

# CLASSIFICAÇÃO E ORDENAÇÃO DE UM POVOAMENTO FLORESTAL AFETADO PELO FOGO

Flora da Silva Ramos Vieira Martins <sup>1</sup>  
Engenheira Florestal, Mestranda em Sensoriamento Remoto,  
florarvm@dsr.inpe.br, +55(12)3208-6736

Haron Abraham Magalhães Xaud <sup>1,2</sup>  
Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Sensoriamento Remoto

João Roberto dos Santos <sup>1</sup>  
Engenheiro Florestal, Doutor em Sensoriamento Remoto

Lênio Soares Galvão <sup>1</sup>  
Geólogo, Doutor em Geofísica

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Avenida dos Astronautas, nº. 1758, Jd. da Granja  
CEP: 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

<sup>2</sup> Embrapa Roraima  
BR- 174, km 8, Distrito Industrial, CEP: 69.301-970 – Boa Vista – RR, Brasil

## Resumo

A diversidade biológica pode ser traduzida em diversidade alfa ( $\alpha$ ) beta, ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ). As diversidades  $\alpha$  e  $\gamma$  exprimem a riqueza de espécies em duas escalas diferentes: a local e a regional, respectivamente. Já a diversidade  $\beta$  traduz a heterogeneidade de entidades espacialmente definidas, e pode ser útil no estudo de impactos sobre a vegetação. Diversas metodologias foram desenvolvidas no sentido de melhor analisar a diversidade  $\beta$ , dentre as quais se destacam as classificações e ordenações. A fim de verificar o impacto de incêndios sucessivos na florística e estrutura de um povoamento florestal localizado no norte da Amazônia brasileira, foram realizadas análises de classificação (ligação média (UPGMA) baseada no índice de similaridade de Morisita-Horn) e ordenação de dados (análise de correspondências - CA, análise de principais componentes - PCA e análise canônica de correspondências - CCA). Os resultados das classificações evidenciaram a formação de dois principais grupos quanto à florística: o das parcelas mais degradadas pelo fogo e das menos degradadas. Quanto às análises de ordenação, a CA confirmou a existência de um gradiente florístico associado ao impacto do fogo; a PCA por sua vez indicou a presença de um gradiente estrutural ligado também ao impacto do fogo. De maneira geral, é possível afirmar que o fogo teve forte impacto sobre a composição florística deste povoamento, reduzindo as diversidades  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Quanto aos métodos, estes se mostraram sensíveis às variações analisadas, trazendo informações importantes sobre a resposta da floresta ao fogo.

## 1. Introdução

Segundo Whittaker (1972), a biodiversidade pode ser considerada em diversas escalas e assim traduzida em diversidade alfa ( $\alpha$ ) beta, ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ). As

diversidades  $\alpha$  e  $\gamma$  exprimem a riqueza de espécies em duas escalas diferentes: a local e a regional, respectivamente. Já a diversidade  $\beta$  traduz a heterogeneidade de entidades espacialmente definidas e pode ser especialmente útil no estudo de impactos sobre a vegetação.

No contexto amazônico, uma forma recorrente de degradação florestal se dá através do fogo, que pode atingir tanto a composição florística como a estrutura do povoamento. De acordo com Cochrane e Schulze (1999), em estudo na Amazônia, a ocorrência de incêndios florestais aumentou dramaticamente a abundância de espécies pioneiras, afetando diretamente também a composição do sub-bosque nas áreas mais atingidas. Os autores detectaram ainda a relação inversa entre riqueza de espécies e gravidade da queima, no entanto não encontraram padrão claro de seleção de espécies (Cochrane e Schulze, 1999). Ainda na Amazônia, Barlow e Peres (2008) observaram drásticas mudanças na composição florística e estrutural da floresta após incêndios recorrentes, identificando efeitos de gradual impacto na florística a cada ocorrência adicional de fogo.

Quanto aos impactos estruturais, Barlow e Peres (2008) indicaram mudanças significativas em determinadas classes de diâmetro. Barlow et al. (2003) reportaram ainda o aumento da mortalidade de árvores de grande porte entre um e três anos após o incêndio, o que poderia dobrar as estimativas de perdas de biomassa advindas de queimas em florestas tropicais.

Embora pouco aplicadas neste contexto, técnicas de estimativa e análise da diversidade  $\beta$  podem ser utilizadas no intuito de caracterizar níveis de impacto sobre o povoamento florestal, dentre elas destacando-se as classificações e ordenações. Segundo Barbour et al. (1999), os métodos de classificação têm como objetivo reunir entidades semelhantes em um grupo discreto, diferente dos demais. Estas classificações podem ser realizadas de diversas maneiras, como através de espécies dominantes, de espécies características (método de Braun-Blanquet) ou ainda através da análise de toda a flora local. Em comum, estes métodos apresentam como resultado tabelas ou gráficos em que os grupos se apresentam claramente (e rigidamente) definidos. As análises de ordenação, por outro lado, são utilizadas no intuito de evidenciar gradientes ecológicos e seus resultados são apresentados de forma que a definição dos grupos é dependente do analista.

Neste contexto, o objetivo principal do trabalho é analisar a existência de gradiente florístico e estrutural em um povoamento florestal afetado por sucessivos incêndios.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Base de dados:**

A área de estudo localiza-se na região centro-norte do Estado de Roraima, porção norte da Amazônia brasileira (2°43'N, 61°39'W; 2°15'N, 61°07'). Esta região caracteriza-se pela ocorrência frequente de incêndios florestais, principalmente em anos de secas severas devido ao El Niño. A vegetação no local é definida como floresta de contato savana – floresta ombrófila (Barbosa et al., 2010).

Foram instaladas 50 parcelas (0,25 ha cada) localizadas de acordo com a intensidade e recorrência dos eventos de incêndio (Tabela 1). Para cada indivíduo arbóreo com DAP  $\geq$  10 cm foram mensurados o DAP e as alturas comercial e total. Foi igualmente realizada a identificação botânica de cada um dos indivíduos ao nível de espécie. Foram considerados também os indivíduos adultos (DAP  $\geq$  10 cm) de palmeiras e bananeiras-bravas (*Phenakospermum guianense* (Rich.) Miq.), além de bambus.

Para aquisição dos valores estimados de biomassa individuais, foram utilizadas quatro equações alométricas. A primeira, desenvolvida por Chave et al. (2005), foi aplicada aos indivíduos arbóreos em geral, sendo que a densidade básica da madeira considerada foi de  $0,69 \text{ g.cm}^{-3}$  (Fearnside, 1997). Para estimativa da biomassa de indivíduos de cecropia (família Urticaceae), foi empregada a equação desenvolvida por Nelson et al (1999). No caso das palmeiras, utilizou-se a equação obtida por Saldarriaga et al. (1988). Por fim, a biomassa das bananeiras foi obtida através da equação de Chave et al. (2005), porém com a densidade básica de  $0,31 \text{ g.cm}^{-3}$  (Baker et al., 2004).

A partir desta base de dados foram gerados parâmetros médios por parcela de DAP e altura total, além da altura dominante, área basal, biomassa e densidade de indivíduos (total, arbóreos e não arbóreos). Também foram consideradas as posições geográficas (X, Y e Z) de cada parcela. Através da abundância das espécies por parcela foram obtidos os índices de diversidade de Shannon ( $H'$ ) e de Pielou ( $J$ ).

## 2.2. Classificações

De forma geral, as análises por classificações visam a criação de grupos de objetos (parcelas) homogêneos internamente e distintos dos demais. Neste estudo, as classificações foram realizadas de acordo com o método de análise hierárquica do tipo aglomerativa. Para isto, foi realizado o agrupamento (*cluster analysis*) através do algoritmo da ligação média (UPGMA) baseado no índice de similaridade de Morisita-Horn (Magurran, 1988). A partir de um valor de índice Morisita-Horn de 0,5 considera-se que o par de entidades em análise é semelhante. Como resultado principal, a análise de agrupamento gera um dendrograma em que os nós definem o grau de similaridade entre os objetos e grupos.

Inicialmente, a análise foi feita com todas as espécies do banco de dados (arbóreas, palmeiras, bambus e bananeiras-bravas). Em seguida, a análise foi repetida retirando-se progressivamente os indivíduos não lenhosos. Primeiramente foram excluídas da análise as bananeiras-bravas e os bambus, realizando-se nova classificação. Por último, foram retiradas também as palmeiras, considerando-se então apenas os indivíduos arbóreos e realizando-se nova classificação.

A análise dos resultados englobou três aspectos: o dendrograma em si, a estrutura da matriz de semelhança original e o valor da correlação cofenética. Pelo dendrograma, é possível avaliar tanto a composição de cada grupo formado assim como o grau de similaridade intra e inter grupos. Já a apreciação da estrutura da matriz de distância/semelhança original permite inferir sobre a qualidade de representação desta matriz pelo dendrograma. Por fim, a correlação cofenética oferece uma medida que resume o grau de concordância entre o dendrograma e a matriz de semelhança original. Esta análise foi realizada através do programa Fitopac2.1 (Shepherd e Urbanetz, 2010).

## 2.3. Ordenações

As análises de ordenação permitem a identificação de gradientes ecológicos. Uma das principais diferenças em relação às análises de agrupamento diz respeito ao fato de não gerarem grupos definidos como resultado. Neste trabalho foram aplicadas três técnicas de ordenação: análise de correspondências (CA), análise de componentes principais (PCA) e análise canônica de correspondências (CCA). A CA e a PCA são consideradas análises indiretas. Já a CCA é considerada análise direta, pois existe a restrição dos eixos.

A partir dos dados de frequência dos indivíduos por espécie e por parcela foi realizada a CA, o que possibilitou a análise da existência de um gradiente florístico relacionado ao impacto do fogo nas unidades amostrais. Utilizando os dados estruturais e também os índices de diversidade H' e J, foi realizada a PCA, o que permitiu a análise do gradiente estrutural ligado ao grau de impacto do fogo. Por último, a CCA permitiu a apreciação da ligação entre os primeiros gradientes analisados pela PCA e CA simultaneamente em relação aos impactos causados pelos incêndios. Todas as análises foram realizadas através do programa Fitopac2.1 (Shepherd e Urbanetz, 2010).

### **3. Resultados e discussões**

#### **3.1. Classificações**

Os dendrogramas gerados a partir dos diferentes conjuntos de dados apresentaram nítidas semelhanças, com a separabilidade de dois grandes grupos: aquele das parcelas mais degradadas (mais fortemente afetadas pelo fogo e que pertencem aos estratos 3 e, principalmente, 4 e 5) e aquele formado pelas parcelas menos degradadas (formado principalmente pelas parcelas dos estratos 1 e 2). Além disto, foi detectada maior similaridade entre as parcelas mais fortemente atingidas pelo fogo e a grande estabilidade do grupo de parcelas não atingidas pelo fogo (Figura 1).

Quanto às estruturas das matrizes primárias (Figura 2), pode-se notar que com a retirada gradual dos elementos não-arbóreos, a matriz tornou-se mais bem estruturada, o que se traduz em uma maior presença de elementos triangulares visíveis, sugerindo um melhor agrupamento das parcelas. Este fato foi confirmado pelos coeficientes cofenéticos, que foi mínimo quando consideradas todas as espécies do banco de dados (0,77) e máximo quando considerados apenas os indivíduos arbóreos (0,93) indicando, para este último, a boa representação dos dados pelo dendrograma. O valor do coeficiente foi intermediário quando utilizadas as espécies de palmeiras junto às espécies arbóreas (0,85).

#### **3.2. Ordenações**

Como primeiro resultado da CA, pode-se notar que no eixo 1 (que explica 14% da variabilidade florística total) as espécies se aproximam de forma que as parcelas se distribuam em um gradiente mais-menos fogo no sentido esquerda-direita (Figura 3) em relação à estratificação pré-definida (Tabela 1). Pode-se destacar a presença das espécies embaúba branca (*Cecropia leucoma* Miquel) e bananeira brava (*Phenakospermum guianense* (Rich.) Miq.) na porção esquerda do eixo 1, região em que aparecem as parcelas mais atingidas pelos incêndios. Desta forma, é possível dizer que a composição florística das parcelas reflete o gradiente de impacto do fogo. Já no eixo 2 (12%), as parcelas se distribuem principalmente de acordo com a abundância de bananeiras-bravas, espécie relacionada à degradação florestal, sendo esta maior na porção inferior (Figura 3).

Quanto à PCA, ressalta-se primeiramente que através apenas dos eixos 1 e 2 é possível explicar 66% da variação dos dados (Figura 4). O eixo 1 apresenta-se mais uma vez ligado ao grau de impacto do fogo, já que a variável "estrato" se opõe à todas as variáveis estruturais (em maior grau) e também aos índices de diversidade florística (em menor grau). Desta forma, ao longo do eixo 1, há um aumento da biomassa e da diversidade de espécies e a diminuição do impacto do fogo (estrato) no sentido esquerda-direita. Já o eixo 2 está ligado principalmente à densidade de indivíduos indicando que a intensidade do fogo e os parâmetros físicos são de certa

forma independentes da densidade de indivíduos. Também os índices de diversidade ( $H'$  e  $J$ ) explicam parte da variação no eixo 2.

Por fim, a análise dos resultados da CCA (Figura 5) relativos às espécies, indicam que a distribuição das parcelas no eixo 1 continua ligada à ocorrência mais ou menos impactante do fogo. Nota-se também que o eixo 2 continua associado à presença de algumas espécies marcantes também identificadas na CA (bananeira-brava e embaúba-branca). Quando analisada através dos atributos físicos e índices de diversidade (Figura 6), a CCA indica no eixo 1, sentido esquerda-direita, o gradiente mais fogo, menos biomassa, menos diversidade. Desta maneira, é possível dizer que existe uma relação entre o gradiente florístico e estrutural devido ao impacto do fogo, pois a combinação das variáveis florísticas (abundância de espécies e índices) e estruturais (altura, biomassa, DAP, densidade) possibilitou a identificação dos estratos previamente estabelecidos (Tabela 1).

#### **4. Conclusões**

O resultado das classificações indicou a formação de dois principais agrupamentos de parcelas de acordo com a composição florística, evidenciando o contraste entre as parcelas mais degradadas e as menos degradadas. Quanto às análises de ordenação, a CA confirmou a existência de um gradiente florístico associado ao impacto do fogo; a PCA por sua vez indicou a presença de um gradiente estrutural ligado também ao impacto do fogo; e por fim, a partir da CCA verificou-se a associação entre o gradiente florístico e estrutural em relação ao impacto do fogo.

De maneira geral, é possível afirmar que o fogo teve forte impacto sobre a composição florística do povoamento florestal em questão, reduzindo assim as diversidades  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Quanto aos métodos empregados, estes se mostraram bastante robustos e sensíveis às variações analisadas, trazendo informações importantes sobre a resposta da floresta ao fogo.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudos e de produtividade concedida aos autores. Agradecem igualmente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro à participação no V CONFLAT.

## Referências

- BAKER, T.R., et al. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian Forest biomass. *Global Change Biology*, vol. 10: pg. 1-18.
- BARBOSA, R.I.; KEIZER, E.; PINTO, F. 2010. Ecosistemas terrestres de Roraima: área e modelagem espacial da biomassa, In: Barbosa, R.I.; Melo, V. F. (Orgs.), Roraima: Homem, Ambiente e Ecologia. Boa Vista, FEMACT, p. 347-368.
- BARBOUR, M. G., BURK, J. H., PITTS, W. D., GILLIAM, F. S. E SCHWARTZ, M.W. 1999. *Terrestrial Plant Ecology*. 3a. Edição, The Benjamin Cunnings Publishing Company, 649 pg.
- BARLOW, J., PERES, C.A. 2008 Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. *Philosophical Transactions of The Royal Society, Biological Sciences*, vol. 363: pg. 1787–1794.
- BARLOW, J., PERES, C.A., LAGAN, B.O. e HAUGAASEN, T. 2003 Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. *Ecology Letters*, vol. 6: pg. 6–8.
- CHAVE, J. et al. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, vol. 145: pg. 87-99.
- COCHRANE, M. A., SCHULZE, M. D. 1999 Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: Effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica*, vol. 31, n.1: pg. 2–16.
- FEARNSIDE, P. M. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, vol. 90: pg. 59-87.
- MAGURRAN, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, N. J, 179 pg.
- NELSON, B. W., et al. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*, vol. 117: pg. 149-167.
- SALDARRIAGA, J. G., WEST, D. C., THARP, M. L., UHL, C. 1988. *Journal of Ecology*, vol. 76: pg. 938-958.
- SHEPHERD e URBANETZ, 2010. FITOPAC2.1: Manual do usuário. Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- WHITTAKER, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, vol.21: pg. 213-251.

Tabela 1: Distribuição das parcelas de inventário florestal de acordo com o estrato relativo ao fogo.

Estrato	Ano do incêndio	Nível de impacto	Número de parcelas	Parcelas
1	-	-	8	1, 2, 5, 6, 13, 14, 23, 24
2	1998	Baixo	8	19, 20, 21, 22, 33, 34, 39, 40
3	1998	Alto	10	7, 8, 17, 18, 31, 32, 35, 36, 37, 38
4	1998 e 2003	Alto	14	3, 4, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 25, 26, 27, 28, 29, 30
5	1998, 2003 e 2007	Alto	10	41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50

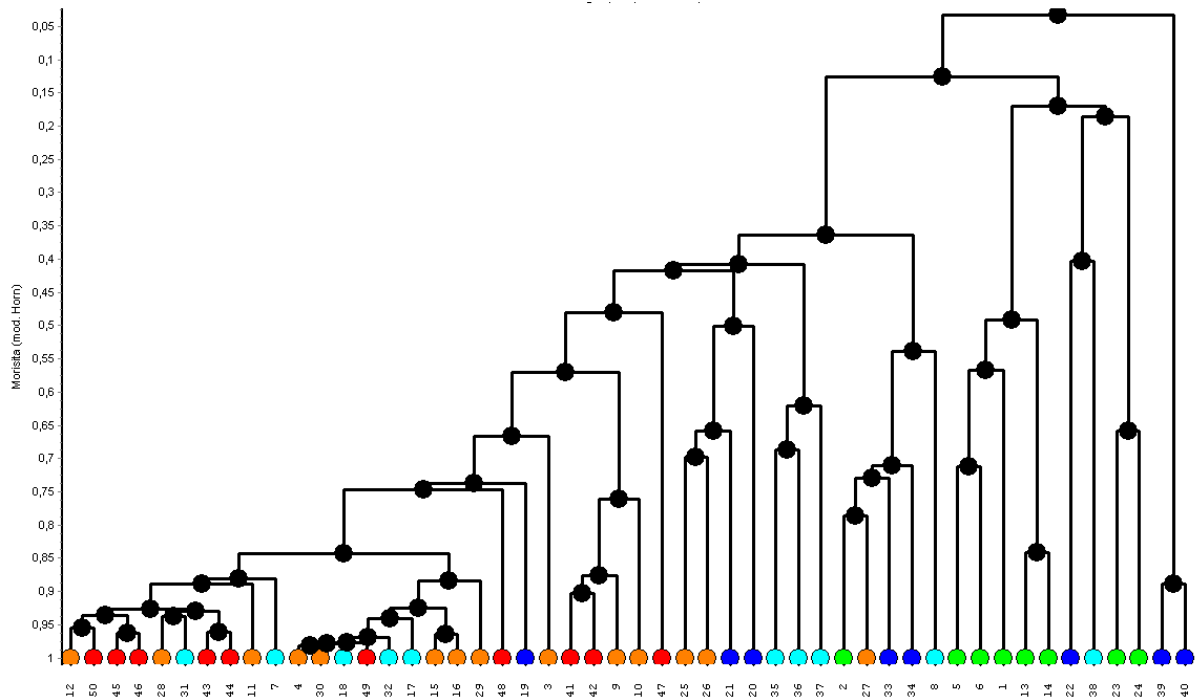


Figura 1: Dendrograma resultado da análise de agrupamento considerando-se apenas os indivíduos arbóreos. Pontos em verde representam parcelas do estrato 1, em azul escuro: estrato 2, em azul claro: estrato 3, em laranja: estrato 4 e em vermelho: estrato 5 (ver Tabela 1).



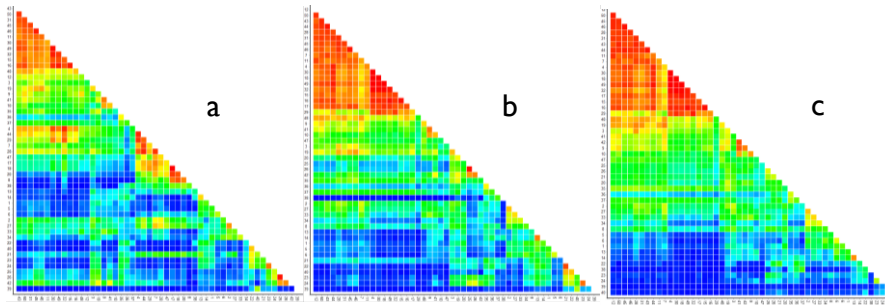


Figura 2: Matrizes originais das classificações realizadas a partir de toda a flora (a), apenas com as palmeiras e indivíduos arbóreos (b) e finalmente, apenas com indivíduos arbóreos (c).

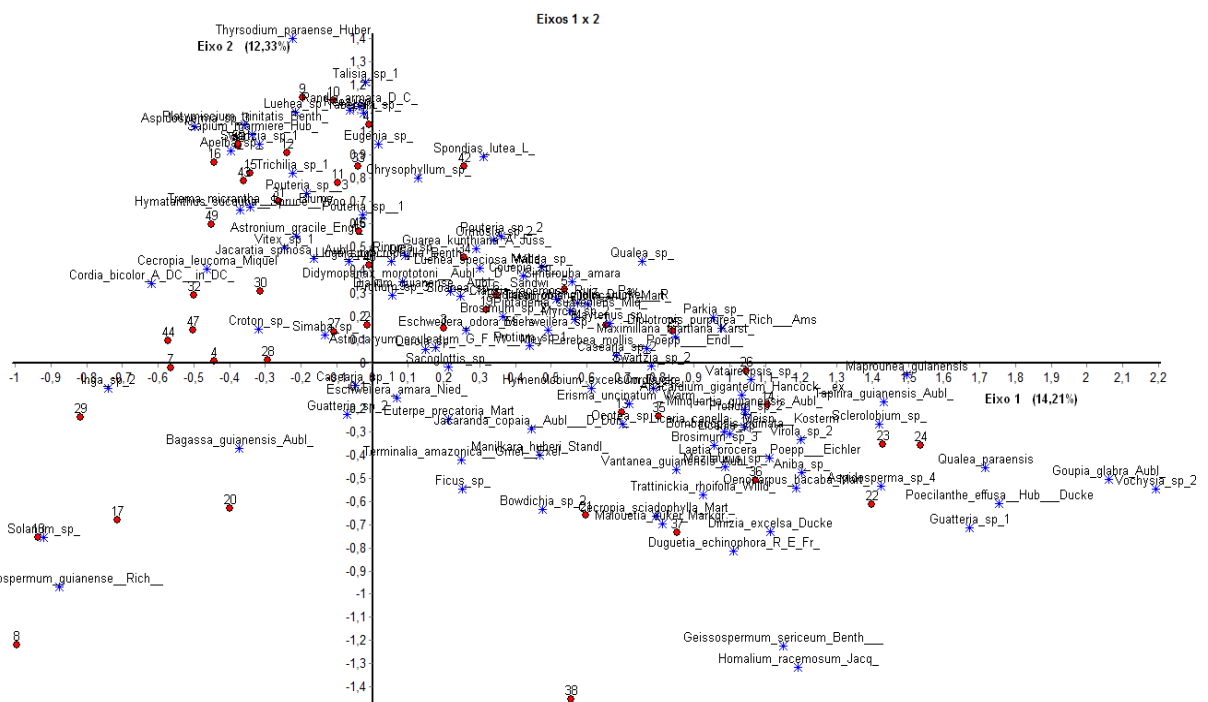


Figura 3: Distribuição das parcelas e espécies de acordo com a CA nos eixos 1 e 2, que totalizam 26% da variação.

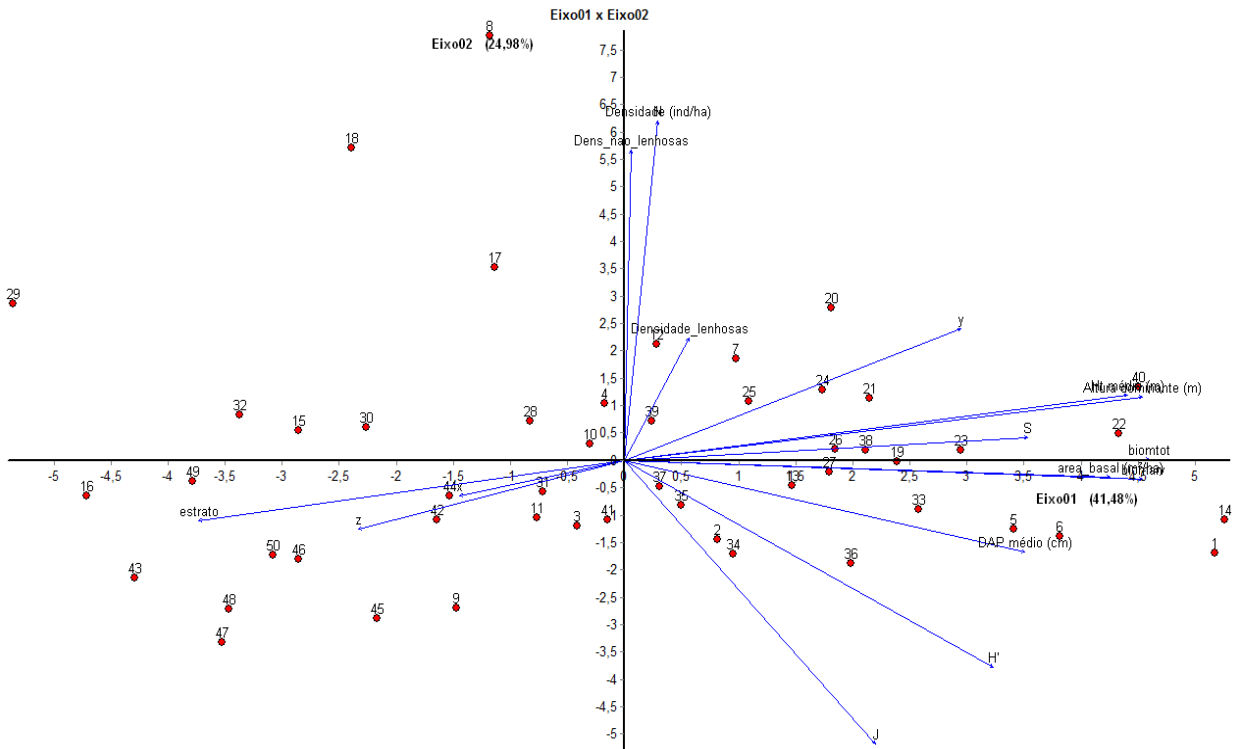


Figura 4: Distribuição das parcelas, dos atributos físicos e índices florísticos em relação ao estrato de fogo nos eixos 1 e 2 da PCA.

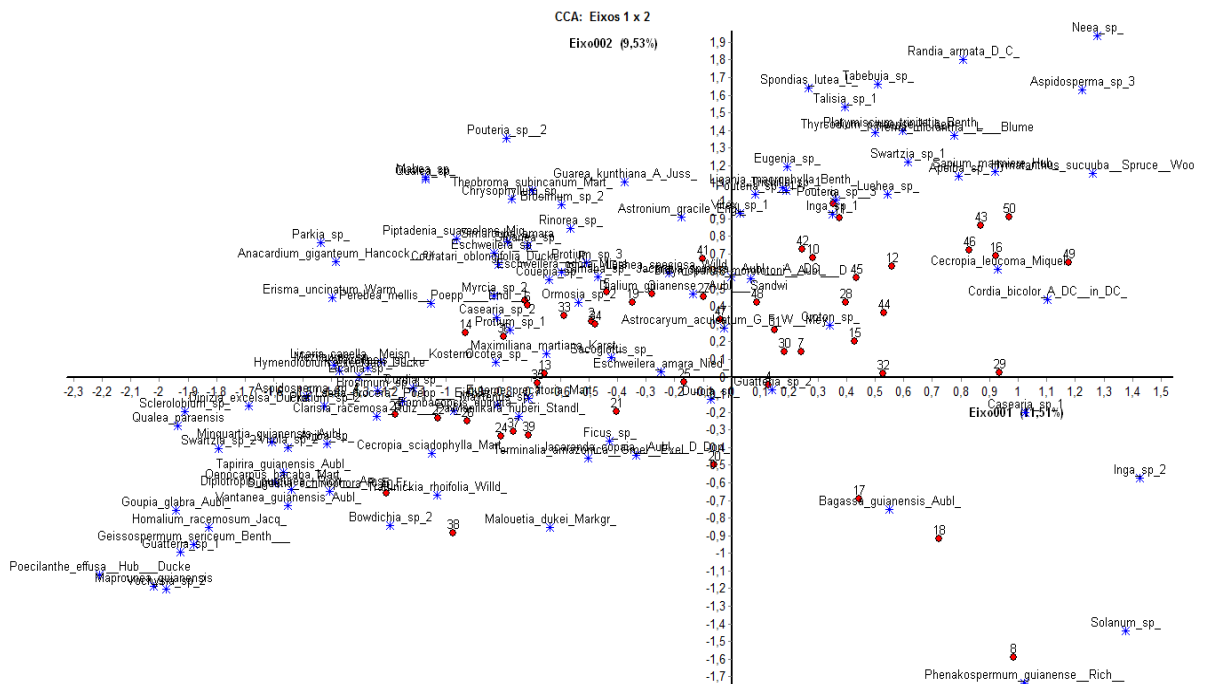


Figura 5: Resultado da CCA: distribuição das parcelas de acordo com a florística, reforçando a existência de um gradiente ligado ao impacto do fogo.

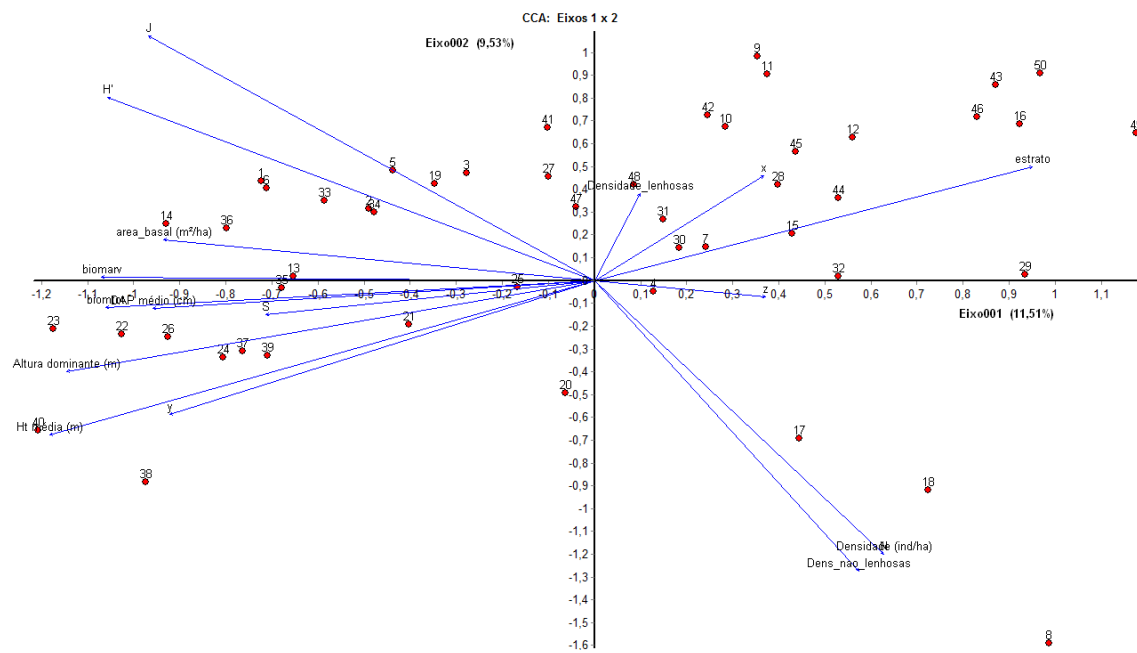


Figura 6: Resultado da CCA: distribuição das parcelas de acordo com atributos estruturais indicando a existência de um gradiente ligado ao impacto do fogo.