

Padrões de distribuição espacial de comunidades campestres sob plantio de eucalipto⁽¹⁾

Valério De Patta Pillar⁽²⁾, Ilsi lob Boldrini⁽³⁾ e Omara Lange⁽²⁾

Resumo – O trabalho objetivou descrever padrões de distribuição espacial da composição florística e de tipos funcionais (C_3 , C_4) de espécies, relacionar estes padrões a condições de luz e gerar hipóteses sobre a dinâmica da vegetação campestre em resposta ao desenvolvimento de uma floresta de eucalipto plantada há dois anos. O levantamento foi realizado em 66 parcelas de 0,25 m² nas entrelinhas do plantio de eucalipto, em quatro transecções atravessando a bordadura da floresta. Foram encontradas 164 espécies, as quais tiveram sua abundância-cobertura estimada em cada parcela e foram classificadas quanto à rota fotossintética. Em uma das transecções foi avaliado o nível de radiação solar incidente nas parcelas, tendo sido encontrada associação significativa entre padrão de sombreamento e composição de espécies ($P = 0,001$) e composição de tipos funcionais ($P = 0,007$). Os resultados permitem postular a hipótese de que a diminuição da radiação incidente no estrato inferior, durante o desenvolvimento inicial do eucalipto, determina redução da cobertura com espécies C_4 e aumento com espécies C_3 , mais tolerantes ao sombreamento.

Termos para indexação: sombreamento, luz, sistema silvipastoril, análise multivariada.

Spatial patterns of grassland communities under eucalyptus plantation

Abstract – The study aimed at evaluating spatial vegetation patterns, based on species and plant functional types (C_3 , C_4), to relate these patterns to light conditions and to generate hypothesis about the temporal dynamics of the grassland vegetation in response to the development of a two year old eucalyptus plantation. The survey was carried out on 66 plots of 0.25 m² located between the rows of eucalyptus, on four transects across the boundary of the plantation. A total of 164 species was found in the survey. Species had their cover-abundance estimated in each plot and were classified with respect to the photosynthetic pathway. In one of the transects, light conditions under the canopy were evaluated; significant association between shading and community patterns in terms of species ($P = 0.001$) and functional types ($P = 0.007$) was found. The results allow to postulate the hypothesis that the increase in shading with the development of the eucalyptus canopy produces reduction in the cover-abundance of C_4 species and increase in C_3 species, more tolerant to shading.

Index terms: shading, light, agroforestry systems, multivariate analysis.

Introdução

A criação de gado em sistemas silvipastoris é uma alternativa que tem sido investigada (Gregor, 1993;

Carvalho, 1994; Couto et al., 1994; Silva, 1998). Em florestas plantadas em áreas de vegetação campestre, a contribuição da vegetação original à produção animal pode ser significativa nos primeiros anos pós-plantio, especialmente quando a vegetação herbácea das entrelinhas de plantio é preservada. Com o estabelecimento e desenvolvimento da floresta, a vegetação herbácea se modifica em resposta a alterações nos fatores ambientais, tais como intensidade e qualidade da luz, balanço de radiação e condições hídricas, adição de nutrientes pela adu-

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 30 de outubro de 2001.

⁽²⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Dep. de Ecologia, Caixa Postal 15007, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: vpillar@ecologia.ufrgs.br, omara@ecologia.ufrgs.br

⁽³⁾ UFRGS, Dep. de Botânica, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: boldrini.ez@terra.com.br

bação, entre outros. A dinâmica das comunidades herbáceas sob as árvores plantadas será provavelmente uma função da composição de espécies na comunidade original e no banco de sementes e da densidade de plantio e velocidade de crescimento do povoamento arbóreo.

A intensidade de luz incidente sobre o estrato herbáceo se reduz com o desenvolvimento da floresta plantada. Plantas com fotossíntese C_4 podem ser consideradas menos adaptadas a ambientes sombreados do que as plantas C_3 , devido ao alto requerimento em ATP no ciclo C_4 e à reduzida capacidade para explorar raios de luz sob o dossel de uma floresta (Krall & Pearcy, 1993; Sage et al., 1999). As interações com o clima e condições hídricas podem, entretanto, determinar o contrário (Sage et al., 1999). É relevante, portanto, analisar a resposta das comunidades herbáceas ao sombreamento usando como parâmetro a sua composição de tipos funcionais definidos com base na rota fotossintética. Respostas em termos de tipos funcionais podem ser mais facilmente aplicáveis a outras condições, pois não são limitadas às espécies que ocorrem na região de estudo (Pillar, 1999).

Estudos de padrões de distribuição espacial e temporal de espécies e tipos funcionais permitem avaliar a dinâmica das comunidades vegetais em um dado local. Padrões são determinados por fatores intrínsecos às comunidades, tais como formas de dispersão, de crescimento e de regeneração e mecanismos de competição, associados a fatores ambientais, como solo, clima, herbivoria e ação antrópica. Estudos de dinâmica da vegetação revelam, também, processos de substituição de populações, que podem ser observados no espaço (zonação) e no tempo, em diferentes escalas (Orlói, 1993; Pillar, 1998).

O procedimento ideal para estudar a dinâmica de uma comunidade vegetal após um dado distúrbio é a observação da mesma em uma ou mais parcelas permanentes, em vários momentos do processo de regeneração. Essa dinâmica também pode ser inferida, porém com um certo grau de incerteza, a partir de cronosséquências, ou seja, mediante observação de uma seqüência de parcelas de vegetação no espaço, desde que se pressuponha que o único fator de variação seja o tempo transcorrido após o distúrbio (Wildi & Schütz, 2000). A metodologia baseada no

estudo de padrões espaciais permite inferir conclusões que, de outro modo, pelo estudo de padrões temporais demandariam uma observação mais prolongada.

O objetivo deste trabalho foi estudar padrões de distribuição espacial da composição florística e de tipos funcionais (C_3 e C_4) da vegetação campestre remanescente sob uma floresta de eucalipto, relacionar esses padrões a condições de luz, e levantar hipóteses sobre a dinâmica temporal da vegetação campestre em resposta ao desenvolvimento da floresta.

Material e Métodos

O sítio de estudo foi localizado no Horto Tipuana, administrado pela empresa Riocell S.A., Município de Arroio dos Ratos, RS, em área de aproximadamente 180 ha plantada com eucalipto em 1990. O solo do local é predominantemente Litólico eutrófico, sobre granito, sendo comum a ocorrência de afloramentos de rocha. O relevo é ondulado a forte ondulado. A vegetação original era campo natural típico da região da serra do sudeste do RS, cuja fisionomia, segundo Boldrini (1997), se caracteriza por apresentar um estrato superior com arbustos e, em alguns locais, árvores isoladas, e um estrato inferior gramíneo associado a ervas e subarbustos de compostas, leguminosas e umbelíferas. O plantio de *Eucalyptus saligna* foi feito no espaçamento de 3x2 m, e de *Eucalyptus grandis* em 3x1,8 m, preservando-se a vegetação original nas entrelinhas de 3 m. A área era pastejada por bovinos (novilhas), com uma lotação, em peso vivo, de 65 kg ha⁻¹.

O levantamento da vegetação foi realizado em outubro de 1992. As unidades amostrais foram parcelas de 0,5 m de lado distribuídas ao longo de quatro transecções (A, B, C, D). Cada transecção foi demarcada com orientação norte-sul, de modo a abranger um aparente gradiente de sombreamento, partindo do aceiro em direção ao interior da mata, nas entrelinhas do eucalipto, em local com condições de solo e relevo típicas e relativamente homogêneas, excluindo-se áreas anteriormente plantadas com pangola. As transecções A, B e D foram localizadas em ambientes mais secos, em posições convexas do relevo (A e B em topos, D em encosta), enquanto a transecção C localizou-se em ambiente um pouco mais úmido, em uma posição côncava próxima de um topo. A distância mínima entre transecções foi de aproximadamente 50 m. As transecções A e B cruzavam um aceiro, incluindo portanto condições de bordadura com exposições Norte e Sul. As transecções C e D não cruzavam aceiro, tendo somente bordadura com exposição Sul. As transecções A, B e C ficaram em áreas

com *E. saligna* e D numa área com *E. grandis*. O número de parcelas marcadas em cada transecção foi o resultado do seguinte procedimento de amostragem: as parcelas foram localizadas sistematicamente a cada 1 m, partindo da bordadura do aceiro; a partir do ponto onde visualmente se percebia uma variação mais gradual da composição florística, as parcelas foram localizadas a cada 1,5 m até a estabilização da composição florística e ignorando locais sem vegetação (um caso na transecção A). Foram assim marcadas 66 parcelas nas quatro transecções.

Dentro de cada parcela (0,25 m²), foi realizado o inventário das espécies herbáceas e subarbustivas presentes. Sempre que possível, a identificação foi feita no campo até a categoria de espécie. Quando necessário, foram coletados exemplares para posterior determinação. Em casos em que apenas o material vegetativo estava disponível, a identificação pode ter sido limitada a gênero ou família. Em relação a cada espécie foi realizada estimativa visual da abundância-cobertura usando a escala de Braun-Blanquet de sete classes (R: rara; +: esparsa; 1: abundante mas com menos de 5% de cobertura; 2: muito abundante ou com 5% a 25% de cobertura; 3: qualquer número, com 5% a 50% de cobertura; 4: qualquer número, com 50% a 75% de cobertura; 5: qualquer número, com 75% a 100% de cobertura).

A transecção A foi objeto de medidas micrometeorológicas realizadas em outro trabalho e os dados de porcentagem de interceptação da radiação solar pelo dossel arbóreo foram utilizados neste trabalho. A radiação solar total incidente foi medida com um piranômetro (modelo Eppley, preto-e-branco), em nove pontos distribuídos a cada 5 m ao longo da transecção, a partir das margens norte e sul do aceiro, a uma altura de 20 cm do solo. As medidas foram feitas durante três dias em agosto e três dias em dezembro de 1992, a cada hora durante o dia, com as quais foi obtida a radiação média de cada ponto em cada período de avaliação. Por interpolação linear, foi estimada a radiação média incidente (R_n) no centro de cada uma das parcelas da referida transecção em cada período de avaliação. Nos mesmos períodos e com a mesma frequência, foi, também, avaliada a radiação incidente à altura do topo do dossel (R_a) em um ponto localizado no meio do aceiro. A porcentagem de interceptação da radiação solar, aqui designada por grau de sombreamento, foi calculada para cada parcela e período como:

$$I = 100 (1 - R_n/R_a).$$

Os períodos de avaliação do grau de sombreamento em agosto e em dezembro foram escolhidos por representarem duas situações extremas de intensidade e inclinação da radiação solar. Na falta de um levantamento em dezembro do ano anterior, consideramos a avaliação feita em dezembro de 1992 a melhor informação disponível das condições

relativas de sombreamento das parcelas nessa época do ano.

Na análise numérica dos dados florísticos atribuíram-se valores de 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, respectivamente, às classes R, +, 1, 2, 3, 4, 5 da escala de abundância-cobertura de Braun-Blanquet, conforme Maarel (1979). Essa escala de transformação é de uso indicado porque reduz o peso excessivo de espécies dominantes, permitindo que espécies com menor cobertura tenham também influência nos padrões identificados. A análise buscou detectar padrões de distribuição espacial da vegetação e relacioná-los a fatores ambientais, a partir da aplicação de técnicas multivariadas de ordenação e de classificação, implementadas no aplicativo computacional SYNCOSA (Pillar & Orlóci, 1993) e MULTIV (Pillar, 1997). Métodos de análise multivariada são revisados em Podani (2000), entre outros. A ordenação, pelo método de análise de coordenadas principais, a partir de distâncias euclidianas entre parcelas, usando os dados de composição florística, objetivou redescrever o conjunto de parcelas por meio de um menor número de componentes de variação (coordenadas principais), sendo estes mais relevantes para a identificação de padrões de distribuição espacial da composição florística e para sua interpretação por fatores ambientais. Diagramas de dispersão foram construídos com as coordenadas principais. No diagrama, parcelas mais semelhantes quanto à composição florística estarão mais próximas entre si do que parcelas menos semelhantes, permitindo a visualização de padrões.

As espécies foram classificadas em tipos funcionais usando como atributo a rota fotossintética (C_3 ou C_4). A classificação foi baseada em literatura (Sage & Monson, 1999) e em observações da segunda autora deste trabalho. Do total de 164 espécies encontradas no levantamento, foram classificadas, em C_3 ou C_4 , 147 espécies cuja informação sobre a rota fotossintética era mais confiável. A composição de tipos funcionais em cada parcela foi obtida, na análise dos dados, pela soma das porcentagens de cobertura das espécies de cada tipo (C_3 ou C_4). Para tanto, atribuíram-se valores de 0,01%, 0,1%, 2,5%, 15%, 37,5%, 62,5% e 87,5% de cobertura, respectivamente, às classes R, +, 1, 2, 3, 4, 5 da escala de abundância-cobertura de Braun-Blanquet. O estudo de comunidades vegetais com base em tipos funcionais tem antecedentes em Pillar & Orlóci (1993), Díaz & Cabido (1997) e em Pillar (1999).

Análise de agrupamentos (classificação) foi utilizada para identificar, na transecção A, grupos de parcelas mais semelhantes quanto ao grau de sombreamento. Utilizou-se o método de variância mínima, a partir de distâncias euclidianas entre parcelas, usando os dados de grau de sombreamento em agosto e em dezembro (duas variáveis).

Com os dados da transecção A, foi usada análise de variância multivariada, vinculada a teste de aleatorização,

conforme método descrito em Pillar & Orlóci (1996) e implementado no software MULTIV (Pillar, 1997). O objetivo foi avaliar a significância da associação entre composição de espécies e grau de sombreamento e, em outra análise, entre composição de tipos funcionais (C_3 , C_4) e grau de sombreamento. Para tanto, os grupos de parcelas definidos pelo grau de sombreamento foram comparados pela sua composição de espécies (74 variáveis) e, na outra análise, pela sua composição de tipos funcionais (duas variáveis). O resultado do teste de aleatorização é uma probabilidade (P) de obter ao acaso variação entre os grupos tão grande quanto a que foi observada nos dados. A variação entre grupos é medida por uma soma de quadrados entre grupos (Qb), de forma similar à análise de variância tradicional. A probabilidade é gerada por simulação aleatória com os próprios dados, em muitas iterações (foram usadas 1.000 em cada teste), sob a hipótese nula de independência entre o fator definindo os grupos (sombreamento) e as variáveis (composição de espécies ou de tipos funcionais). A hipótese nula é rejeitada se P for suficientemente baixa ($P \leq \alpha$), indicando diferença significativa entre os grupos. Usando a mesma metodologia, foram também avaliados contrastes entre grupos (Pillar & Orlóci, 1996), cujos resultados são interpretados de forma similar a contrastes com graus de liberdade individuais em análise de variância. Aplicou-se teste de aleatorização, ao invés da análise de variância tradicional baseada no teste F, por permitir análise multivariada e não pressupor variáveis com distribuição normal. Mais detalhes sobre testes de aleatorização e sua fundamentação podem ser encontrados em Manly (1991).

Procedimento semelhante de análise de variância com teste de aleatorização foi aplicado aos dados da transecção B para avaliar a associação entre composição de tipos funcionais (C_3 , C_4) e exposição da bordadura do aceiro.

Resultados e Discussão

No inventário das 66 parcelas foi encontrado um total de 164 espécies herbáceas e subarborescentes. As espécies de maior frequência com o respectivo grau médio de abundância-cobertura, quando presente na parcela, e sua ocorrência nas transecções são apresentadas na Tabela 1. Os valores são indicativos da importância de cada espécie na composição florística nas parcelas do inventário. Esses valores não são estimativas da média da composição da vegetação campestre do horto como um todo porque as transecções não foram locadas ao acaso, pois o objetivo do levantamento não foi obter esse tipo de estimativa, mas revelar padrões.

Foi observada uma maior variação da composição de espécies da comunidade vegetal entre as transecções do que dentro das transecções (Figura 1). Fica evidente que cada transecção forma um grupo de parcelas mais semelhantes floristicamente entre si do que as parcelas de diferentes transecções. A posição das espécies no diagrama indica tendências quanto aos sítios (parcelas) em que a espécie apresenta melhor desempenho. A transecção C, mais à direita do diagrama, foi caracterizada pela ocorrência e/ou maior abundância-cobertura de *Baccharis trimera*, *Andropogon lateralis*, *Panicum sabulorum* e *Panicum decipiens*, entre outras contidas na Tabela 1, enquanto que as demais transecções, mais à esquerda do diagrama, o foram por *Stipa filifolia*, *Galactia marginalis*, *Briza subaristata*, *Piptochaetium montevidense* e, em uma posição intermediária, *Paspalum notatum*. No campo, os locais mais úmidos estão na transecção C e os mais secos nas transecções A, B e D, o que poderia estar associado ao padrão de distribuição (Figura 1). Outros levantamentos em vegetação campestre na mesma região têm evidenciado uma forte associação entre composição florística, indicada pelas mesmas espécies encontradas neste trabalho, e condições hídricas do solo, resultantes da posição no relevo (Pillar et al., 1992; Pillar & Orlóci, 1996; Boldrini, 1997). Com base nestes trabalhos, as espécies que caracterizam a transecção C são indicadoras de solo úmido.

Na transecção A, foram estudadas 23 parcelas, encontrando-se um total de 74 espécies. A Tabela 1 mostra quais espécies mais importantes ocorreram nessa transecção e a Tabela 2 apresenta o grau de sombreamento em cada parcela da transecção A, em agosto e dezembro, e os grupos obtidos por análise de agrupamentos com base nesses dados. Houve diferenças consideráveis no grau de sombreamento entre agosto e dezembro, refletindo por um lado, possivelmente, diferenças na área foliar e desenvolvimento do eucalipto, e por outro, efeito da exposição da bordadura do aceiro, já que a transecção posiciona-se na direção Norte-Sul. Foram identificados, usando análise de agrupamentos, quatro grupos de parcelas com base nos dados de sombreamento (Tabela 2). Os grupos evidenciam um padrão de distribuição espacial nitidamente associado à distância do aceiro e à exposição da bordadura do aceiro.

As parcelas do grupo 1 localizam-se na bordadura com exposição Norte, até 2 m do aceiro, apresentando os graus mais baixos de sombreamento, tanto em agosto como dezembro. As do grupo 2 estão também na bordadura com exposição Norte, entre 3 e 7 m do aceiro, com graus intermediários de sombreamento. As parcelas do grupo 4 estão na bordadura com exposição Sul, até 2 m do aceiro, com as maiores diferenças de sombreamento entre agosto e dezembro, sendo mais sombreadas em agosto e menos em dezembro, o que evidencia o efeito de exposição. As parcelas do grupo 3 são as mais sombreadas, lo-

calizadas a partir de 8,5 m do aceiro na bordadura com exposição Norte, e a partir de 4 m na bordadura com exposição Sul.

A distribuição espacial da vegetação na transecção A está associada ao grau de sombreamento, como pode ser observado no diagrama de ordenação na Figura 2, obtido a partir da ordenação das 23 parcelas com os dados de composição das 74 espécies. Os grupos baseados no grau de sombreamento (grupos 1-4, Tabela 2) foram usados na Figura 2 apenas para identificar as parcelas. As parcelas do grupo 1 (menos sombreadas) estão à esquerda

Tabela 1. Rota fotossintética (RF), frequência (F), grau médio de abundância-cobertura (COB) e presença de espécies herbáceas e subarborescentes com maior frequência em 66 parcelas, a partir de um total de 164 espécies. Horto Tipuana, Arroio dos Ratos, RS.

Família	Espécie	RF	F (%)	COB	Presença ⁽¹⁾			
					A	B	C	D
Poaceae	<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) Parodi	C ₃	77,3	3,8	1	1	1	1
Poaceae	<i>Briza subaristata</i> Lam.	C ₃	53,0	2,2	1	1		1
Asteraceae	<i>Aspilia montevidensis</i> (Spreng.) O. K.	C ₃	40,9	1,8	1	1		
Apiaceae	<i>Eryngium horridum</i> Malme	C ₃	37,9	3,3	1	1		1
Hypoxidaceae	<i>Hypoxis decumbens</i> L.	C ₃	37,9	2,0	1		1	
Poaceae	<i>Paspalum notatum</i> Fl.	C ₄	37,9	3,5	1	1	1	
Amaranthaceae	<i>Pfaffia tuberosa</i> (Spreng.) Hick.	-	36,4	1,8	1	1		
Oxalidaceae	<i>Oxalis conorrhiza</i> (Feuillee) Jacq.	C ₃	31,8	1,8	1	1		
Poaceae	<i>Agrostis</i> sp.	C ₃	31,8	2,4	1	1	1	
Oxalidaceae	<i>Oxalis lasiopetala</i> (Hooker) Zuccarini	C ₃	31,8	1,5	1		1	
Apiaceae	<i>Centella</i> sp.	C ₃	30,3	2,4	1	1	1	
Acantaceae	<i>Ruellia</i> sp.	C ₃	27,3	1,4				1
Poaceae	<i>Panicum sabulorum</i> Lam.	C ₄	25,8	3,1	1		1	
Poaceae	<i>Setaria geniculata</i> (Lam.) Beauv.	C ₄	24,2	1,9		1		1
Asteraceae	<i>Vernonia nudiflora</i> Less.	C ₃	24,2	1,6			1	1
Asteraceae	<i>Chevreulia acuminata</i> Less.	C ₃	22,7	2,2	1			
Malvaceae	<i>Wissadula glechomatifolia</i> (St. Hil.) R.E. Freiz	C ₃	21,2	1,7		1		1
Rubiaceae	<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. F. W. Meyer	C ₃	21,2	1,9	1		1	
Malvaceae	<i>Krapovickasia macrodon</i> (DC.) Frixell	C ₃	19,7	1,6				1
Rubiaceae	<i>Galianthe fastigiata</i> Griseb.	-	19,7	1,5		1		
Lythraceae	<i>Cuphea glutinosa</i> Cham. et Schlecht.	C ₃	18,2	1,2	1			
Lamiaceae	<i>Lamiaceae</i> (não determinada)	C ₃	18,2	1,6		1		1
Rubiaceae	<i>Relbunium richardianum</i> (Gill. Ex Hook. et Arn.) Hicken	C ₃	18,2	1,8		1		
Rubiaceae	<i>Dichondra sericea</i> Sw.	C ₃	18,2	1,9			1	
Poaceae	<i>Stipa filifolia</i> Nees	C ₃	18,2	4,7				1
Poaceae	<i>Schizachyrium tenerum</i> Nees	C ₄	18,2	1,7		1		1
Poaceae	<i>Paspalum plicatulum</i> Mich.	C ₄	18,2	2,0	1			
Poaceae	<i>Panicum decipiens</i> Nees ex Trin.	-	18,2	2,7			1	
Asteraceae	<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	C ₃	18,2	3,6			1	
Fabaceae	<i>Galactia marginalis</i> Benth.	C ₃	18,2	1,8				1
Poaceae	<i>Axonopus affinis</i> Chase	C ₄	16,7	3,2	1	1		
Rubiaceae	<i>Dichondra microcalyx</i> (Hall.) Fabr.	C ₃	16,7	2,2	1			
Rubiaceae	<i>Richardia grandiflora</i> (Cham. et Schlecht.) Steud.	C ₃	16,7	1,8		1		
Poaceae	<i>Aristida jubata</i> (Arech.) Herter	C ₄	16,7	3,4		1		
Amaranthaceae	<i>Pfaffia gnaphalioides</i> (Lf.) Mart.	-	15,2	1,5				1
Cyperaceae	<i>Carex</i> sp.	-	15,2	1,7				1
Poaceae	<i>Andropogon lateralis</i> Nees	C ₄	10,6	3,4			1	

⁽¹⁾Espécies indicadas com 1 ocorreram em pelo menos 20% das parcelas da respectiva transecção.

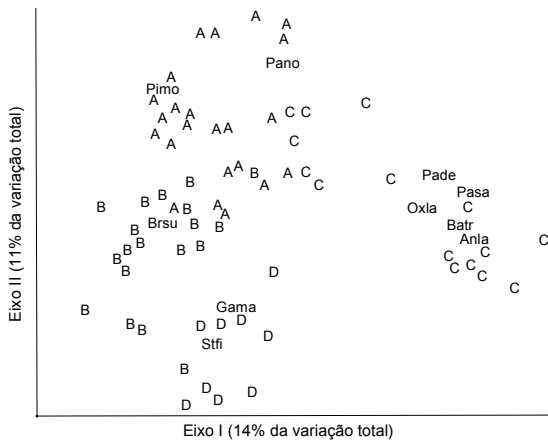


Figura 1. Diagrama de ordenação obtido por análise de coordenadas principais, com dados de composição florística de 164 espécies em 66 parcelas, distribuídas em transecções A-D; as espécies mais correlacionadas com eixos de ordenação estão indicadas como Pimo (*Piptochaetium montevidense*), Brsu (*Briza subaristata*), Pano (*Paspalum notatum*), Pade (*Panicum decipiens*), Pasa (*Panicum sabulorum*), Osla (*Oxalis lasiopetala*), Batr (*Baccharis trimera*), Anla (*Andropogum lateralis*), Gama (*Galactia marginalis*) e Stfi (*Stipa filifolia*).

do diagrama, e as mais sombreadas estão à direita (predominantemente grupo 3). Os demais grupos (2 e 4) estão em posições intermediárias. As parcelas menos sombreadas (grupo 1) são caracterizadas por *Paspalum notatum*, *Axonopus affinis*, *Centella* sp., entre outras listadas na Tabela 1, enquanto as parcelas mais sombreadas (em especial, do grupo 3) são caracterizadas por *Piptochaetium montevidense*, *Hypoxis decumbens*, *Pfaffia tuberosa* e *Agrostis* sp. Esses grupos diferem significativamente ($P = 0,001$) quanto à composição de espécies, conforme análise de variância multivariada (74 variáveis) com teste de aleatorização. Contrastes entre grupos indicam que o grupo 1 difere significativamente dos demais e que estes não diferem entre si quanto à composição de espécies (Tabela 3).

Os dados mostram que a composição de tipos funcionais (cobertura com espécies C_3 e C_4) está associada ao padrão de sombreamento, já que a análise indicou que os grupos de sombreamento diferem significativamente quanto à composição de tipos funcionais ($P = 0,007$) (Tabelas 2 e 3). Contras-

Tabela 2. Localização, grau de sombreamento e composição de tipos funcionais (C_4 , C_3) das parcelas da transecção A. Horto Tipuana, Arroio dos Ratos, RS.

Distância do aceiro (m)	Exposição ⁽¹⁾	Grau de sombreamento (%)		Grupo de sombreamento ⁽²⁾	Cobertura com espécies (%)	
		Agosto/92	Dezembro/92		C_4	C_3
0,0	N	18,4	20,0	1	40,01	15,25
1,0	N	25,4	30,4	1	32,53	22,74
2,0	N	32,4	40,7	1	70,01	5,19
3,0	N	39,3	51,1	2	15,12	40,26
4,0	N	46,3	61,4	2	52,51	20,34
5,0	N	52,9	69,9	2	15,10	5,34
6,0	N	58,3	72,9	2	0,31	55,45
7,0	N	63,8	75,8	2	0,01	42,93
8,5	N	72,0	80,3	3	0,20	52,81
10,0	N	79,2	83,9	3	0,11	2,84
11,5	N	81,5	83,3	3	0,01	15,65
13,0	N	83,7	82,7	3	2,51	40,45
14,5	N	86,0	82,1	3	0,10	18,05
16,0	N	86,8	84,5	3	0,00	15,33
17,5	N	87,2	87,5	3	0,01	5,14
0,0	S	77,4	42,4	4	37,60	2,64
1,0	S	77,7	51,1	4	15,20	7,82
2,0	S	78,0	59,8	4	0,10	45,43
4,0	S	78,6	77,2	3	15,00	7,83
5,0	S	78,9	83,9	3	2,50	15,54
6,5	S	79,3	85,3	3	0,10	15,45
8,0	S	79,8	86,7	3	0,00	37,73
9,5	S	80,2	88,1	3	0,20	2,63

⁽¹⁾Exposição solar da bordadura com o aceiro mais próximo da parcela: N: norte; S: sul. ⁽²⁾Grupo de sombreamento (1-4) com base em análise de agrupamentos usando o grau de sombreamento de agosto e de dezembro de 1992.

tes mostram que o grupo 1 difere significativamente dos grupos 2 e 3 mas não do grupo 4, e que os grupos 2, 3 e 4 não diferem entre si (Tabela 3). O grupo 1 (menos sombreado) apresentou maior cobertura com espécies C₄, enquanto essa cobertura foi mínima no grupo 3 (mais sombreado) e intermediária nos grupos 2 e 4. A cobertura com espécies C₃ foi mínima no

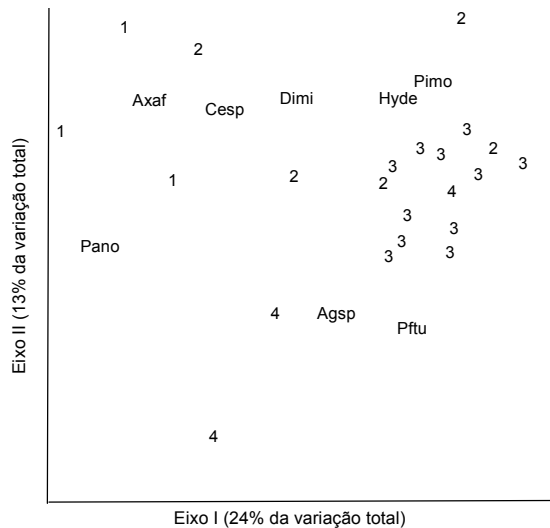


Figura 2. Diagrama de ordenação obtido por análise de coordenadas principais, com dados de composição florística de 74 espécies em 23 parcelas, da transecção A; identificadas pelo grupo de sombreamento (1-4); as espécies mais correlacionadas com eixos de ordenação estão indicadas como Pano (*Paspalum notatum*), Axaf (*Axonopus affinis*), Cesp (*Centella* sp.), Dimi (*Dichondra microcalyx*), Hyde (*Hypoxis decumbens*), Pimo (*Piptochaetium montevidense*), Agsp (*Agrostis* sp.) e Pftu (*Pfaffia tuberosa*).

grupo menos sombreado (1) e máxima no grupo intermediário (2). Os resultados revelam o comportamento dos tipos funcionais em relação ao gradiente de sombreamento observado no espaço. Sabe-se que plantas C₄ são geralmente menos adaptadas a condições de sombra do que as C₃ (Krall & Percy, 1993; Sage et al., 1999), o que se confirma neste trabalho. Com base nesses resultados, pode ser enunciada a seguinte hipótese sobre a resposta, no tempo, de espécies herbáceas ao desenvolvimento da floresta plantada: espécies C₄ tendem a reduzir sua cobertura na comunidade com o incremento do sombreamento, enquanto espécies C₃, por serem mais tolerantes, são, até um nível intermediário de sombreamento, beneficiadas pela supressão das espécies C₄, mas em níveis mais altos de sombreamento as espécies C₃ tendem a reduzir sua cobertura.

As demais transecções não foram avaliadas quanto ao grau de sombreamento. Poder-se-ia inferir que o grau de sombreamento é crescente a partir do aceiro, mas os dados da Tabela 4 não indicam, nas transecções B e C, padrões regulares de distribuição espacial da cobertura com tipos funcionais (C₃, C₄) associada à distância do aceiro. Na transecção B, por exemplo, a cobertura com espécies C₃ e C₄ aumenta e diminui aparentemente ao acaso ao longo da transecção, em especial na bordadura com exposição Norte. O mesmo pode ser visto nos dados da transecção C. No campo, o desenvolvimento da floresta na transecção B foi menor, possivelmente decorrente de solo mais raso, o que estaria determinando um padrão irregular de sombreamento, não associado à distância do aceiro. O oposto ocorre na transecção D, em que o grau de sombreamento em toda a transecção, apesar de não medido, indicou

Tabela 3. Análise comparativa de grupos baseados no grau de sombreamento, considerando composição de espécies e de tipos funcionais (C₄, C₃), em parcelas de vegetação herbácea e subarbustiva. Horto Tipuana, Arroio dos Ratos, RS.

Grupos de sombreamento	Grau médio de sombreamento (%)		Composição de espécies ⁽¹⁾	Cobertura com espécies (%)		Composição de tipos funcionais ⁽²⁾
	Agosto/92	Dezembro/92		C ₄	C ₃	
1 (n=3)	25,4	30,4	a	47,5	14,4	a
2 (n=5)	52,1	66,2	b	16,6	32,9	b
3 (n=12)	81,1	83,8	b	1,7	19,1	b
4 (n=3)	77,7	51,1	b	17,6	18,6	ab

⁽¹⁾ Grupos seguidos da mesma letra não diferem significativamente entre si, com base nas seguintes probabilidades, obtidas por teste de aleatorização, para contrastes de grupos aos pares: P = 0,015 para 1-2; P = 0,001 para 1-3; P = 0,012 para 1-4; P = 0,118 para 2-3; P = 0,086 para 2-4; P = 0,093 para 3-4. ⁽²⁾ Grupos seguidos da mesma letra não diferem significativamente entre si, com base nas seguintes probabilidades, obtidas por teste de aleatorização, para contrastes de grupos aos pares: P = 0,037 para 1-2; P = 0,002 para 1-3; P = 0,144 para 1-4; P = 0,128 para 2-3; P = 0,601 para 2-4; P = 0,45 para 3-4.

Tabela 4. Localização e composição de tipos funcionais (C_4 , C_3) das parcelas das transecções B, C e D. Horto Tipuana, Arroio dos Ratos, RS.

Distância do aceiro (m)	Exposição	Cobertura com espécies (%)	
		C_4	C_3
Transecção B			
0,0	N	20,12	68,37
1,0	N	15,20	48,09
2,0	N	0,33	25,81
3,0	N	32,82	23,32
4,0	N	17,72	16,06
5,0	N	22,62	15,60
6,5	N	22,61	3,28
8,0	N	30,21	40,39
9,5	N	15,01	20,24
11,0	N	17,80	3,06
12,5	N	17,72	3,19
1,0	S	0,20	63,24
2,0	S	5,01	15,41
3,0	S	0,11	35,72
4,0	S	15,30	20,67
5,0	S	7,50	40,47
6,5	S	0,01	30,79
8,0	S	2,50	18,03
9,5	S	0,10	5,34
Transecção C			
0,0	S	20,00	8,48
1,0	S	2,60	10,22
2,0	S	15,20	30,42
3,0	S	0,30	0,43
4,0	S	17,60	7,63
5,0	S	17,61	7,81
6,0	S	2,60	20,52
7,0	S	15,00	40,41
8,5	S	5,30	10,42
10,0	S	45,10	0,71
11,5	S	2,61	87,72
13,0	S	17,60	37,82
14,5	S	32,70	15,52
16,0	S	47,50	15,44
17,5	S	20,00	2,81
Transecção D			
0,0	S	2,50	5,57
1,0	S	0,22	20,43
2,0	S	0,01	18,05
3,0	S	0,00	18,84
4,0	S	0,02	18,12
5,5	S	0,10	30,35
7,0	S	0,01	2,95
8,5	S	0,01	0,63
10,0	S	0,01	0,44

ser alto, possivelmente relacionado à maior densidade de plantio do eucalipto nessa transecção. Com efeito, na transecção D, partindo do aceiro em direção ao interior da floresta, diminui a cobertura com espécies C_4 e aumenta, até posições intermediárias da transecção, a cobertura com espécies C_3 . Esse padrão de distribuição no espaço é compatível com aquele observado na transecção A. Pode-se inferir que a mesma associação entre sombreamento e composição de tipos funcionais seria esperada nas transecções B, C e D se o grau de sombreamento tivesse sido medido.

Na transecção B a diferença entre as bordaduras Norte e Sul quanto à composição de tipos funcionais (C_3 , C_4) é significativa ($P = 0,087$), apesar de essa probabilidade de erro ser um pouco maior do que o limiar usual ($\alpha = 0,05$). As parcelas que estão na bordadura com exposição Norte, possivelmente menos sombreadas, apresentaram uma maior cobertura com espécies C_4 , sendo o contrário observado na bordadura com exposição Sul.

Conclusões

1. A composição de espécies em comunidades do estrato herbáceo sob floresta plantada com eucalipto está associada ao grau de sombreamento.

2. Comunidades localizadas em sítios menos sombreados tendem a ter maior cobertura com espécies C_4 e menor com espécies C_3 , ao passo que comunidades sob um grau intermediário de sombreamento apresentam maior cobertura com espécies C_3 e menor com C_4 .

3. A diminuição da radiação incidente no estrato inferior, durante o desenvolvimento inicial do eucalipto, determina na vegetação campestre, a redução da cobertura com espécies C_4 e aumento com espécies C_3 , mais tolerantes ao sombreamento.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor; à Fapergs, pelo apoio financeiro; à Riocell, pelo acesso ao Horto Tipuana; a Homero Bergamaschi, pela cedência dos dados de radiação solar; a Jamir Silva, por informações sobre o manejo da área com bovinos; a João Carlos de Saibro e ao Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, pelo apoio à realização deste trabalho.

Referências

- BOLDRINI, I. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Boletim do Instituto de Biociências**. Porto Alegre, v. 56, p. 1-39, 1997.
- CARVALHO, M. M. O papel das árvores em sistemas de produção animal a pasto. **O Produtor de Leite**, Juiz de Fora, v. 24, n. 147, p. 56-59, 1994.
- COUTO, L.; ROATH, R. L.; BETTERS, D. R.; GARCIA, R.; ALMEIDA, J. C. C. Cattle and sheep in eucalyptus plantations: a silvipastoral alternative in Minas Gerais. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 28, n. 2, p. 173-185, 1994.
- DÍAZ, S.; CABIDO, M. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. **Journal of Vegetation Science**, Uppsala, v. 8, n. 4, p. 463-474, 1997.
- GREGOR, E. W. Integración del pastoreo en la agroforesteria tropical. **México y sus Bosques**, México, v. 12, n. 5, p. 27-34, 1993.
- KRALL, J. P.; PEARCY, R. W. Concurrent measurements of oxygen and carbon-dioxide exchange during lightflecks in maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology**, Rockville, v. 103, n. 3, p. 823-828, 1993.
- MAAREL, E. van der. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. **Vegetatio**, Haia, v. 39, n. 2, p. 97-114, 1979.
- MANLY, B. F. J. **Randomization and Monte Carlo methods in biology**. London: Chapman & Hall, 1991. 281 p.
- ORLÓCI, L. Conjectures and scenarios in recovery study. **Coenoses**, Trieste, v. 8, n. 3, p. 141-148, 1993.
- PILLAR, V. D. Análise e predição de fenômenos ecológicos em pastagens naturais. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO EM FORRAGEIRAS DO CONE SUL – ZONA CAMPOS, 17., 1998, Lages. **Anais... Lages: Epagri/Udesc**, 1998. p. 39-45.
- PILLAR, V. D. Multivariate exploratory analysis and randomization testing with MULTIV. **Coenoses**, Gorizia, v. 12, n. 2/3, p. 145-148, 1997.
- PILLAR, V. D. On the identification of optimal plant functional types. **Journal of Vegetation Science**, Uppsala, v. 10, n. 5, p. 631-640, 1999.
- PILLAR, V. D.; JACQUES, A. V. A.; BOLDRINI, I. I. Fatores ambientais relacionados à variação de um campo natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 8, p. 1089-1101, ago. 1992.
- PILLAR, V. D.; ORLÓCI, L. **Character-based community analysis: the theory and an application program**. Haia: SPB Academic, 1993. 270 p.
- PILLAR, V. D.; ORLÓCI, L. On randomization testing in vegetation science: multifactor comparisons of relevé groups. **Journal of Vegetation Science**, Uppsala, v. 7, n. 4, p. 585-592, 1996.
- PODANI, J. **Introduction to the exploration of multivariate biological data**. Leiden: Backhuys, 2000. 407 p.
- SAGE, R. F.; MONSON, R. K. The taxonomy distribution of C₄ photosynthesis. In: SAGE, R. F.; MONSON, R. K. (Ed.). **C₄ Plant Biology**. San Diego: Academic, 1999. p. 551-584.
- SAGE, R. F.; WEDIN, D. A.; LI, M. The biogeography of C₄ photosynthesis: patterns and controlling factors. In: SAGE, R. F.; MONSON, R. K. (Ed.). **C₄ Plant Biology**. San Diego: Academic, 1999. p. 313-373.
- SILVA, J. L. S. **Produtividade de componentes de um sistema silvipastoril constituído por *Eucalyptus saligna* e pastagens cultivada e nativa do Rio Grande do Sul**. 1998. 174 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1998.
- WILDI, O.; SCHÜTZ, M. Reconstruction of a long-term recovery process from pasture to forest. **Community Ecology**, Budapest, v. 1, n. 1, p. 25-32, 2000.