journal of Ecology* 36(2): 237-268.
- RAWITCHER, F.; FERRI, M. G. & RACHID, M. 1943. Profundidade dos solos e vegetação em campos cerrados do Brasil Meridional. *An. Acad. Bras. de Ciências* 4: 267-294.
- RIBEIRO, J. F. 1983. Comparação da concentração de nutrientes na vegetação arbórea e nos solos de um cerrado e um cerradão no Distrito Federal, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- RUGGIERO, P. G. C. 2000. Levantamento pedológico relacionado às fitofisionomias encontradas na Gleba Cerrado Pé-de-Gigante, Parque Estadual de Vassununga, Santa Rita do Passa Quatro, SP. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ecologia/IBUSP.
- RUGGIERO, P. G. C.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R. & MEIRELLES, S. T. 2002. Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology* 160:1-16.
- SILVA, J. G. M. da 1993. Relações solo-vegetação como instrumento para o manejo da vegetação do cerrado no triângulo mineiro. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.
- SILVA Jr, M. C. da; BARROS, M. F. de & CÂNDIDO, J. F. 1987. Relações entre parâmetros do solo e da vegetação de cerrado na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, MG. *Revista Brasileira de Botânica* 10: 125-137.
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente. 1997. Cerrado: Bases para conservação e uso sustentável das áreas de cerrado do Estado de São Paulo – Série PROBIO/SP. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente.
- SPAROVEK, G. & CAMARGO, O. A. 1997. Sampling strategies for tropical forest nutrient cycling studies: a case study in São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 21(4): 635-642.
- ter BRAAK, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67(5): 1167-1179.
- TYLER, G. & FALKENGREN-GRERUP, U. 1998. Soil chemistry and plant performance – ecological considerations. *Progress in Botany* 59. Berlim, Springer-Verlag.
- WARMING, J.E.B. 1908. Lagoa Santa - Contribuição para a Geographia Phytobiologica. Belo Horizonte, Imprensa Oficial do Estado de Minas Gerais. In: WARMING, J.E.B. & FERRI, M.G. 1973; Lagoa Santa e a Vegetação dos Cerrados Brasileiros. São Paulo, EDUSP (reprodução).
- ZAR, J. 1999. Biostatistical analysis. Nova Jersey, Prentice-Hall.
-