

# **CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS DO SOLO E ESPÉCIES HERBÁCEO-ARBUSTIVAS DE DUNAS EM REVEGETAÇÃO NO LITORAL NORTE DA PARAÍBA**

Marcelo dos Santos<sup>1</sup>, Sebastião Carlos da Silva Rosado<sup>2</sup>, Ary Teixeira de Oliveira Filho<sup>2</sup> e Dulcinéia de Carvalho<sup>2</sup>

**RESUMO:** No presente trabalho procedeu-se à análise da composição florística e estrutura da vegetação secundária estabelecida sobre sete áreas de dunas de rejeito de mineração, irrigadas ou não, com o objetivo de avaliar as interrelações entre a composição desta vegetação e variáveis ambientais definidas pelas características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo. Em quarenta parcelas de 3 X 3m foram obtidos os dados de composição florística, estrutura (valor de cobertura e frequência) da comunidade vegetal e de variáveis ambientais do solo. Partindo destes dados procedeu-se à análise indireta dos gradientes, produzindo-se diagramas de ordenação das parcelas, espécies e variáveis ambientais (por análise de correspondência canônica, CCA). Nos locais de estudo foram identificadas 96 espécies herbáceo-arbustivas pertencentes a 33 famílias. Ocorreu um maior número de espécies e famílias nas áreas de dunas sob irrigação. Para áreas com três, cinco e sete anos sem irrigação observou-se um maior valor de cobertura das espécies *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens* e *Digitaria horizontalis*. A CCA separou as parcelas de tabuleiro e dunas com um ano dos demais locais, enquanto que as dunas com três, cinco e sete anos, irrigadas ou não, apresentaram-se mais dispersas e não evidenciaram a existência de um gradiente de sucessão em função das variáveis do solo e irrigação. Os locais estudados, mesmo que profundamente perturbados, mantiveram uma comunidade fúngica potencialmente favorável à evolução dos ecossistemas, o que foi verificado pelo número de esporos de micorrizas vesículo-arbusculares (MA's), principalmente nas áreas com cinco anos de idade e sem irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dunas, recuperação de solos, fitossociologia, micorriza.

## **CORRELATION BETWEEN SOIL VARIABLES AND HERBAC-SHRUB SPECIES IN REVEGETATION OF DUNES IN THE NORTHERN COAST OF THE PARAÍBA STATE - BRAZIL**

**ABSTRACT:** This work analysed the floristic and phytosociological occurrence of the secondary vegetation established on seven tailing dune (irrigated or non-irrigated) areas, and the interactions between the composition of this vegetation and physical, chemical, biochemical and microbiological soil traits. Both the floristic composition and structure (value of cover and frequency) of the plant community which formed upon dunes were recorded in forty, 3 x 3m plots. From the environmental variables of soil and distribution data of the species, the indirect analysis of the gradients was proceeded, yielding ordination diagrams of the plots, species and environmental variables (by canonical correspondence analysis, CCA). A total of 96 herb-shrub

<sup>1</sup> Bolsista do CNPq e aluno de pós-graduação em Engenharia Florestal – Departamento de Engenharia Florestal/UFLA.

<sup>2</sup> Professores do Departamento de Ciências Florestais/UFLA - 37200-000, Lavras-MG. [scrosado@ufla.br](mailto:scrosado@ufla.br); [aryfilho@ufla.br](mailto:aryfilho@ufla.br); [dulce@ufla.br](mailto:dulce@ufla.br).

species belonging to 33 families was identified on recovering dune and "tabuleiro". A greater number of species and families occurred in the irrigated dune areas. In dunes areas with three, five and seven years without irrigation, a higher cover value of *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens* and *Digitaria horizontalis* was observed. The CCA separated the 'tabuleiro' and dune vegetation plots with one year from the other sites, while the dune vegetation of three, five and seven year of age irrigated or not, proved spread and did not point out the existence of a succession gradient in terms of soil variables and irrigation. The investigated sites, even those deeply disturbed, maintained a fungal community, favoring the evolution of an ecosystem, possessing a high number of arbuscular mycorrhizal spores (MA's), this was particularly true in the five years old dune areas without irrigation.

KEY-WORDS: Dunes, soil reclamation; Phytosociology, mycorrhizae

## 1. INTRODUÇÃO

Algumas regiões do litoral brasileiro apresentam características bem distintas quanto à fauna, flora, clima e solos, os quais, somados, definem ecossistemas específicos. Um destes ecossistemas são as dunas litorâneas que têm despertado grande interesse científico, uma vez que apresentam uma vegetação bastante peculiar.

Nestes ecossistemas, as plantas pioneiras estão sujeitas a consideráveis níveis de estresse decorrentes, principalmente da deficiência de nutrientes, baixo teor de matéria orgânica, ampla variação de umidade e temperatura e injúrias causadas pelos fortes vento (Barbour *et al.*, 1985; Maun, 1994). Neste sentido, o estudo da vegetação pode ser conduzido com alto grau de detalhamento em uma área relativamente pequena que apresenta considerável variação nas condições bioclimáticas e em todos os diferentes estágios de desenvolvimento da vegetação (Blaszkowski, 1994).

Trabalhos que visam relacionar a comunidade vegetal de dunas de rejeito da mineração às suas variáveis ambientais são praticamente inexistentes. Contudo, a importância destes tipos de trabalhos é eminente na geração de informações estratégicas para a implantação de programas de recuperação ambiental, quando se utilizam as espécies nativas (Vilela *et al.*, 1993). Van den Berg

(1995) também revela a importância de relacionar as variações na abundância e distribuição espacial das espécies vegetais com as variáveis ambientais, já que só depois disto torna-se possível o manejo apropriado das comunidades estudadas.

O presente trabalho teve como objetivo analisar as inter-relações entre a vegetação secundária que se estabeleceu sobre as dunas de rejeitos de mineração (irrigadas ou não) e as variáveis ambientais definidas pelas características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo. Também procurou-se investigar quais destas variáveis se relacionavam com as espécies dominantes em termos de cobertura vegetal das referidas dunas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição da área de estudo

A área estudada situa-se na propriedade da Companhia Titânio do Brasil S.A. (TIBRAS - PB), localizada na costa nordeste do Brasil, imediatamente ao sul do limite entre os estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, no local denominado Guaju, município de Mataraca, estado da Paraíba. As coordenadas aproximadas são: 6° 28'20" - 6°30'00" S, 34°55'50" W e 10 a 75m de altitude. O rio Guaju, que limita a área com o estado do Rio Grande do Norte, também marca o que é considerado como a transição

entre dois tipos de formações geomorfológicas do litoral terciário brasileiro na região nordeste (Araújo e Lacerda, 1987).

O clima da região é tropical e chuvoso, com uma curta estação seca (tipo Am de Köppen). A temperatura média anual é de 26,0°C e as médias mensais oscilam de 23,7°C, no mês de abril a 27,2°C, em novembro. A precipitação média anual é de 1754,9 mm e se concentra, principalmente, entre fevereiro e agosto. Embora a umidade do ar apresente uma certa variabilidade de um horário sinótico de observação para outro, a média mensal entre outubro e março foi de 67,15% e, entre abril a setembro, 83,57%, no período de 1989 a 1994.

## 2.2. Procedimento de campo, coleta de dados do solo e da vegetação

### 2.2.1. Procedimento de campo (definição dos ambientes de estudo e amostragem)

As parcelas para a análise da vegetação contendo os locais para amostragem do solo foram distribuídas em pontos estratégicos para representar as condições de dunas de rejeito da mineração, obedecendo aos seguintes critérios:

a) idade de recuperação: amostraram-se a vegetação e o solo em idades de recuperação de um, três, cinco e sete anos, contados a partir da data de recapamento da duna com solo superficial proveniente de outros locais em desmatamento (operação preliminar aos processos de exploração mineral);

b) irrigação: amostraram-se a vegetação e solo localizados em ambientes não irrigados e irrigados por aspersão;

c) perfil da duna: após a definição da idade de recuperação e das faixas que receberam ou não a irrigação, amostraram-se a vegetação e o solo, respeitando as seguintes posições no perfil da duna: i) setor frontal aos ventos alísios - base, porção intermediária e topo da duna e ii) setor posterior, não frontais aos ventos alísios - porção intermediária e base da duna.

Em cada um destes cinco locais, distribuídos ao longo do perfil da duna, foi demarcada uma parcela, perfazendo um total de cinco parcelas para cada uma das condições de duna em reabilitação (Tabela 1). Para efeitos de procedimentos estatísticos, cada parcela foi uma repetição e cada condição de duna um tratamento.

Na Tabela 1 encontra-se a condição de tabuleiro que, no passado, foi cultivado com cana de açúcar, sendo abandonada há três anos. A inclusão desta condição, localizada nas proximidades das demais condições de estudo, foi para o estabelecimento de um controle ou testemunha para este e outros futuros estudos. Também lançaram-se cinco parcelas ou repetições nesta condição de controle.

As cinco parcelas ou repetições, em cada condição de duna ou controle, utilizadas para o estudo da vegetação, tiveram dimensões de 3,0 x 3,0m (9m<sup>2</sup>). Para as análises das variáveis do solo, procederam-se às amostragens em um dos vértices deste quadrado, removendo-as com o auxílio de um trado de 5,0 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Neste ponto, foram coletadas duas amostras simples, sendo uma destinada para as análises físico-químicas e outra para as análises bioquímicas e microbiológicas.

Tabela 1. Dunas amostradas conforme idades de recuperação e irrigação por aspersão

Table 1. *Sampled dunes, according to age of reclamation and irrigation by aspersion.*

Condição de duna	Código da condição	Idade (anos)	Irrigação
1	1NI	1*	Não
2	3NI	3	Não
3	3I	3	Sim
4	5NI	5	Não
5	5I	5	Sim
6	7NI	7	Não
7	7I	7	Sim
Controle	Tab**	3	Não

\* Dunas com idade de um ano não receberam irrigação; \*\*. Vegetação secundária de tabuleiro, localizada próximo a área

de estudo, surgida durante três anos de abandono e fim do cultivo com cana-de-açúcar.

### 2.2.2. Coleta de dados do solo

Todas as amostras de solo foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos. Aquelas destinadas para determinações bioquímicas e microbiológicas foram armazenadas em temperatura de 4°C durante um período médio de trinta dias. As demais amostras, destinadas para as análises físico-químicas, foram secas ao ar, homogeneizadas e peneiradas em malha de 2mm.

As análises de solo foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo (UFLA), onde avaliaram-se as seguintes propriedades: i) químicas - pH, acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ), alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), bases trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ), potássio disponível ( $K^+$ ), fósforo (P-disponível), enxofre ( $S - SO_4^{2-}$ ), micronutrientes (Zn, Fe, Mn, B e Cu), CTC efetiva, CTC pH 7, soma de bases (S), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), C-orgânico, matéria orgânica; ii) físicas - densidade de partículas, condutividade elétrica, granulometria (areia, limo e argila); iii) bioquímicas e microbiológicas - biomassa de microorganismos (C,N,P), atividade de fosfatase ácida (AEFA) e alcalina (AEFa) e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA). A metodologia utilizada para estas análises foi descrita por Santos (1996).

### 2.2.3. Coleta de dados da vegetação

Nas parcelas, após serem subdivididas em quatro quadrantes com estacas e barbantes, foram identificadas as espécies ocorrentes, estimando-se o grau de cobertura e a sociabilidade de cada espécie identificada (Tabela 2).

Para cada espécie, foram coletadas amostras de material botânico, sempre que possível, com flores ou frutos. O material coletado foi identificado com auxílio de taxonomistas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), recorrendo-se, quando necessário, a

especialistas de outras instituições. As exsicatas foram incorporadas ao herbário do Departamento de Biologia da UFLA.

Tabela 2. Escalas de magnitude do grau de cobertura e da sociabilidade de espécies vegetais (Braun e Blanquet, 1979).

Table 2. *Magnitude level of recovery and sociability of vegetal species according to Braun e Blanquet, 1979.*

Escala de magnitude	Grau de cobertura (%)	Sociabilidade
*	< 1	
1	1 a 10	Indivíduos isolados (caules ou troncos isolados)
2	10 a 25	Em pequenos grupos (tufo)
3	25 a 50	Em grupos maiores
4	50 a 75	Em colônias ou tapetes extensos
5	75 a 100	População contínua

Para descrever a vegetação das condições estudadas (Tabela 1), foram calculados, para cada espécie, os seguintes parâmetros fitossociológicos: valor de cobertura (VC) e frequência (Braun-Blanquet, 1979), utilizando seguintes formulas:

$$V.C. = \frac{\text{Soma das percentagens de cobertura da espécie nas parcelas} * 100}{\text{Número total de parcelas}}$$

$$\text{Frequência} = \frac{\text{Número de parcelas com ocorrência da espécie nas parcelas} * 100}{\text{Número total de parcelas}}$$

### 2.3. Análise dos dados

Relacionou-se a distribuição das abundâncias das espécies com as variáveis ambientais do solo por meio de uma ordenação gerada pela análise de correspondência canônica (CCA, *Canonical Correspondence Analysis*). Segundo Ter Braak (1987), este método de ordenação consiste basicamente em sintetizar, em um gráfico com eixos perpendiculares, a

variação multidimensional de um conjunto de variáveis. No presente caso, espécies e variáveis ambientais são transformadas em coordenadas (*scores*) correspondentes à sua projeção em cada eixo de ordenação (*eigenvector*). O autovalor (*eigenvalue*) é o peso relativo de cada eixo na explicação da variância total dos dados. Parte-se do princípio de que a variação da vegetação, em termos de abundância das espécies, está intimamente ligada às variáveis ambientais.

Como requerido pela CCA, os dados foram organizados em duas matrizes: a de espécies e a de variáveis ambientais (características do solo). A matriz de espécies foi constituída pelos valores de cobertura (VC) de cada espécie por parcela, na qual foram incluídas apenas oito espécies que obtiveram os maiores valores de cobertura nas quarenta parcelas estudadas. As razões básicas para este procedimento foram: i) estas oito espécies são as mais importantes devido à rapidez com que promovem a cobertura das dunas em recuperação e à sua dominância na vegetação e ii) as espécies raras ou com pouco valor de cobertura têm pouca ou nenhuma influência nos resultados de ordenações e sua eliminação reduz o montante de cálculos (Causton, 1988).

A matriz de dados ambientais incluiu, por parcela, as propriedades químicas, físicas, bioquímicas e microbiológicas que se revelaram variáveis entre ambientes estudados e que apresentaram boa correlação ponderada com os eixos da ordenação. Para o primeiro caso, utilizou-se análise de variância univariada e o teste de  $F$  ( $p < 0,05$ ) para aceitar as propriedades do solo que variaram significativamente entre os ambientes. No segundo, utilizou-se o critério de uma correlação ponderada superior a 0,4, conforme descrito por Oliveira-Filho *et al.* (1986).

No processamento da CCA, utilizou-se o programa Canoco (Ter Braak, 1988) para produzir uma ordenação com vários eixos, no qual a distribuição das espécies e parcelas é

representada por pontos, enquanto que as variáveis ambientais são representadas por setas indicando a direção do seu gradiente máximo, sendo o comprimento da seta proporcional à correlação da variável com os eixos. Para melhorar a compreensão, o gráfico de ordenação foi separado em dois diagramas, um com a ordenação das espécies e outro com a das parcelas, sendo que, em ambos, as posições das variáveis ambientais foram idênticas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Avaliação dos valores de cobertura para compor a matriz de espécies

Nos locais amostrados foram encontradas 96 espécies pertencentes a 33 famílias. A Tabela 3 apresenta o número de espécies e famílias encontrados por ambiente e os valores de frequência e de cobertura para as espécies que apresentaram os maiores valores de recobrimento do solo. A relação completa das espécies encontra-se em Santos (1996).

Pela distribuição do número de espécies e de famílias registradas por ambiente, observa-se que o número de espécies é maior nos ambientes mais velhos, principalmente naqueles que receberam irrigação por aspersão (Tabela 3).

Nas dunas de rejeito estudadas, a análise visual da vegetação, conduzida durante os períodos de estiagem, revelou que o fator mais restritivo ao crescimento e desenvolvimento vegetal é o baixo nível de umidade do solo, decorrente dos altos teores de areia, baixos níveis de matéria orgânica e fortes ventos alísios que, além do ressecamento do solo, causam danos físicos à vegetação e erosão do solo.

Diante destes fatos, torna-se evidente e lógico supor que a irrigação favorece uma melhoria nas condições de umidade do solo, resultando numa maior riqueza de espécies. Entretanto, quando se analisa a distribuição do grau de cobertura, considerando o número de

espécies com maiores capacidades de recobrimento do solo de cada ambiente, observa-se que nos locais irrigados existe uma participação quase que exclusiva de uma única espécie, fato que não ocorre nos locais não irrigados. No caso particular da condição 7I (sete anos e irrigado), nota-se que o valor de cobertura da espécie dominante, *C. ligularis*, foi de 2460 e da espécie subsequente, *C. bengalensis*, apenas 210 (Tabela 3). Por outro lado, nesta mesma idade e sem irrigação, os

valores de cobertura foram melhor distribuídos: *P. maritimum* – VC = 2500; *C. echinatus* – VC = 2460; *R. repens* – VC = 2460 e *C. ligularis* – VC = 1960.

As oito espécies de maior valor de cobertura e que foram utilizadas na análise correspondência canônica (CCA) foram: *Paspalum maritimum*, *Commelina bengalensis*, *Remirea maritima*, *Cyperus ligularis*, *Digitaria horizontalis*, *Rhynchelytrum repens*, *Solanum paniculatum* e *Solanum paludosum*.

Tabela 3. Quantidade de espécies e famílias encontradas em cada condição de estudo, relação das espécies com maior frequência e valor de cobertura.

Table 3. *Species and families quantities encounthed on each study condition – Species list with highest frequency and recovery values.*

Condição <sup>†</sup>	Número de espécies	Número de famílias	Espécies mais frequentes (%)	Espécies com maior valor de cobertura (VC)
1NI	17	13	<i>Digitaria horizontalis</i> (80) <i>Cenchrus echinatus</i> (80) <i>Solanum paniculatum</i> (60)	<i>Digitaria horizontalis</i> (4200) <i>Cenchrus echinatus</i> (470) <i>Passiflora foetida</i> (450) <i>Remirea maritima</i> (200) <i>Sida ciliaris</i> (200)
3NI	27	14	<i>Cnidoscolus urens</i> (100) <i>Rhynchelytrum repen</i> (100) <i>Paspalum maritimum</i> (100)* <i>Cenchrus echinatus</i> (60) <i>Scoparia dulcis</i> (60)	<i>Paspalum maritimum</i> (4050)* <i>Rhynchelytrum repens</i> (4050) <i>Dalechampia scandens</i> (200) <i>Evolvulus sp</i> (110) <i>Croton lobatus</i> (100)
3I	34	21	<i>Cyperus ligularis</i> (100) <i>Cnidoscolus urens</i> (100) <i>Cenchrus echinatus</i> (100) <i>Rhynchelytrum repens</i> (100) <i>Paspalum maritimum</i> (100)* <i>Tabebuia roseo-alba</i> (80)* <i>Sida ciliaris</i> (80)	<i>Paspalum maritimum</i> (7750)* <i>Cyperus ligularis</i> (1000) <i>Rhynchelytrum repens</i> (910) <i>Cucumis anguria</i> (750) <i>Centrosema virginianum</i> (350) <i>Digitaria insularis</i> (300) <i>Turnera ulmifolia</i> (300) <i>Cnidoscolus urens</i> (230) <i>Cenchrus echinatus</i> (230)
5NI	37	20	<i>Cnidoscolus urens</i> (80) <i>Paspalum maritimum</i> (60)* <i>Remirea maritima</i> (60) <i>Rhynchelytrum repens</i> (60) <i>Scoparia dulcis</i> L. (60) <i>Canavalia rosea</i> (60) <i>Cenchrus echinatus</i> (60) <i>Waltheria indica</i> L. (60)	<i>Paspalum maritimum</i> (3100)* <i>Remirea maritima</i> (2510) <i>Rhynchelytrum repens</i> (1360) <i>Scoparia dulcis</i> (210) <i>Dalechampia scandens</i> (200) <i>Digitaria insularis</i> (200) <i>Turnera ulmifolia</i> (200)

Tabela 3.  
Continuação ...

5I	45	18	<i>Anacardium occidentale</i> (80)* <i>Cnidocolus urens</i> (80) <i>Scoparia dulcis</i> (80) <i>Paspalum maritimum</i> (60)* <i>Paspalum vaginatum</i> (60)	<i>Brachiaria mutica</i> (7500) <i>Paspalum vaginatum</i> (1050) <i>Anacardium occidentale</i> (560)* <i>Cyperus ligularis</i> (350) <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> (350)* <i>Paspalum maritimum</i> (300)* <i>Cnidocolus urens</i> (220)
7NI	34	17	<i>Cenchrus echinatus</i> (100) <i>Rhynchelytrum repens</i> (100) <i>Commelina bengualensis</i> (80) <i>Cyperus ligularis</i> (80) <i>Dalechampia scandens</i> (80) <i>Borreria verticillata</i> (80) <i>Cnidocolus urens</i> (60) <i>Digitaria insularis</i> (60) <i>Scoparia dulcis</i> (60)	<i>Paspalum maritimum</i> (2500)* <i>Cenchrus echinatus</i> (2460) <i>Rhynchelytrum repens</i> (2460) <i>Cyperus ligularis</i> (1960) <i>Cucumis anguria</i> (750) <i>Emilia sagittata</i> (360) <i>Cynodon dactylon</i> (360) <i>Buchenavia capitata</i> (350)*
7I	43	21	<i>Cyperus ligularis</i> (100) <i>Cnidocolus urens</i> (100) <i>Solanum paludosum</i> (80) <i>Commelina bengualensis</i> (60) <i>Digitaria insularis</i> (60) <i>Solanum paniculatum</i> (60) <i>Turnera ulmifolia</i> (60)	<i>Cyperus ligularis</i> (2460) <i>Commelina bengualensis</i> (210) <i>Anacardium occidentale</i> (750)* <i>Cucumis anguria</i> (750) <i>Trema micrantha</i> (750)* <i>Buchenavia capitata</i> (700)* <i>Sida ciliaries</i> (360) <i>Commelina virginica</i> (350) <i>Paspalum maritimum</i> (350)* <i>Digitaria insularis</i> (300) <i>Cnidocolus urens</i> (230) <i>Solanum paludosum</i> (220) <i>Solanum paniculatum</i> (210) <i>Erigeron bonariensis</i> (200)
Tabuleiro	24	13	<i>Polygala hebeclada</i> (100) <i>Erigeron bonariensis</i> (80) <i>Sida rhombifolia</i> (80) <i>Solanum paludosum</i> (80) <i>Cassia flexuosa</i> (60) <i>Cyperus esculentus</i> (60) <i>Eleocharis filiculmis</i> (60) <i>Digitaria horizontalis</i> (60) <i>Scoparia dulcis</i> (60) <i>Solanum paniculatum</i> (60)	<i>Polygala hebeclada</i> (2610) <i>Solanum paludosum</i> (2200) <i>Solanum paniculatum</i> (1700) <i>Digitaria horizontalis</i> (1600) <i>Trema micrantha</i> (1250)

+ Códigos: O número refere à idade do ambiente ou local amostrado. I e NI referem-se aos locais que foram ou não irrigados por aspersão. \* espécies cultivadas.

### 3.2. Variações nas propriedades do solo do ambiente estudados para compor matriz de variáveis ambientais

As análises de variância conduzidas para propriedades físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo mostraram que as características significativamente variáveis ( $P < 0,05$ ) nos ambientes estudados foram: argila, limo, areia, Al, Ca, CTC efetiva, soma de bases (S), saturação por bases (V), saturação por

alumínio (m), B, Mn e Zn. Outros detalhes sobre estes estudos foram descritos por Santos (1996). Dentro deste conjunto de variáveis foram ainda eliminadas todas aquelas que apresentaram baixa correlação ponderada com os eixos da ordenação ( $< 0,4$ ), restando as seguintes características do solo para compor a matriz de variáveis ambientais: m, areia, limo, argila, zinco, manganês, boro, MA's, AEFA. Além destas variáveis do solo, foram adicionados os

níveis de P, K e carbono orgânico e duas outras variáveis nominais (presença=1, ausência=0), irrigado e não irrigado. Este acréscimo foi devido à grande importância da umidade e destes elementos do solo para os ecossistemas estudados. Assim, a matriz de variáveis foi constituída por quatorze variáveis ambientais.

### 3.3. Análise de correspondência canônica (CCA)

Os resultados da CCA são mostrados nos diagramas da Figura 1. Os autovalores (*eigenvalues*) para os quatro primeiros eixos foram, do primeiro para o quarto, 0,526; 0,348; 0,246 e 0,166, sendo que as correlações espécie-ambiente apresentadas por estes eixos foram de 0,881; 0,815; 0,831 e 0,674. As porcentagens de variância acumuladas por estes eixos e para os dados das espécies foram, respectivamente, 21,5%, 35,8%, 45,9% e 52,7% e, para as relações espécie-ambiente, 36,5%, 60,3%, 77,3% e 88,7%. Estes últimos valores indicam que as variáveis ambientais medidas foram aparentemente suficientes para explicar a maior parte da variação da abundância das espécies relacionada ao ambiente, embora reste ainda uma quantidade de variação não explicada. Ter Braak (1988) salienta que são comuns valores baixos de relações espécie-ambiente, mas que tal fato não diminui o seu significado. O teste de Monte Carlo reforçou estes resultados, já que as variáveis ambientais, no presente caso, foram significativamente correlacionadas com as espécies a 1% de significância.

O diagrama (a) da Figura 1 mostra que o primeiro eixo da ordenação relacionou-se principalmente com as variáveis limo, saturação do alumínio (m), boro e areia, ao passo que o segundo eixo foi mais relacionado com as variáveis nominais irrigado e não irrigado, fungos micorrízicos (MA), atividade da fosfatase ácida (AEFA) e fósforo (P). O primeiro eixo separou as parcelas de forma nítida somente para as áreas de tabuleiro (Tab) e um ano sem

irrigação (1NI). A pouca idade e ausência de irrigação provavelmente explicam os maiores teores de limo em 1NI.

No segundo eixo de ordenação, as parcelas mostraram uma distribuição fortemente influenciada pelo binômio irrigado-não irrigado. Quanto às idades, com exceção das parcelas com sete anos e com irrigação (7I), que se concentraram na parte inferior do diagrama, as demais apresentaram uma forte tendência a se misturarem. A importância da irrigação neste segundo eixo reflete nas variáveis bioquímicas e microbiológicas do solo, altamente dependentes da disponibilidade de água. A diferenciação das parcelas de 7I provavelmente decorre do maior desenvolvimento da vegetação, favorecido pela maior idade e irrigação.

A Figura 1 (b) indica que as espécies preferenciais da vegetação de tabuleiro e dunas com um ano e sem irrigação foram *Solanum paniculatum*, *Solanum paludosum* e *Digitaria horizontalis*. As preferenciais para áreas com sete anos e com irrigação foram *Cyperus ligularis* e *Commelina bengualensis*. *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens* e *Remirea maritima* foram dominantes nos outros ambientes.

Em relação à estrutura da comunidade herbáceo-arbustiva, houve uma diferenciação marcante entre as parcelas de tabuleiro e as dunas em recuperação. O tabuleiro é conhecido como ocorrência disjunta do cerrado em áreas de solos arenosos próximas ao litoral nordestino, normalmente sobre a formação geológica Barreiras (Andrade-Lima, 1960), situação esperada em relação às condições estudadas, devido a predominância de espécies típicas dos cerrados do Brasil Central (Oliveira-Filho *et al.*, 1986).

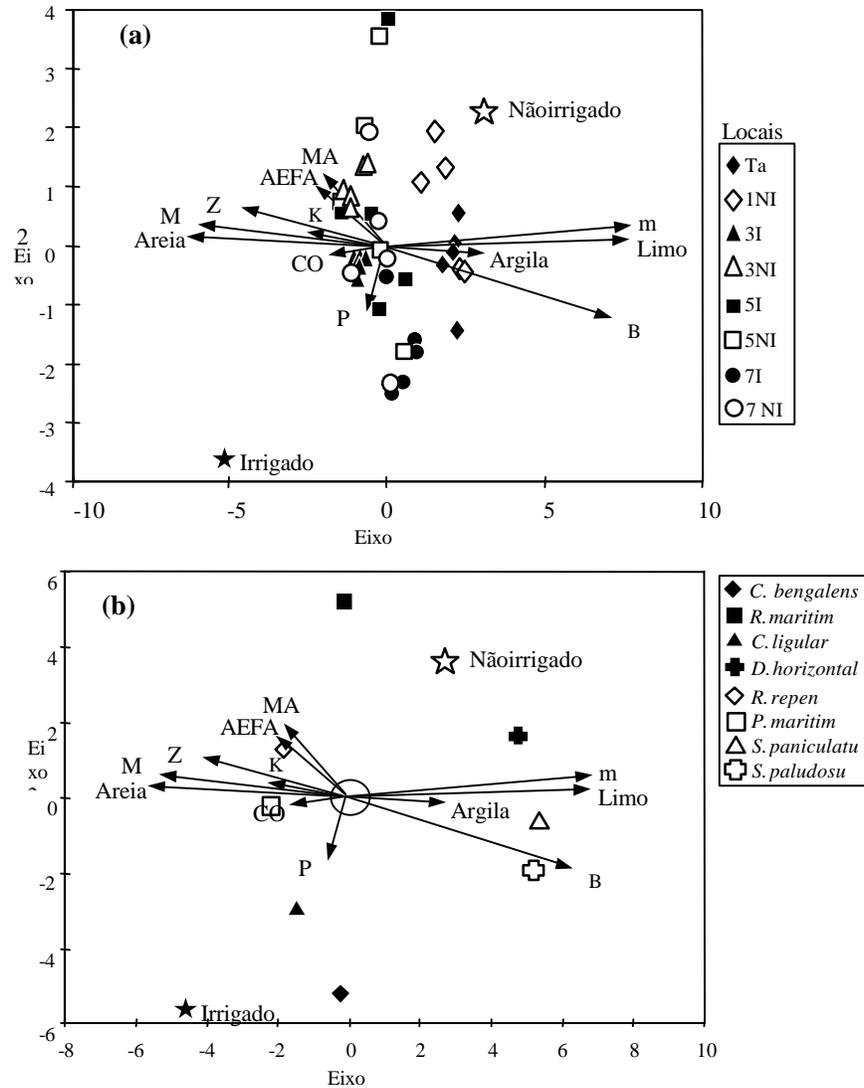


Figura 1. Eixos de ordenação produzidos pela análise de correspondência canônica dos dados das quarenta parcelas amostradas em dunas em revegetação, considerando apenas as espécies com os maiores valores de cobertura na amostragem total. a) inter-relações entre a distribuição dos locais (ambientes de estudo) e as variáveis ambientais. (b) distribuição das espécies e variáveis ambientais.

Figure 1. Axes of the Canonical Correspondence Analysis related to data of 40 experimental plots on vegetated sand dunes and to only species with highest recovering values assessed in the total sample. a) shows the relationship between sampled sites and environmental variables. b) shows the relationship between species distribution and environmental variables.

Nas dunas em fase inicial de recuperação estabeleceu-se uma vegetação altamente especializada e bastante limitada em composição, provavelmente devido às condições adversas de alta salinidade, falta de matéria orgânica, mobilidade do substrato e susceptibilidade a constantes ventos alísios. Esta comunidade compõe-se basicamente de espécies pioneiras oriundas da germinação de sementes e propágulos vegetativos presentes no solo de recapeamento ou trazidos pelo vento. A regeneração destas plantas tem permitido uma maior retenção de areia, possibilitando assim a estabilização das dunas.

Depois que as plantas pioneiras se instalam, modificam-se gradativamente as condições anteriormente existentes. Isso se dá, principalmente, pelo fato de as mesmas oferecerem uma certa proteção, impedindo grandes movimentos de areia e, eventualmente, incorporando suas partes mortas como matéria orgânica ao solo incipiente. Desta maneira, criam-se condições para o aparecimento e desenvolvimento de outras plantas mais exigentes e, em geral, de porte mais elevado. Em um trabalho conduzido nestas mesmas áreas, Miranda (1994) sugere que está havendo uma mudança na dominância das espécies na comunidade de plantas ruderais com o passar dos anos.

Deve-se salientar, no entanto, que a grande incidência de espécies da família Gramineae pode gerar uma alta competição e retardar o processo de sucessão. Suas espécies crescem rápido por perfilhamento e tornam-se dominantes, provocando uma rápida cobertura do solo e dificultando a invasão de outras plantas (Evans e Young, 1972). Isto é confirmado pelos altos valores de cobertura da família Gramineae nas condições iniciais de recuperação das dunas (até 5 anos), particularmente com a dominância de *Paspalum maritimum*, fato este também descrito por Carvalho e Oliveira-Filho (1993).

Quanto ao uso da irrigação, deve-se salientar que esta cria uma certa artificialidade que tem favorecido o surgimento de espécies não adaptáveis ao meio, as quais desaparecerão caso seja suprimida a irrigação. Carvalho e Oliveira-Filho (1993) relatam a ocorrência de espécies típicas de várzea, como a embaúba-do-brejo (*Cecropia peltata*) e o gurguri (*Calophyllum brasiliensis*), que certamente não sobreviverão sob deficiência hídrica do solo. Também a irrigação pode induzir uma arquitetura/morfologia radicular que diminui a tolerância da planta aos estresses hídricos e nutricionais.

#### 4. CONCLUSÕES

Houve uma clara distinção florística e ambiental entre as áreas de tabuleiro e as demais áreas, bem como uma distinção menos clara entre áreas irrigadas e não irrigadas nas dunas em recuperação. Não foi evidenciada a existência de um gradiente de sucessão com a idade dos tratamentos, com exceção da distinção da fase inicial (dunas com um ano não irrigadas).

As dunas em recuperação apresentam diferentes espécies dominantes em função da irrigação e do aumento das idades das mesmas, onde as gramíneas *Paspalum maritimum*, *Rhynchelytrum repens*, *Digitaria horizontalis* foram as espécies com maior valor de cobertura, principalmente nas áreas de 1 a 5 anos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco, Brasil. *Arquivo do Instituto de Pesquisas Agronômicas*. Recife, v.5, n.1, p.305-341, 1960.
- ARAÚJO, D.S.D.; LACERDA, L.D. A natureza das restingas. *Ciência Hoje*, São Paulo, v.6, n.4, p.42-48, out. 1987.

- BARBOUR, M.G.; DE JONG, T.M.; PAVLICK, B.M. Marine beach and dune plant communities. In: CHABOT, B. F. ; MOONEY, H. A. (eds.) **Physiological ecology of North American plant communities**. New York: Chapman and Hall, 1985. p.297-322.
- BLASZKOWSKI, J. Arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) of the Hel Peninsula, Poland. **Mycorrhiza**, Massachusetts, v.5, n.2, p.71-88, 1994.
- BRAUN-BLANQUET, J. **Fitossociologia: bases para el estudio de las comunidades vegetales**. Rosário, Madrid: H. Blume ediciones, 1979. 820p.
- CARVALHO, D.A.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Avaliação da recomposição da cobertura vegetal de dunas de rejeito de mineração, em Mataraca/PB. **Acta Botânica Brasileira**, Manaus, v.7, n.2, p.107-117, 1993.
- CAUSTON, D.R. **An introduction to vegetation analysis, principles, practice and interpretation**. London: Unwin Hyman, 1988. 342p.
- EVANS, A.R.; YOUNG, J.A. Competition within the grass community. In: YOUNGNER, V. B.; McKELL, C. M. **The biology and utilization of grasses**. New York: Academic Press, 1972. Cap.16, p.230-246.
- MAUN, M.A. Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems. **Vegetatio**. The Hague, v.111, n.5, p.59-70, Dec. 1994.
- MIRANDA, R.U. **Vegetação e banco de sementes em dunas de rejeito de mineração de ilmenita, no Litoral Norte do Estado da Paraíba**. Lavras: UFLA, 1994. 71p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; SHEPHERD, G.J.; MARTINS, F.R.; STUBBLEBINE, W.H. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Aberdeen, v.5, n.8, p.413-431. Oct. 1986.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T. Gradient analysis of an area of coastal vegetation in the state of Paraíba, Northeastern Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v.50, n.2, p.217-236, 1993.
- SANTOS, M. **Avaliação da recomposição da cobertura vegetal de dunas em recuperação e sua interrelação com as propriedades físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo**. Lavras: UFLA, 1996. 81p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).
- TER BRAAK, C.J.F. The analysis of environment relationships by canonical correspondence analysis. **Vegetatio**, Dordrecht, v.69, p.69-77, 1987.
- TER BRAAK, C.J.F. **CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (detrended) (Canonical) Correspondence Analysis, principal components analysis and redundancy analysis version 2.1**. Wageningen: Institute of Applied Computer Science, 1988. 389p. (Technical Report Lwa - 88 - 02, TNO).
- VAN DEN BERG, E. **Estudo florístico e fitossociológico de uma floresta ripária em Itutinga, MG, e análise das correlações entre variáveis ambientais e a distribuição das espécies de porte arbóreo-arbustivo**. Lavras: UFLA, 1995. 73p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).
- VILELA, E.A.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; GAVILANES, M.L.; CARVALHO, D.A. Espécies de mata ciliares com potencial para estudos de revegetação no Alto Rio Grande em Itutinga, Sul de Minas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.17, n.2, p.117-128, out. 1993.