

DANIELLE MELO DOS SANTOS

**VARIAÇÃO ESPACIAL NA DINÂMICA DO BANCO DE
SEMENTES EM UMA ÀREA DE CAATINGA EM
PERNAMBUCO DURANTE TRÊS ANOS
CONSECUTIVOS**

RECIFE

2010

DANIELLE MELO DOS SANTOS

**VARIAÇÃO ESPACIAL NA DINÂMICA DO BANCO DE
SEMENTES EM UMA ÀREA DE CAATINGA EM
PERNAMBUCO DURANTE TRÊS ANOS
CONSECUTIVOS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisitos para obtenção do título de mestre em botânica.

Orientadora:

Dra. Elcida de Lima Araújo

Co-orientadores:

Dr. Kleber Andrade da Silva

Dr. Ulysses Paulino de Albuquerque

RECIFE

2010

Ficha catalográfica

S237v Santos, Danielle Melo dos
Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em
uma área de caatinga em Pernambuco durante três anos
consecutivos / Danielle Melo dos Santos. -- 2011.
72 f.: il.

Orientadora: Elcida de Lima Araújo.
Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia,
Recife, 2011.

Inclui referências e anexo.

1. Caatinga 2. Microhabitats 3. Banco de sementes
4. Variação inter-anual I. Araújo, Elcida de Lima, orientadora
II. Título

CDD 581

DANIELLE MELO DOS SANTOS

**VARIAÇÃO ESPACIAL NA DINÂMICA DO BANCO DE SEMENTES EM
UMA ÀREA DE CAATINGA EM PERNAMBUCO DURANTE TRÊS ANOS
CONSECUTIVOS**

Banca Examinadora:

Orientadora: _____

Prof^a Dr^a Elcida de Lima Araújo – UFRPE

Examinadores:

Dr. Ricardo Ribeiro Rodrigues – ESALQ/USP (Titular)

Dr^a Jarcilene Silva de Almeida Cortez – UFPE (Titular)

Dr^a Carmen Sílvia Zickel – UFRPE (Titular)

Dr. André Maurício Melo Santos – UFPE (Suplente)

RECIFE

2010

Á Deus, aos meus pais Décio Ribeiro dos Santos e Maria Helena Melo dos Santos aos meus tios Osvaldo Ribeiro e Maria do Rosário Sá Barreto por terem me conduzido a um caminho de grandes realizações e felicidades.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por permanecer comigo durante todos os momentos difíceis e felizes da minha vida e por guiar os meus passos durante a realização deste trabalho.

À minha orientadora, Profa. Dra. Elcida de Lima Araújo, que desde a época de minha graduação, com incentivo e muita paciência, vem contribuindo na minha formação profissional. Muito obrigada Elcida.

Ao grande amigo e co-orientador, Dr. Kleber Andrade da Silva e ao também co-orientador Dr. Ulysses Paulino de Albuquerque, pelas críticas e conselhos que contribuíram na construção desta obra.

Aos membros da banca Dr. Ricardo Ribeiro Rodrigues, Dr^a Jarcilene Silva de Almeida Cortez, Dr^a Carmen Sílvia Zickel e Dr. André Maurício Melo Santos pelas críticas e contribuições que enriqueceram todas as informações contidas nesta dissertação.

Ao Instituto Agrônomo de Pesquisas Agropecuárias – IPA, unidade de Caruaru pelo apoio logístico. Aproveito a oportunidade para agradecer a todos os funcionários do IPA de Caruaru pela excelente recepção e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica (PPGB), Pela oportunidade de obtenção do título de Mestre e ao CNPq pela concessão de bolsa.

Em especial, a minha família, meus pais Décio Ribeiro dos Santos e Maria Helena Melo dos Santos e meus irmãos Danillo Melo dos Santos e Diego Melo dos Santos por acreditarem e estarem sempre presentes durante a realização deste trabalho e, pelo carinho, amor e educação, que me foram oferecidos desde sempre.

Aos meus tios Osvaldo Ribeiro do Santos e Maria do Rosário Sá Barreto por sempre ter me oferecido amor fraternal como também ter me incentivado desde o início desta jornada acadêmica.

Ao meu amigo e companheiro Shalon Guilherme de Lacerda pelo amor, apoio, incentivo, confiança e compreensão em tudo que faço na minha vida.

A todos os familiares que participaram direta e indiretamente tanto na realização desta pesquisa como na minha formação moral e acadêmica.

A todos os funcionários que trabalham na área de botânica/PPGB. Em especial ao Sr. Manasses Araújo e Kênia Muniz de Azevedo por sempre estarem dispostos a ajudar quando solicitados.

Aos herbários Professor Vasconcelos Sobrinho (PEUFR) da Universidade Federal Rural de Pernambuco e Dárdano de Andrade Lima (IPA) da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária por permitirem o livre acesso durante o período de identificação do material botânico.

A “tropa de elite” e amigos do LEVEN: Kleber, Josiene, Clarissa, Juliana, Elifábia pela grande amizade e apoio na conclusão desta pesquisa, muito obrigada.

Aproveito também para agradecer a nova turma de LEVEANOS e quem sabe a próxima “tropa de elite”: Priscila, Renata, Diego, Izabelle, Leonardo, Thiago, Vanessa, Hermano, Michelle e Aline.

Aos amigos da botânica pelos momentos de descontração e trocas de conhecimento científico.

Em especial à Lucilene Lima, Patrícia Barbosa, Liliane Ferreira, Eduardo Almeida, Luciana Maranhão, Reinaldo Rodrigo e Natan Messias por sempre estarem incentivando não importa o momento solicitado.

Aos meus amigos da época do curso Idéia: Carlos, Kleneilson e Suellen mesmos distantes, mas todos no meu coração, o meu muito obrigado pela amizade, companheirismo e grandes momentos de felicidade compartilhados.

E, em fim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta na minha formação acadêmica e na realização desta Dissertação.

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Lista de tabelas	vii
Lista de figuras	viii
Resumo	ix
Abstract.	x
Introdução	11
Revisão bibliográfica	14
<i>O papel dos microhabitats no banco de sementes</i>	14
<i>O papel dos microhabitats sobre o banco de sementes da caatinga</i>	20
Referências bibliográficas	22
Artigo a ser enviado ao periódico Journal of Arid Environments	29
Microhabitats e variações de precipitação interanuais explicam a densidade de sementes e a riqueza de espécies do banco do solo?	30
Resumo	30
1. Introdução	31
2. Material e métodos	32
2.1 Caracterização da área de estudo	32
2.2 Amostragem do banco de sementes	34
2.3 Análise do banco de sementes	35
3. Resultados	36
3.1 Riqueza de espécies	36
3.2 Emergência de plântulas	37
4. Discussão	38
4.1 Riqueza de espécies, densidade de sementes versus microhabitat e precipitação	38
4.2 Interação microhabitat e precipitação anual versus riqueza de espécies e densidade de sementes	40
Agradecimentos	41
Referências bibliográficas	42
Anexo	58

LISTA DE TABELAS

Manuscrito

- Tabela 1. Espécies germinadas nos microhabitats Plano, Rochoso e Ciliar, durante três anos de estudo, em uma área semiárida no Nordeste do Brasil. 48
- Tabela 2. Sumário da tabela da Anova Two-Way para o efeito do ano de estudo e dos microhabitats na emergência de plântulas e riqueza de espécies, em uma área semiárida no Nordeste do Brasil. 52
- Tabela 3. Sumário da Regressão linear múltipla com stepwise para a influência da precipitação e microhabitats na riqueza de espécies e emergência de plântulas do banco de semente do solo, em uma área semiárida no Nordeste do Brasil. 53
- Tabela 4. Emergência de plântulas e riqueza de espécies sob diferentes microhabitats, em ambientes secos do mundo e da caatinga 54

LISTA DE FIGURAS

Manuscrito

Figura 1. Visão esquemática da coleta do banco de sementes do solo (parcelas de 20x20x5 cm) no entorno das parcelas fixas de 1x1 m em uma região semiárida no Nordeste do Brasil. 55

Figura 2. Diferenças na riqueza média de espécies no banco de sementes por m² entre três anos consecutivos e entre microhabitats em uma área semiárida no Nordeste do Brasil. Letras maiúsculas diferentes entre anos em um mesmo microhabitat indicam diferenças na riqueza de espécie pelo teste a *Posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade. Letras minúsculas diferentes entre microhabitats num mesmo ano indicam diferenças na riqueza de espécie pelo teste a *Posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade. 56

Figura 3. Diferenças na emergência média de plântulas do banco de sementes entre três anos consecutivos e entre microhabitats em uma área semiárida no Nordeste do Brasil. Letras maiúsculas diferentes entre anos em um mesmo microhabitat indicam diferenças na emergência média de plântulas pelo teste a *Posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade. Letras minúsculas diferentes entre microhabitats num mesmo ano indicam diferenças na emergência média de plântulas pelo teste a *Posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade. 57

RESUMO

A heterogeneidade espaço-temporal que ocorre nas florestas tropicais secas, altera a taxa de emergência de plântulas e a riqueza de espécies dos habitats por influenciar a densidade do banco de sementes do solo. Deste modo, considerando a importância de se entender como estas variações espaço-temporal vão influenciar a dinâmica do banco de sementes de uma área de caatinga, este estudo objetiva responder as seguintes perguntas: 1. A riqueza de espécies e a densidade de sementes no banco do solo diferem em relação ao tipo de microhabitat e os totais de precipitação de cada ano? 2. Existe interação entre os totais de precipitação anuais e os tipos de microhabitats na determinação da riqueza de espécies e densidade de sementes do banco do solo? O estudo foi realizado em um fragmento de caatinga, em Caruaru, PE. Na área de estudo, três tipos de microhabitats são facilmente visualizados, o ciliar corresponde à faixa de terreno com inclinação suave às margens do riacho Olaria, sem considerar a parte do leito onde corre água do riacho na época de maior precipitação; o microhabitat plano corresponde aos terrenos razoavelmente planos, sem maiores elevações e que distam até 150 m das margens do leito do Riacho; o rochoso corresponde aos locais com pequenos afloramentos rochosos, com área variando de 2 a 5 m² e altura 0,1 a 1 m, que ocorrem como manchas distintas dispersas no microhabitat plano. No interior da área estudada existem aleatoriamente alocadas 105 parcelas de 1x1 m para o estudo da vegetação herbácea, sendo 35 em cada microhabitat. O solo foi coletado no entorno das parcelas de 1x1 m (35 amostras em cada microhabitat), a 5 cm de profundidade e considerando a serrapilheira. Estas coletas foram realizadas nos finais das estações chuvosas e secas, durante três anos consecutivos (2006, 2007 e 2008), totalizando 630 amostras. Diferenças nos dados logaritmizados de riqueza de espécies e de emergência de plântulas do banco do solo entre anos e microhabitats foram avaliadas através de uma Anova-two way, a 5% de probabilidade com teste a *posteriori* de Tukey. Durante os três anos de estudos, um total de 79 espécies emergiu do banco do solo, sendo 63 espécies no microhabitat ciliar, 43 no plano e 42 no rochoso. Houve diferença significativa tanto na riqueza média de espécies bem como na emergência média de plântulas entre microhabitats e entre anos de monitoramento, com interação significativa entre os mesmos. A influência do microhabitat e da precipitação anual sobre a riqueza de espécies e a densidade de sementes do banco do solo não foi à mesma, ou pelo menos não atuou na mesma intensidade, pois enquanto a precipitação explicou 48% da riqueza de espécies do banco do solo, microhabitat explicou apenas 7%. Já em relação à densidade de sementes, o inverso foi registrado, pois enquanto microhabitat explicou 31% da emergência de plântulas, precipitação explicou apenas 5%. Por fim, os resultados deste estudo mostram que para compreender bem a dinâmica do banco de sementes de ambientes semi-áridos torna-se necessário também considerar as variações induzidas pelas condições de microhabitats, as quais possibilitam ajustar melhor as predições sobre a disponibilidade de sementes no banco solo para renovação das populações e conservação destes ambientes.

Palavras chave: caatinga, banco de sementes, microhabitats, variação inter-anual

ABSTRACT

Space-time heterogeneity that occurs in dry forests changes seedling emergence rates and habitat's species richness by influencing soil seed bank density. Therefore, considering the importance of understanding how these space-time variations influence seed bank dynamics in an area of caatinga, this study aims to answer the following questions: 1. Do soil bank species richness and seed density differ according to the microhabitat type and annual precipitation totals? 2. Is there an interaction between annual precipitation totals and microhabitat types in determining soil bank species richness and seed density? The study was performed in a fragment of caatinga in Caruaru-PE. Three microhabitat types are easily found in the study area. The riparian corresponds to the terrain zone with a smooth inclination on the margins of Olaria stream, not considering the part of the stream bed where water runs during high precipitation periods; the flat microhabitat corresponds to the somewhat flat terrains, with no significant elevations and up to 150 m distant from the stream bed margins; the rocky microhabitat corresponds to the places with small rock outcrops, within an area varying from 2 to 5 m², which occur as distinct patches dispersed in the flat microhabitat. In the interior of the study area there are 105 1 x 1 m randomly placed parcels for the study of herbaceous vegetation, 35 in each microhabitat. Soil was collected around the 1x 1m parcels (35 samples for each microhabitat) in a 5 cm depth considering litter. These collections were performed in the end of rainy and dry seasons during three consecutive years (2006, 2007 and 2008), summing 630 samples. Differences in log-transformed data of species richness and seedling emergence in the soil bank between years and microhabitats were evaluated with a two-way ANOVA, with a 5% probability and using Turkey as *a posteriori* test. During the three years of the study, a total of 79 species emerged from the soil bank, 63 species in the riparian microhabitat, 43 in the flat one and 42 in the rocky microhabitat. There was a significant difference for both average species richness and average seedling emergence between microhabitats and between monitoring years, with a significant interaction between them. The influence of microhabitat and annual precipitation on the soil bank species richness and seed density was not the same, or at least did not act with the same intensity, since while precipitation explained 48% of soil bank species richness, microhabitat only explained 7%. Regarding seed density, the opposite was recorded, since while microhabitat explained 31% of seedling emergence, precipitation only accounted for 5%. The results of this study showed that, in order to better understand seed bank dynamics of semi-arid environments, it is also necessary to consider variations inducted by microhabitat conditions, which help for a better adjusting of predictions about seed availability in the soil bank for population renewal and conservation of these environments

Keywords: caatinga, seed bank, microhabitats, inter-annual variation

INTRODUÇÃO

O banco de sementes pode ser definido como sendo o estoque de sementes viáveis existentes no solo desde a superfície até as camadas mais profundas, em uma dada área e em dado momento. (BAKER, 1989; ROBERTS e SIMPSON, 1989; ALMEIDA-CORTEZ, 2004). Em ambientes secos, a riqueza de espécies e a densidade de sementes no banco do solo sofrem influência das variações no espaço e no tempo característico destes ecossistemas.

No espaço, variações ambientais podem ocorrer nos sentidos horizontais e verticais, e ambas podem influenciar a densidade de sementes do solo. As variações espaciais no sentido vertical são caracterizadas pelas diferentes camadas do solo, indo desde a deposição das sementes na serrapilheira até profundidades variadas do solo (GUO et al., 1998; COSTA e ARAÚJO, 2003; LÓPEZ, 2003; MAYOR et al., 2007; MAMEDE e ARAÚJO, 2008; SANTOS et al., 2010). Existem estudos que avaliam separadamente a densidade de sementes na serrapilheira e em diferentes profundidades do solo (LOBO, 2008; YU et al., 2008; SILVA, 2009; SANTOS et al., 2010) e estudos que avaliam apenas a variação na densidade de sementes do solo em função da profundidade (CABIN e MARSHALL, 2000; MA et al., 2006; NE'EMAN e IHZAK, 2009; QUEVEDO-ROBLEDO et al., 2010).

No sentido horizontal as variações são caracterizadas pelos diferentes microhabitats, os quais podem ser formados pela consequência da construção dos ninhos de formigas (MÜLL e MACMAHON, 1996; DÓSTAL, 2005; SCHÜTZ et al., 2008), manchas de tipos vegetacionais distintos como, por exemplo, manchas arbustivas entremeando os campos dominados por vegetação herbácea (CABIN e MARSHALL, 2000; CABALLERO et al., 2008; NE'EMAN e IZHAKI, 2009; QUEVEDO-ROBLEDO et al., 2010), ou pelas variações no tipo e na topografia do solo como, por

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

exemplo, trechos de afloramentos rochosos, arenosos, de aclave, de declive e inundáveis (CABALLERO et al., 2003; ARAÚJO et al., 2005; MA et al., 2006; PESSOA, 2007).

No tempo, em geral, a densidade de sementes do solo varia, sobretudo, em respostas as variações ocorrentes na distribuição da precipitação de cada ano (PETERS, 2002; COSTA e ARAÚJO, 2003; LÓPEZ, 2003; FACELLI et al., 2005; SANTOS et al., 2010). Assim, esta irregularidade na precipitação anual pode determinar o quantitativo de sementes que chegam aos microhabitats. Em uma região árida no Novo México, por exemplo, no ano mais chuvoso, a densidade de sementes do banco do solo foi maior abaixo da copa dos arbustos e, no ano mais seco, a densidade foi maior em áreas abertas dominadas por vegetação herbácea (CABIN e MARSHALL, 2000). Deste modo pode-se afirmar que estudos sobre o papel dos microhabitats sobre o banco de sementes devem ser feitos em uma série temporal maior que um ano, para que se possam determinar os padrões de influência destes microhabitats na riqueza de espécies e densidade do banco do solo.

Na região nordeste do Brasil, as florestas secas são bem representadas pela caatinga, que se caracteriza por possuir um clima sazonal, com uma curta estação chuvosa (três a seis meses) e uma estação seca mais prolongada (seis a nove meses). A precipitação média anual varia de 252 a 1200 mm. ano⁻¹ (NIMER, 1979; SAMPAIO, 1996). Do ponto de vista florístico, o componente lenhoso da caatinga possui uma elevada riqueza de Mimosaceae, Caesalpiniaceae, Euphorbiaceae e Cactaceae (SAMPALIO, 1996; ALCOFORADO-FILHO et al., 2003). Nos últimos anos, houve um grande aumento no conhecimento sobre a flora, estrutura e ecologia das herbáceas (RODAL et al., 1999; ARAÚJO et al., 2002; ARAÚJO et al., 2005; SILVA, 2005; REIS et al., 2006), comprovando que o estrato herbáceo constitui a maior parte da

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

biodiversidade da caatinga e exercem influência sobre a dinâmica da flora lenhosa (ARAÚJO e TABARELLI, 2002; ARAÚJO, 2003).

Todavia, estudos que investiguem questões relacionadas ao banco de sementes em áreas de caatinga estão restritos aos de Costa e Araújo (2003), Pessoa (2007), Mamede e Araújo (2008), Lobo (2008), Silva (2009) e Santos et al., (2010). Porém destes seis estudos, apenas dois (PESSOA, 2007; SANTOS et al., 2010) investigaram o papel de diferentes microhabitats no banco de sementes da caatinga (em apenas um ano). Deste modo, considerando que a heterogeneidade espaço-temporal, ocorrente nas florestas tropicais secas, altera a taxa de emergência de plântulas e a riqueza de espécies dos habitats por influenciar a densidade de sementes do banco do solo, objetiva-se nesse estudo responder as seguintes perguntas: 1. A riqueza de espécies e a densidade de sementes no banco do solo diferem em relação ao tipo de microhabitat e os totais de precipitação de cada ano? 2. Existe interação entre os totais de precipitação anuais e os tipos de microhabitats na determinação da riqueza de espécies e densidade de sementes do banco do solo?

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O papel dos microhabitats sobre o banco de sementes

Nos ambientes secos e úmidos do mundo existe uma grande diversidade de microhabitats, caracterizados por uma forma de vida vegetal particular ou característica física dominante. Por exemplo: 1) as formigas, ao removerem o sedimento para a construção dos seus ninhos, formam montes de areia com características peculiares e diferenciadas do seu entorno (MÜLL e MACMAHON, 1996; DÓSTAL, 2005; SCHÜTZ et al., 2008); 2) existem áreas de campo, dominadas por vegetação herbácea, com arbustos distribuídos de forma aleatória. Conseqüentemente, as condições microclimáticas abaixo da copa destes arbustos diferem dos trechos dominados por vegetação herbácea (CABIN e MARSHALL, 2000; CABALLERO et al., 2008; NE'EMAN e IZHAKI, 2009; QUEVEDO-ROBLEDO et al., 2010); e 3) existem áreas que são caracterizadas por diferentes gradientes altitudinais como base, declive e topo de montanhas e dunas (CABALLERO et al., 2003; ARAÚJO et al., 2005; MA et al., 2006; PESSOA, 2007).

Estudos que levaram em consideração a influência dos diferentes tipos de microhabitats, citados nos exemplos acima, sobre a dinâmica do banco de sementes, vêm apontando que a riqueza e a densidade do banco destes ambientes são fortemente influenciadas pelos microhabitats (CABIN e MARSHALL, 2000; CABALLERO et al., 2003; PESSOA, 2007; SANTOS et al., 2010). Por exemplo, em áreas de pastagens na Eslováquia, Dóstal (2005) avaliou o efeito da construção dos ninhos de três espécies de formigas (*Lasius flavus*, *Formica* sp. e *Tetramorium caespitum*) e de áreas adjacentes aos ninhos na riqueza de espécies e na densidade de sementes do banco do solo. Foi

constatado que a riqueza de espécies e a densidade de sementes das amostras do solo coletadas nas áreas adjacentes aos ninhos foram significativamente maiores quando comparado com o solo coletado no topo do ninho. O autor explica que estes resultados podem ter ocorrido devido à atividade de remoção de solos dentro destes ninhos, pois como as formigas retiram solo para a construção dos seus ninhos, partículas de solo geralmente são trazidos dos horizontes mais profundos onde diásporos estão ausentes ou têm pouca abundância. Associado a isto, não existe uma cobertura vegetal perto destes ninhos, devido à atividade das formigas e isso pode ter causado uma menor retenção de sementes nos solos dos microhabitats formados pela construção dos ninhos. Por outro lado, nas áreas adjacentes, as formigas não removem a vegetação, o que contribui para uma maior entrada de sementes nestas áreas.

No entanto, Schütz et al. (2008), em outra área de pastagem, num campo subalpino, analisando o impacto dos microhabitats formados pelos ninhos da espécie *Formica exsecta* Nyl. e suas áreas adjacentes sobre o banco de sementes, observaram uma tendência contrária. Foi encontrado tanto um maior número de espécies como maior número de sementes nas amostras dos microhabitats formados pelos ninhos da formiga do que nas amostras das áreas adjacentes. Os autores atribuem estes resultados ao fato de que houve uma predação mínima da maioria das sementes pelas formigas assim as sementes foram acumulando ao longo de vários anos e permaneceram viáveis nos microhabitats formados pelos ninhos das formigas.

Em um ambiente com predomínio de vegetação arbustiva, nos Estados Unidos, Müll e Macmahon (1996) encontraram que a densidade de sementes em microhabitats formados por ninhos de formigas da espécie *Pagonomyrmex occidentalis* é maior em manchas arbustivas do que em microhabitats formados por ninhos da mesma em áreas com predominância da vegetação herbácea. Os autores atribuem a este resultado a

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

combinação das condições peculiares de microclima das manchas arbustivas e a atividade das formigas, que vai favorecer a uma maior densidade de sementes dentro dos microhabitats formados pelos ninhos abaixo das manchas arbustivas e, assim favorecendo a uma maior germinação e estabelecimento de plântulas.

Diante dos resultados encontrados nestes trabalhos pode-se observar que os microhabitats formados pela atividade das formigas com características diferentes na composição do solo, influenciam a riqueza de espécies e densidade do banco de sementes e ainda podem proporcionar o estabelecimento e germinação de plântulas.

Por conseguinte, os estudos realizados em microhabitats formados por grupos vegetacionais de manchas arbustivas e áreas adjacentes com predominância herbácea como citado no exemplo dois do início da revisão, têm demonstrado que há diferenças significativas na densidade de sementes entre estas áreas (CABIN e MARSHALL, 2000; GUO et al., 1998; PUGNAIRE e LAZARÓ, 2000; MAYOR et al., 2007; CABALLERO et al., 2008; QUEVEDO-ROBLEDO et al., 2010).

Em uma floresta tropical seca, localizada no sudeste da Espanha, Pugnaire e Lazaró (2000) avaliaram o papel dos arbustos e da precipitação sobre o banco de sementes e riqueza de espécies. A riqueza de espécies foi maior no ano mais úmido. A densidade de sementes variou com a idade do arbusto, existindo dois grupos: o primeiro formado por espécies que aumentaram a densidade de sementes com a idade do arbusto; o segundo formado por espécies que diminuiu a densidade das sementes com a idade do arbusto. Além disso, os autores observaram que os arbustos facilitam a ocorrência das espécies por dois motivos: por funcionar como uma barreira no processo de dispersão das sementes; e por fornecer condições ótimas ao estabelecimento e sobrevivência das plantas abaixo de sua copa.

Também na Espanha, Caballero et al. (2008) verificaram o efeito de manchas arbustivas e áreas abertas no banco de sementes e constataram que tanto para a riqueza de espécies como para a densidade de sementes houve diferenças significativas entre os microhabitats sendo maior nas manchas arbustivas, demonstrando que as manchas arbustivas agem como fonte de sementes tendo um papel importante na manutenção destes ecossistemas.

Em desertos norte americanos, Guo et al. (1998) também constataram que a riqueza de espécie e a densidade de sementes são significativamente maiores sob a copa dos arbustos. Em adição os autores verificaram que esta variação não é, contudo, claramente relacionada ao tamanho do dossel do arbusto, mas pode ser devido à forma da copa arbustiva e índice de área foliar, afetando a dispersão das sementes e a predação por animais.

Na Argentina, Quevedo-Robledo et al. (2010) também encontraram diferenças significativas na riqueza de espécies e densidade de sementes no banco do solo entre manchas arbustivas e áreas abertas, sendo maior em manchas arbustivas. Os autores observaram que a copa dos arbustos estaria funcionando como um local propício para a germinação de plântulas, quando as condições adversas no meio limitam o estabelecimento e o crescimento das mesmas.

No entanto, o papel facilitador de manchas arbustivas no aumento da riqueza de espécies e da densidade de sementes do banco do solo não é encontrado em todas as regiões áridas e semiáridas, pois Mayor et al. (2007), também na Argentina, em uma floresta seca, observaram que a densidade de sementes para a espécie *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hackel foi maior em áreas abertas com predominância de herbáceas do que em manchas arbustivas. Os autores relataram que este comportamento ocorreu provavelmente devido as altas temperaturas encontradas na área aberta e este

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

fator pode ter ajudado na quebra de dormência das mesmas, ocasionando a germinação da espécie.

Em uma área de duna no mediterrâneo, em Israel, Yu et al. (2008) analisaram o efeito de microhabitats (manchas arbustivas, áreas dominadas por vegetação herbácea, trilhas formadas por visitantes e veículo) no banco de sementes. A riqueza de espécies e a densidade de sementes variaram nos três microhabitats, sendo maior na área dominada por vegetação herbácea. Deste modo, Yu et al. (2008) atribuíram a estes resultados o fato de que a área aberta tem maior intensidade de luz que dá condições para a germinação e crescimento das plântulas.

Porém, estes trabalhos só estudaram o papel das manchas arbustivas em uma série temporal de um ano. Todavia, no Novo México Cabin e Marshall (2000) avaliaram o banco de sementes da espécie *Lesquerella fendleri* (A. Gray) S. Watson em manchas arbustivas e áreas abertas com predominância de vegetação herbácea. Os autores encontraram que no primeiro ano de trabalho o maior número de sementes foi abaixo da copa dos arbustos, porém no segundo ano de estudo este padrão se inverteu, sendo maior nas áreas abertas. Os autores justificaram o ocorrido pelo fato do banco de semente do solo não ser apenas composto por sementes produzidas durante períodos reprodutivos favoráveis, e que parte das sementes do banco pode ter sido produzida em anos com condições climáticas mais restritivas, mas ficaram armazenadas no solo, contribuindo para a densidade registrada a cada ano.

Deste modo pode-se afirmar que estudos sobre o papel dos microhabitats formados por manchas vegetacionais no banco de sementes devem ser feitos em uma série temporal maior que um ano, para que se possam determinar os padrões de influência destes microhabitats na riqueza de espécies e densidade do banco do solo.

Em ambientes com microhabitats formados por gradientes altitudinais as variações na riqueza de espécies e densidade de sementes do banco do solo podem ser ocasionadas pelas diferenças micro físicas destes microhabitats. No deserto de Tenger, na China, Ma et al. (2006) analisaram o efeito dos microhabitats de uma duna (base, topo e uma depressão inter-duna) sobre o banco do solo e encontraram diferenças significativas no número de sementes, sendo maior na base da montanha. Os autores apontam que estas diferenças podem ser justificadas pela ação conjunta de fatores bióticos como características morfológicas das sementes e fatores abióticos como vento, precipitação e estrutura do solo que podem influenciar o potencial de sementes viáveis no solo, afetando a densidade de emergência de plântulas.

Hegazy et al. (2009), em Israel, estudaram variações na densidade de sementes e riqueza de espécies ao longo de gradientes altitudinais e apontaram que os maiores valores de riqueza de espécies e densidade de sementes no banco do solo também correspondem às bases das montanhas. Fato este, que pode ser justificado devido a disponibilidade de água neste local ser superior em comparação a altitudes mais elevadas, promovendo assim, o estabelecimento e crescimento de plântulas e, por conseguinte, maior produção de sementes (HEGAZY et al., 2009). Fato semelhante foi encontrado por Caballero et al. (2003) na Espanha. No entanto, os autores argumentam que em conjunto com a disponibilidade de água, os processos físicos do local também interferem na variação da riqueza de espécies e densidade de sementes no banco do solo, regulando a dispersão e posterior acumulação das sementes em áreas planas com altitudes baixas.

No entanto, não se pode dizer que maior densidade de sementes na base das montanhas é um padrão para os ambientes secos, pois Funes et al. (2003) observaram que a riqueza de espécies e densidade de sementes do banco do solo obteve diferenças

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

significativas entre gradientes altitudinais, mas o acúmulo de sementes ocorreu no topo da área estudada. Os autores apontam que temperaturas elevadas em baixas altitudes podem aumentar a predação das sementes, enquanto que o clima frio em altitudes mais elevadas pode favorecer a formação de um banco de sementes persistente.

Pode-se observar que os diferentes resultados encontrados nestes estudos podem estar relacionados às variações ambientais dos locais como exemplo, velocidade do vento, temperatura, escoamento superficial da água, que associados aos microhabitats vão influenciar a dinâmica do banco de sementes (MA et al., 2006; YU et al., 2008; QUEVEDO-ROBLEDO et al., 2010). Além disso, a maior parte dos trabalhos sobre microhabitats formados por condições físicas justifica seus resultados, relacionando os mesmos com disponibilidade hídrica (CABALLERO et al., 2003; FUNES et al., 2003; MA et al., 2006; YU et al., 2008; HEGAZY et al., 2009), mas não se tem conhecimento de trabalhos que tenham analisado a interação destes fatores e sua influência na riqueza de espécies e densidade de sementes do banco do solo em ambientes secos.

O papel dos microhabitats sobre o banco de sementes da caatinga

No Brasil, florestas secas são bem representadas na região nordeste pela vegetação da caatinga. Apesar da vegetação da caatinga ser muito diversa do ponto de vista florístico e estrutural (ARAÚJO et al., 2005; ARAÚJO et al., 2007) e hoje se apresentar bastante alterada pela ação antrópica, sendo convertida em áreas de pastagem e agricultura (CASTELLETTI et al., 2003), a dinâmica de seu banco de sementes é pouco conhecida. Até o momento, apenas seis trabalhos direcionados ao banco de sementes foram realizados (COSTA e ARAÚJO, 2003; PESSOA, 2007; MAMEDE e ARAÚJO, 2008; LOBO, 2008; SILVA, 2009; SANTOS et al., 2010). E destes, apenas dois

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

trabalhos (PESSOA, 2007; SANTOS et al., 2010) analisaram o efeito de diferentes microhabitats na riqueza de espécies e na densidade de sementes do banco do solo.

Em Pernambuco, Pessoa (2007) observou que no período chuvoso, houve maior densidade de sementes no banco do solo na parte superior da encosta e, no período seco, mesmo tendo o número de sementes menor que no período chuvoso, a densidade de sementes também foi maior na parte superior da encosta. A autora relata que estes resultados podem ser explicados pelas características hidráulicas do terreno, pois pode ocorrer retenção de sedimento através de resíduos vegetais, fragmentos de rocha e outras partículas de maior tamanho na parte superior da encosta.

Em 2010, também em Pernambuco, Santos e colaboradores analisaram a variação espaço-temporal do banco de sementes da Caatinga. Os autores observaram que a riqueza de espécies e a densidade de sementes foram significativamente maiores na estação chuvosa do que na seca. Também foi observado que tanto na estação chuvosa como na seca a densidade de sementes foi maior na profundidade do solo de 0-5 cm do que na serrapilheira. Em relação aos microhabitats observados na área para a estação chuvosa, houve significativamente maior número de sementes armazenadas no solo do microhabitat ciliar do que nos microhabitats plano e no rochoso. Na seca, não houve diferença significativa no número de sementes entre os microhabitats. Para a serrapilheira, a densidade de sementes foi semelhante entre os microhabitats nas estações chuvosa e seca. A autora justifica os resultados encontrados apontando que a densidade de sementes em florestas secas é diretamente proporcional a intensidade e duração do período chuvoso, que vai influenciar a dispersão de sementes e, posterior estabelecimento e germinação de plântulas.

Diante dos resultados encontrados na literatura, tanto para ambientes secos no mundo como para as áreas de Caatinga, é possível observar que os microhabitats são

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

bastante diversificados, tendo um papel importante sobre a biodiversidade, como também na conservação e manejo dos ecossistemas, funcionando como refúgio da riqueza de espécies e densidade de sementes, influenciando no banco de semente do solo. No entanto, é importante considerar o papel dos microhabitats em uma série temporal maior que um ano para que se possam descrever possíveis interações espaço-temporais na dinâmica do banco de sementes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOFORADO-FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Florística fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru. **Acta botânica brasílica**. v. 17, n.2, p. 287-303. 2003.

ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Dispersão e banco de sementes. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. (Orgs.). **Germinação: do básico ao aplicado**, Recife 2004 p. 225-235.

ARAÚJO, E. L.; SILVA, S. I.; FERRAZ, E. M. N. Herbáceas da caatinga de Pernambuco. In: SILVA, J. M.; TABARELLI, M. (Org.) **Diagnóstico da biodiversidade do estado de Pernambuco**. Recife: Editora Massagana, v. 1, 2002 p.183-206.

ARAÚJO, E.L.; TABARELLI, M. Estudos de ecologia de populações de plantas do nordeste do Brasil. In: ARAÚJO, E.L.; MOURA, A.N.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GESTINIAMI, L.M.S ; CARNEIRO, J.M.T. (Eds.). **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: Imprensa Universitária, 2002 p. 135-142.

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

ARAÚJO, E. L. Diversidade de herbáceas na vegetação da caatinga. In: JARDIN, E. A. G.; BASTOS, M. N. C. (eds.) **Desafios da botânica brasileira no novo milênio: Inventário, sistematização e conservação da diversidade vegetal**. Belém : Sociedade Brasileira de Botânica, 2003 p. 82-84.

ARAÚJO, E. L.; SILVA, K. A.; FERRAZ, E. M. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, S. I. Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru-PE. **Acta Botanica Brasilica**. v. 19, p. 285-294. 2005

ARAÚJO, E. L.; CASTRO, C. C ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of Brazilian caatinga – A review concerning the plants, environment and people. **Functional Ecosystems and Communities**. v. 1, n. 1, p. 15-28. 2007.

BAKER, H. G. Some aspects of the natural history of seed banks. In: LECK, M. A.; PARKER, T.V.; SIMPSON, R.L.A.F. (Eds.). **Ecology of soil seed banks**. London: Academic Press, 1989 p. 9-21.

CABALLERO, I.; OLANO, J. M.; LOIDI, J.; ESCUDERO, A. Seed bank structure along a semi-arid gypsum gradient in central Spain. **Journal of Environments**. v. 55, p. 287-299. 2003.

CABALLERO, I.; OLANO, J. M.; ESCUDERO, A.; LOIDI, J. Seed bank spatial structure in semi-arid environments: beyond the patch-bare area dichotomy. **Plant Ecology**. v. 195, p. 215-223. 2008.

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

CABIN, R. J.; MARSHALL, D. C. The demographic role of soil seed banks. I. Spatial and temporal comparisons of below- and above-ground populations of the desert mustard *Lesquerella fendleri*. **Journal of Ecology**. v.88, p.233-292. 2000.

CASTELLETTI, C. H. M.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Quanto ainda resta da caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: 2003 p.719-734.

COSTA, R. C.; ARAÚJO, F. S. Densidade, germinação e flora do banco de sementes do solo no final da estação seca, em uma área de caatinga, Quixadá, CE. **Acta Botanica Brasilica**. v. 17, p. 259-264. 2003.

DÓSTAL, P. Effect of three mound-building ant species on the formation of soil seed bank in mountain grassland. **Flora**. v. 200, p.148-158. 2005.

FACELLI, J. M.; CHESSON, P.; BARNES, N. Differences in seed biology of annual plants in arid lands: a key ingredient of the storage effect. **Ecology**. v. 86, n. 11, p. 2998-3006. 2005.

FUNES, G.; BASCONCELO, S.; DÍAZ, S.; CABIDO, M. Seed bank dynamics in tall-tussock grasslands along an altitudinal gradient. **Journal of Vegetation Science**. v. 14, p. 253-258. 2003.

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

GUO, Q; RUNDEL, P.W. GOODALL, D.W. Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: patterns, causes, and implications. **Journal of Arid Environments**. v. 38, p. 465-478. 1998.

HEGAZY, A. K.; HAMMOUDA, O.; LOVETT-DOUST, J.; GOMAA, N. H. Variations of the germinable soil seed bank along the altitudinal gradient in the northwestern Red Sea region. **Acta Ecologica Sinica**. v. 29, p. 20-29. 2009.

LOBO, P. C. A. **Análise do banco de sementes de uma área de caatinga-PE após simulação de seca**. 2008, 34f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) Universidade de Pernambuco, Recife.

LÓPEZ, R. P. Soil seed bank in the semi-arid Prepuna of Bolivia. **Plant Ecology**. v. 168, p. 85-92. 2003.

MA, J. Y.; REN J.; WANG, G.; CHEN, F. H. Influence of different microhabitats and stand age on viable soil seed banks of sand-stabilising species. **South African Journal of Botany**. v. 72, p.46-50, 2006.

MAMEDE, M.A.; ARAÚJO F.S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**. v. 72, p. 458-470. 2008.

MAYOR, M. D.; BÓO, R. M.; PELAÉZ, D. V. ELÍA, O. R.; TOMÁZ, M. A. Influence of shrub cover on germination, dormancy and viability of buried and unburied seeds of

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

Piptochaetium napostaense (Speg.) Hackel. **Journal of Arid Environments**. v. 68, p.509-521. 2007.

MÜLL, F. J.; MACMAHON, A. J. Factors determining the spatial variability of seed densities in a shrub-steppe ecosystem: the role of harvester ants. **Journal of Arid Environments**. v. 32, p. 181-192. 1996.

NE'EMAN G.; IZHAKI, I. The effect of stand age and microhabitat on soil seed banks in Mediterranean Aleppo pine forests after fire. **Plant Ecology**. v. 144, p.115–125. 2009

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: Fundação IBGE – SUPREN **(Recursos Naturais e Meio Ambiente 4)**. 1979.

PESSOA, L. M. **Variação espacial e sazonal do banco de sementes do solo em uma área de caatinga, Serra Talhada, PE**. 2007. 45f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PETERS D. P. C. Plant species dominance at a grassland-Shrubland ecotone: and individual-based gap dynamics model of herbaceous and species woody. **Ecological Modeling**. v.152, p.5-32. 2002.

PUGNAIRE, F. I.; LAZARÓ, R. Seed bank and understorey species composition in a semi-arid environment: the effect of shrub age and rainfall. **Annals of Botany**. v. 86, p. 807-813. 2000.

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

QUEVEDO-ROBLEDO, L., PUCHETA, E., RIBAS-FERNANDÉZ, Y. Influences of interyear rainfall variability and microhabitat on the germinable seed bank of annual plants in a Sandy Monte Desert. **Journal of Arid Environments**. v. 74, n. 2, p.167-172, 2010.

REIS, A. M. S.; ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N.; MOURA, A. N. Variações interanuais na florística e fitossociologia do componente herbáceo de uma área de caatinga, Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. v. 29, n.3, p. 497-508. 2006

ROBERTS, H. A; SIMPSON, R. L. Seed banks: general concepts and methodological issues. In: LECK, M.A.; PARKER, T. V.; SIMPSON, R. L. A. de F. (eds.) **Ecology of soil seed banks**. New York, 1989 p. 3-7.

RODAL, M. J. W.; NASCIMENTO, L. M. ; MELO, A. L. Composição florística de um trecho de vegetação arbustiva caducifólia, no município de Ibimirim, Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. v.13, n.1, p. 14-29. 1999.

SANTOS, D.M.; SILVA, K.A.; SANTOS, J.M.F.F.; LOPES, C.G.R.; PIMENTEL, R.M.M.; ARAÚJO, E.L. Variação espaço-temporal do banco de sementes em uma área de floresta tropical seca (caatinga) – Pernambuco. **Revista de Geografia**. v. 27, n.1, p. 234-253. 2010

SAMPAIO, E. V. S. B. Fitossociologia. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; MAYO S. J.; BARBOSA, M.R.V. (Eds.). **Pesquisas Botânicas Nordestinas: Progresso e**

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

perspectivas. Recife: Sociedade Botânica do Brasil, Seção Regional de Pernambuco, 1996 p.203-224.

SCHÜTZ, M.; KRETZ, C.; DEKONINCK, L. J.; IRAVANI, M.; RISCH C. A. Impact of *Formica exsecta* Nyl. on seed bank and vegetation patterns in a subalpine grassland ecosystem. **Journal Applied Entomology**. v.132, p. 295-305. 2008.

SILVA, K.A. **Banco de sementes (lenhosas e herbáceas) e dinâmica de quatro populações herbáceas em uma área de Caatinga em Pernambuco**. 2009 132f. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SILVA, K. A. **Caracterização florística e fitossociológica do componente herbáceo ocorrentes em áreas de caatinga do cristalino e sedimentar no município de Petrolândia, PE**. 2005 79f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

YU, S.; BELL, D.; STERNBERG, M.; KUTIEL, P. The effect of microhabitats on vegetation and its relationships with seedlings and soil seed bank in a Mediterranean coastal sand dune community. **Journal of Arid Environments**. v.72, p. 2040-2053, 2008.

Artigo a ser enviado ao periódico Journal of Arid Environments

Microhabitats e variações de precipitação interanuais explicam a densidade de sementes e a riqueza de espécies do banco do solo?

Danielle Melo dos Santos^{1*}; Kleber Andrade da Silva²; Ulysses Paulino de Albuquerque¹; Elcida de Lima Araújo¹

RESUMO

O poder de explicação dos microhabitats e das variações interanuais da precipitação sobre a riqueza de espécies e densidade de sementes do banco do solo foi verificado em uma região semiárida no Nordeste do Brasil. Em parcelas de 20x20x5 cm foram coletadas 35 amostras de solo por microhabitat (ciliar, plano e rochoso) nos finais das estações chuvosas e secas e durante três anos (2006, 2007 e 2008), totalizando 630 amostras. A riqueza de espécies e a densidade de sementes foram determinadas pelo método de emergência de plântulas. Nos três anos 79 espécies emergiram do banco do solo, sendo 64 no ciliar (com 28 exclusivas), 45 no plano (quatro exclusivas) e 42 no rochoso (duas exclusivas). Foram registradas diferenças na riqueza e densidade médias entre microhabitats e entre anos, com interação significativa entre os mesmos. A precipitação explicou 48% e 5% das variações na riqueza e na densidade de sementes, respectivamente. Os microhabitats explicaram 7% da variação na riqueza e 31% da variação da densidade. Interações entre precipitação e microhabitats modulam parte da dinâmica do banco de sementes de ambientes semiáridos e os microhabitats, funcionam como microsítios de estoque de sementes, sendo as diferenciações de microhabitats importantes para conservação da diversidade biológica local.

Palavras chaves: Caatinga, emergência de plântulas, semiárido.

1. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de biologia, Área Botânica, Dois Irmãos, 52171-900, Recife-PE, Brasil.

*Autor para correspondência: Tel.: +558133206308; fax: +558133206360/ Endereço de email: danmelo_bio@hotmail.com

2. Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, Rua do Alto do Reservatório s/n, Bela Vista CEP: 55608-680, Vitória de Santo Antão-PE, Brasil.

1. Introdução

A densidade de sementes do banco do solo de ambientes secos pode variar no espaço e no tempo (Garwood, 1989; Silva, 2009). No espaço, o solo pode variar no sentido horizontal e vertical, o que também influencia a densidade de sementes do solo. As variações espaciais no sentido vertical são caracterizadas pelas diferentes camadas do solo, indo desde a deposição das sementes na serrapilheira até profundidades variadas do mesmo. Existem estudos que avaliam separadamente a densidade de sementes na serrapilheira e em diferentes profundidades do solo (Yu et al., 2008; Silva, 2009; Santos et al., 2010) e estudos que avaliam a variação na densidade de sementes do solo em função da profundidade, sem isolar a serrapilheira (Cabin e Marshall, 2000; Ma et al., 2006; Ne'eman e Izhak, 2009; Quevedo-Robledo et al., 2010). No geral, esses estudos apontam existir uma diminuição na densidade de sementes com o aumento da profundidade do solo.

No sentido horizontal, as variações do solo são caracterizadas pelos diferentes microhabitats, os quais podem ser formados por manchas de tipos vegetacionais distintos como, por exemplo, manchas arbustivas ou áreas abertas dominadas por vegetação herbácea (Cabin e Marshall, 2000; Caballero et al., 2008; Ne'eman e Izhaki, 2009; Quevedo-Robledo et al., 2010), ou por variações na topografia (por exemplo, trechos de afloramentos rochosos, arenosos, de aclave, de declive e inundáveis) (Caballero et al., 2003; Araújo, et al., 2005a ; Ma, et al., 2006; Pessoa, 2007). Estas variações nas condições de microhabitats podem possibilitar maior ou menor retenção de sementes no solo (Pessoa, 2007), exercendo influência sobre a riqueza de espécies e sobre as taxas de renovações das populações (Ma et al., 2006; Lima et al., 2007; Quevedo-Robledo et al., 2010).

Em uma escala temporal, em geral a densidade de sementes do solo varia em resposta as mudanças ocorrentes na distribuição da precipitação de cada ano (Peters, 2002; Costa e Araújo, 2003; López, 2003; Facelli et al., 2005; Santos et al., 2010), sobretudo em ambientes áridos e semiáridos que apresentam marcada sazonalidade climática (Araújo et al., 2007), com estações chuvosas e secas bem delimitadas, induzindo diferenças na época de produção de frutos e de sementes das plantas (Machado et al., 1997; Amorim et al., 2005; Selwyn e Parthasarathy, 2006; Valdez-Hernández et al., 2010).

Recentemente, um estudo conduzido em um ambiente semiárido da região nordeste do Brasil, onde predomina a vegetação da caatinga, mostrou que nem sempre ocorrem diferenças sazonais na densidade de sementes e na riqueza de espécies do banco do solo porque eventos erráticos (caracterizados por ocorrência de chuvas na estação seca ou por ocorrência de seca na estação chuvosa) podem induzir redução na densidade de sementes, sendo essa densidade fortemente explicada pelo comportamento de chuvas de anos anteriores do que pelas chuvas do ano corrente (Silva, 2009).

Tais evidências indicam que a interação entre microhabitats e sazonalidade climática desenvolva importante papel sobre a dinâmica do banco de sementes do solo, o que pode favorecer a sobrevivência das plantas e a manutenção das populações em ambientes semiáridos. Todavia, poucos trabalhos têm sido direcionados a testar se a ação conjunta da diferenciação de microhabitats e totais de chuva de cada ano podem influenciar a riqueza de espécies e o quantitativo de sementes do banco do solo.

Deste modo, admitindo que a dinâmica do banco de sementes do solo de ambientes semiáridos reflete a interatividade da heterogeneidade espaço-temporal existente nos mesmos, esse estudo objetiva responder as seguintes perguntas: 1. A riqueza e a densidade de sementes diferem em relação ao tipo de microhabitat e entre os totais de precipitação de cada ano estudado? Espera-se que as diferenças de microhabitats também sejam refletidas nas características do banco de semente do solo, independentes da precipitação anual como registrado para outros ambientes secos do mundo. 2. Existe interação entre totais de precipitação dos anos e tipos de microhabitats na determinação da riqueza e emergência de plântulas do banco do solo? Espera-se que exista interação entre os totais de precipitação anuais com os tipos de microhabitats na determinação da riqueza de espécies e da densidade de sementes do solo.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de floresta tropical seca, localmente denominada de Caatinga, com fisionomia arbustivo-árborea, que apresenta muitas espécies de elevada importância econômica para as comunidades da região (Monteiro et al., 2006; Lucena et al., 2007, 2008). Todavia, a vegetação da área do estudo é preservada porque está localizada numa estação de pesquisas experimentais

pertencentes ao Instituto de Pesquisa Agropecuária – IPA (8°14'18" S e 35°55'20" W, 535 m de altitude), em Caruaru, PE e as pessoas da região não tem livre acesso a vegetação de caatinga nativa e ou as áreas de estudos experimentais agrícolas existentes no IPA.

O clima local é estacional, com precipitação média anual de 680 mm e temperaturas mínima e máxima absolutas de 11° C e 38° C, respectivamente, com temperatura média compensada de 22,7° C. Os totais de precipitação registrados em 2006, 2007 e 2008 foram de 576,5; 728,2 e 686,6 mm, respectivamente. A estação chuvosa geralmente ocorre entre março e agosto e os demais meses são marcados pela seca. Todavia, podem ocorrer eventuais chuvas na estação seca bem como veranicos na estação chuvosa (Araújo et al., 2007). A estacionalidade climática local determina a deciduidade da flora lenhosa durante a estação seca e visibilidade de ervas terófitas apenas na estação chuvosa.

A área do IPA é drenada pelo riacho Olaria, afluente do rio Ipojuca (Araújo et al., 2005a; Reis et al., 2006) e segundo Alcoforado Filho et al. (2003), o solo ocupado pela vegetação nativa é Podzólico Amarelo Eutrófico. A camada de 0 a 20cm de profundidade do solo apresenta valores médios de Na, K, Ca, Mg, H e Al trocáveis de 6, 6, 25, 11, 43 e 3 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, respectivamente; P disponível de 2,8mg kg^{-1} e valores médio de C e N de 16,2 e 1,5g kg^{-1} , respectivamente.

Na vegetação da área estudada predominam espécies lenhosas das famílias Mimosaceae, Caesalpiniaceae, Euphorbiaceae e Cactaceae (Alcoforado-Filho et al., 2003; Araújo et al., 2007). No componente herbáceo predominam espécies das famílias Poaceae, Euphorbiaceae, Convolvulaceae, Malvaceae, Asteraceae e Fabaceae (Araújo et al., 2005a; Reis et al., 2006).

Pelo menos três tipos de microhabitats são facilmente visualizados na área do estudo, os quais foram descritos por Araújo et al. (2005a) como: ciliar, plano e rochoso. O ciliar corresponde à faixa de terreno com inclinação suave às margens do riacho Olaria, sem considerar a parte do leito onde corre água do riacho na época de maior precipitação. Neste microhabitat as plantas lenhosas apresentam em média 7m de altura e formam um dossel relativamente fechado, ocorrendo maior sombreamento sobre o solo, o qual se mantém úmido por um número maior de meses quando comparado aos demais microhabitats. O microhabitat plano corresponde aos terrenos razoavelmente planos, sem maiores elevações e que distam até 150 m das margens do leito do Riacho. As plantas lenhosas desse microhabitat apresentam altura média de 5m, mas comparado

ao microhabitat ciliar formam um dossel mais aberto, com maior penetração de luz solar direta, o que favorece a dessecação rápida do solo na estação seca. O microhabitat rochoso corresponde aos locais com pequenos afloramentos rochosos (com área variando de 2 a 5 m² e altura 0,1 a 1 m), que ocorrem como manchas distintas dispersas no microhabitat plano, alguns bem sombreados por copas de plantas lenhosas e outros mais expostos à incidência da luz solar. Apesar de não ser comum existir solo formado na superfície dos afloramentos rochosos, os mesmos apresentam depressões profundas, e às vezes fissuras espessas, de forma que as depressões e as fissuras acumulam um pouco de solo e serrapilheira, o que permitiu a coleta de solo neste microhabitat. Além disso, sobre os afloramentos rochosos também ocorre presença de uma fina camada de briófitos e de líquens (que mantém um pouco de umidade sobre as rochas), além de algumas plantas herbáceas terófitas.

2.2. Amostragens do banco de sementes

No fragmento de vegetação existe um trecho de 1 ha onde vêm sendo realizados estudos de longo prazo sobre o componente lenhoso da vegetação (Araújo et al., 2005b). No interior desse hectare foram aleatoriamente alocadas 105 parcelas de 1x1 m para o estudo da vegetação herbácea (Araújo et al., 2005a; Reis et al., 2006; Silva et al., 2008), sendo 35 em cada microhabitat (plano, rochoso e ciliar). No entorno destas parcelas de 1x1 m, foram coletadas 35 amostras de solo por microhabitat, nos finais das estações chuvosas e secas e durante três anos consecutivos (2006, 2007 e 2008), totalizando 630 amostras (Figura 1). O solo foi coletado em parcelas confeccionadas com chapa galvanizada de 20x20 cm, a 5 cm de profundidade, incluindo a camada de serrapilheira, seguindo a metodologia adotada na maioria dos estudos sobre o banco de sementes do solo (Ma et al., 2006; Hegazy et al., 2009; Ne'eman e Izhaki, 2009; Quevedo-Robledo et al., 2010)

Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e etiquetadas por parcela e por microhabitat e, em casa de vegetação, cada amostra foi colocada em bandeja de isopor (20x38x3 cm) e irrigada diariamente, sem adição de solução nutritiva e ou hormonal por um período de seis meses. As bandejas foram organizadas em duas fileiras, sendo colocada uma bandeja controle entre as mesmas, contendo solo esterilizado em autoclave, visando detectar possíveis contaminações causadas por sementes dispersas pelo vento, totalizando mais 51 bandejas controle.

A determinação da densidade de sementes no banco do solo foi realizada pelo método de emergência de plântulas (não considerando a densidade de sementes dormentes da amostra), seguindo metodologia adotada por Bromn (1992), Christoffoleti e Caetano (1998), Gasparino et al. (2006), sendo a mesma expressa por metro quadrado para possibilitar comparação entre os estudos realizados (Baskin e Baskin, 1989; Caballero et al., 2003; Pessoa, 2007; Hegazy et al., 2009; Ne'eman e Izhaki, 2009).

Diariamente, as plântulas emergentes de cada amostra do solo foram contadas e etiquetadas, anotando-se a data de germinação, o número da parcela e o tipo de microhabitat de onde a amostra foi coletada. Plântulas com cerca de 5 cm de altura foram transplantadas para sacos de polietileno, irrigadas e monitoradas durante seis meses, visando obter material reprodutivo de ervas terófitas para identificação taxonômica correta da espécie. Ainda para auxiliar na identificação das plântulas que não floresceram sementes das espécies ocorrentes na área de estudo foram coletadas e colocadas para germinar, sendo as plântulas comparadas para correta identificação.

A identificação foi realizada através de consultas em literatura específica e por comparações com exsicatas depositadas nos herbários Prof. Vasconcelos Sobrinho (PEUFR) e Dárdano de Andrade Lima (IPA), adotando-se o sistema de classificação de Cronquist (1988). Plântulas não identificadas foram indicadas como morfoespécies.

2.3. Análises do banco de sementes

Inicialmente, foram calculadas as médias da riqueza de espécie e densidade de sementes obtidas nas amostras de cada estação climática (chuvosa e seca) por parcela de cada microhabitat. Os dados médios foram adotados para incorporar o efeito da sazonalidade climática local na análise porque o banco de sementes do solo da caatinga difere significativamente entre estações climáticas (chuvosa e seca) sendo necessário o uso de médias sazonais para avaliar diferenças interanuais na riqueza de espécies e densidade de sementes do banco do solo dos microhabitats. Exemplos de diferenças sazonais na densidade de sementes do banco do solo estão disponíveis nos trabalhos de Pessoa (2007), Silva (2009) e Santos et al., (2010).

A normalidade dos dados médios anuais (estação chuvosa e seca) da riqueza e da densidade foi avaliada pelo teste Kolmogorov-Smirnov, com auxílio do programa Bioestat 5.0. Posteriormente, os dados foram acrescidos de 1 e transformados em escala \log_{10} por que em algumas parcelas não foi registrado emergência de plântulas.

Diferenças nos dados logaritmizados de riqueza de espécies e de emergência de plântulas do banco do solo entre anos e microhabitats foram avaliadas através de uma ANOVA-two way, a 5% de probabilidade com teste a *posteriori* de Tukey pelo programa Estatistic 7.0. O poder de explicação da interação precipitação e microhabitats, bem como de cada variável isolada, na determinação da riqueza e densidade de sementes do banco do solo foi avaliado através de uma análise de regressão linear múltipla *stepwise*, utilizando-se o programa Bioestat 5.0.

3. Resultados

3.1. Riqueza de espécies

Durante os três anos de estudos um total de 79 espécies emergiram das amostras do banco do solo, sendo 64 espécies no microhabitat ciliar, 45 no plano e 42 no rochoso. Do total de espécies, 15 foram identificadas ao nível de família, cinco ao de gênero, 51 ao nível específico e apenas oito como morfoespécies. Ainda, do total de espécies duas ocorreram exclusivamente no rochoso, quatro no plano e 28 no ciliar. Das espécies exclusivas de cada microhabitat, apenas *Portulaca* sp1, que foi exclusiva do ciliar, ocorreu nos três anos. Com exceção das morfoespécies, 57 espécies foram herbáceas, 10 foram arbustos e quatro foram árvores (Tabela 1).

As famílias com maior riqueza de espécies, durante os três anos de estudo, foram Euphorbiaceae, Poaceae, Fabaceae, Malvaceae e Asteraceae para os três microhabitats (Tabela 1). Em média, a riqueza de espécies das parcelas variou de $1,97 \pm 0,91$ a $7,89 \pm 2,58$ espécies do microhabitat plano; de $2 \pm 1,20$ a $6,67 \pm 2,63$ no microhabitat rochoso e de $3,56 \pm 1,58$ a $6,50 \pm 1,57$ no microhabitat ciliar, havendo diferenças entre tipos de microhabitats, bem como entre anos de monitoramento, com interação significativa entre os mesmos (Tabela 2), sendo verificado que 20 espécies tiveram ocorrência contínua no tempo, ou seja, ocorreram nos três anos de estudos (Tabela 1), porém dessas apenas nove ocorreram nos três microhabitats, foram elas: *Begonia reniformis* (Begoniaceae), *Bidens bipinnata* (Asteraceae), *Delilia biflora* (Asteraceae), *Dioscorea coronata* (Dioscoreaceae), *Gomphrena vaga* (Amarantaceae), *Panicum trichoides* (Poaceae), *Phaseolus peduncularis* (Fabaceae), *Pilea hyalina* (Urticaceae) e *Talinum triangulare* (Portulacaceae).

Em cada microhabitat isoladamente constatou-se que a riqueza média de espécies no microhabitat plano diferiu nos três anos de estudo. Todavia não houve diferença na riqueza de espécies nos microhabitats rochoso e ciliar, mas houve redução acentuada na riqueza de espécies do ano de 2006 (ano 1) para os demais anos (Figura 2). No espaço, ou seja, entre os microhabitats a riqueza média de espécie foi similar no ano de 2006 (ano 1). Todavia, nos anos de 2007 (ano 2) e 2008 (ano 3), esse comportamento não foi mantido porque no ano 2, a riqueza média de espécie do microhabitat rochoso diferiu do ciliar e do plano, apesar de não ter sido registrado diferença significativa entre plano e ciliar nesse mesmo ano. Já no ano 3, a riqueza média de espécie do ciliar diferiu do plano e rochoso, tendo esses últimos similar riqueza (Figura 2).

O total de precipitação do ano explicou 48% da riqueza de espécie da área do estudo, enquanto microhabitats explicou apenas 7%. Nos três anos, ação conjunta (interação) dos microhabitats e da precipitação explicou 55% da riqueza de espécie do banco do solo (Tabela 3).

3.2. *Emergência de plântulas*

A estimativa da densidade de sementes do banco do solo nas parcelas, em média, variou de $3,85 \pm 5,06$ a $55,86 \pm 75,03$ sem.m⁻² durante os três anos do estudo, sendo a mesma mais elevada no microhabitat rochoso (Tabela 2). Houve diferença significativa na emergência média de plântulas entre microhabitats e entre anos de monitoramento, com interação significativa entre os mesmos (Tabela 2; Figura 3). No tempo, emergência média de plântulas do primeiro ano dos três microhabitats foi mais elevada e diferiu da emergência média de plântulas dos anos 2 e 3, os quais apresentaram similar emergência de plântulas. No espaço, o microhabitat rochoso diferiu dos demais no ano 1 quanto a emergência média de plântulas. Todavia, nos anos 2 e 3 esse comportamento não foi mantido, pois a emergência de plântulas dos microhabitats rochoso e ciliar foi similar e ambas diferiram da emergência registrada para o microhabitat plano (Figura 3). O total de precipitação do ano explicou apenas 5% da densidade de semente do banco do solo, enquanto microhabitats explicou 31%. A interação entre microhabitats e precipitação explicou 36% da densidade de sementes do banco do solo (Tabela 3).

4. Discussão

4.1. Riqueza de espécies e densidade de sementes versus microhabitat e precipitação

Os valores de riqueza de espécies e densidade de sementes do banco do solo registrados neste estudo estão dentro da faixa de variação encontrada em estudos feitos em ambientes áridos e semi-áridos no mundo (Tabela 4). Com exceção das morfoespécies, a maior parte das espécies encontradas no banco de sementes foi de herbáceas, fato também registrado em outros ambientes áridos e semiáridos do mundo (Guo et al., 1998; Caballero et al., 2003; Ma et al., 2006; Reis et al., 2006; Caballero et al., 2008; Hegazy et al., 2009; Ne'eman e Izhaki, 2009; Quevedo-Robledo et al., 2010; Santos et al., 2010).

Poucas espécies (nove) estiveram presentes nas amostras dos três microhabitats durante os três anos de monitoramento, o que já havia sido observado por Silva (2009) ao estudar a dinâmica temporal do banco de sementes na mesma área deste estudo. Segundo Araújo et al. (2005a) e Araújo e Sampaio (dados não publicados) a composição de espécies da vegetação herbácea da caatinga pode ser dividida em dois grupos, sendo um permanente, ocorrendo todos os anos e um transitório, com ocorrência intermitente entre anos, o que também auxilia justificar a redução da riqueza de espécies encontrada. Todavia, é possível que essa característica seja particular desse tipo de vegetação no ambiente semiárido, pois inexitem estudos que discutam o fato da composição de espécies herbáceas de ambientes semiáridos sazonais poder variar em pulsos entre anos.

Estudos sobre banco de sementes de outros ambientes semiáridos do mundo relatam que a riqueza de espécies do banco de semente é maior em anos mais úmidos (Aziz e Khan, 1996; Pugnaire e Lazaró, 2000). Todavia, também existem registros de que a dinâmica do banco de sementes incorpora variações passadas no total de chuvas, sendo a riqueza de espécies e densidade de sementes do banco de solo melhor explicadas por chuvas de anos passados que por chuvas do ano presente (Silva, 2009) porque em ambientes semiáridos a reprodução das plantas reflete o efeito das variações sazonais do recurso água ocorrente entre os anos (Borchert, 1994; Jolly e Running, 2004; Araújo et al., 2007). Talvez, isto justifique a redução na riqueza de espécies encontrada do primeiro para o segundo ano deste estudo, pois o total de precipitação do

ano anterior ao estudo (2005) foi de 742,9mm, portanto maior que os totais pluviométricos de 2006 (573,5 mm), de 2007 (728,2) e de 2008 (686,6 mm).

Em adição, este estudo mostrou que a influência do microhabitat e da precipitação anual sobre a riqueza de espécies e a densidade de sementes do banco do solo não é a mesma, ou pelo menos não atuam na mesma intensidade, pois enquanto precipitação explicou 48% da riqueza de espécies do banco do solo, microhabitat explicou apenas 7%. Já em relação à densidade de sementes, o inverso foi registrado, pois enquanto microhabitat explicou 31% da emergência de plântulas, precipitação explicou apenas 5%.

Dentre os microhabitats, o ciliar apresentou maior riqueza de espécies, com maior número de espécies exclusivas, possivelmente porque este ambiente tenha disponibilidade de água por um tempo maior quando comparado aos microhabitats rochoso e plano, já que a vegetação lenhosa nesse trecho formava um dossel mais fechado que mantinha folhagem por um tempo maior, conferindo maior sombreamento ao solo. A variação na disponibilidade de água entre os microhabitats tem sido admitida como um fator significativo na determinação de riqueza de espécies (Caballero et al., 2003; Ma et al., 2006; Hegazy et al., 2009). Por exemplo, alguns estudos relatam que plantas lenhosas estabelecidas em manchas disjuntas podem funcionar como condições de microhabitats diferenciados (maior umidade e menor temperatura), possibilitando maior riqueza de espécies abaixo das copas das plantas (Caballero et al., 2008; Yu et al., 2008; Quevedo-Robledo et al., 2010; Seifan et al., 2010).

Similar a riqueza de espécies, a literatura registra que emergência de plântulas do banco do solo varia em função das condições de microhabitats. Por exemplo, tanto pode existir microhabitats formado por conjunto de plantas lenhosas (Guo et al., 1998; Pugnaire e Lazaro, 2000; Caballero et al., 2008; Quevedo-Robledo et al., 2010) que tenha elevada densidade de sementes no solo, porque o sombreamento evita a dessecação rápida do solo, quanto pode existir microhabitats formado por densas manchas de vegetação herbácea (Mayor et al., 2007; Yu et al., 2008) ou por diferenças altitudinais (Caballero et al., 2003; Ma et al., 2006; Pessoa 2007; Hegazy et al., 2009) onde a densidade de sementes no solo seja mais elevada.

Contudo, até o momento nenhum estudo tornou evidente que microhabitats rochosos (que comumente não apresentam solos bem formados) apresentem elevada emergência de plântulas, como registrado neste trabalho. Segundo Araújo et al. (2005a) microhabitats rochosos, às vezes, são recobertos por líquens e briófitos e apresentam

depressões e fendas que favorecem o acúmulo de solo e serrapilheira e de umidade. Possivelmente, as fendas e fissuras das rochas sejam características que contribuam para retenção da semente neste microhabitat, justificando a maior densidade registrada. Entretanto, vale ressaltar que o número de plântulas de lenhosas que emergiram no microhabitat rochoso (01) foi reduzido quando comparado aos microhabitats ciliar (06) e plano (05).

4.2. Interação microhabitat e precipitação anual versus riqueza de espécies e densidade de sementes

Embora o fator precipitação tenha explicado apenas 5% das variações na emergência de plântulas e o fator microhabitat tenha explicado apenas 7% das variações na riqueza de espécie, ambos foram significativos, fazendo com que a ação conjunta desses fatores aumentasse o poder de explicação dos mesmos sobre a riqueza de espécies para 55% e sobre a densidade de sementes para 36%, confirmando a hipótese deste estudo. Logo, a interação significativa entre microhabitats e totais pluviométricos anuais confirma que a heterogeneidade espaço-temporal é um fator de elevada influência na dinâmica do banco de sementes de ambientes semiáridos (Ma et al., 2006; Quevedo-Robledo et al., 2010).

Condições de microhabitats são de extrema importância para emergência e estabelecimento das plantas nos habitats (McLaren e McDonald, 2003; Jurena e Archer, 2003; Fayolle et al., 2009), mas é mais fácil visualizar os diferentes microhabitats que determinar as condições de microhabitats porque nem sempre todas as variáveis que fazem as condições de microhabitats são de fácil mensuração. Muitas vezes as condições de microhabitats são definidas por interações bióticas e abióticas que podem atuar de forma direta ou indireta e variar no tempo e no espaço (Quevedo-Robledo et al., 2010; Seifan et al., 2010).

Assim, apesar desse estudo não ter mensurado as variáveis que definem a condição do microhabitat, a significância da interação encontrada mostra que os microhabitats podem atenuar ou intensificar o efeito dos totais de chuvas de cada ano sobre a densidade de sementes do solo. Por exemplo, em um estudo feito no Novo México para uma única espécie (*Lesquerella fendleri* (A. Gray) S. Watson) foram constatadas diferenças interanuais no número de sementes ocorrentes abaixo da copa dos arbustos e em áreas abertas (Cabin e Marshall, 2000), sendo a densidade em um ano

maior abaixo da copa das árvores e no outro, maior em áreas abertas. Os autores justificaram o ocorrido pelo fato do banco de semente do solo não ser apenas composto por sementes produzidas durante períodos reprodutivos favoráveis, pois devido à possibilidade de algumas espécies formarem banco de sementes persistentes, parte das sementes do banco pode ter sido produzida em anos com condições climáticas mais restritivas, mas ficaram armazenadas no solo, contribuindo para a densidade registrada a cada ano.

Em síntese, os resultados deste estudo mostram que a riqueza de espécies e a emergência de plântulas dependem das condições de microhabitats e dos totais de precipitação de cada ano e, portanto, interações abióticas (precipitação e microhabitats) modulam parte da dinâmica do banco de sementes de ambientes semiáridos. Microhabitats, apesar de não explicar muito sobre a riqueza de espécies funcionam como microsítios de estoque de sementes, sendo as diferenciações de microhabitats importante para conservação da diversidade biológica local. Além disso, este estudo mostra que modelos preditivos sobre a disponibilidade de sementes no banco do solo para renovação das populações precisam incorporar o efeito interativo da heterogeneidade espaço-temporal existentes nesse ambiente, considerando médias obtidas de séries temporais mais longas porque variações climáticas interanuais podem influenciar as condições de microhabitats, alterando as características do banco de sementes.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Agronômico de Pesquisa Agropecuária (IPA) pela logística e permissão de trabalhar em sua propriedade; aos pesquisadores do Laboratório de Ecologia Vegetal e Ecossistemas Nordestinos (LEVEN) pelo apoio, sugestões e auxílio na execução do projeto e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo, bolsa de produtividade dos pesquisadores e apoio financeiro ao projeto.

Referências Bibliográficas

Alcoforado-Filho, F.G., Sampaio, E.V.S.B., Rodal, M.J.N., 2003. Florística fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru. *Acta Botânica Brasileira* 17, 287-303.

Amorim, I., Sampaio, E.V.S.B., Araújo, E. L., 2005. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 19, 615-623.

Araújo, E.L., Castro, C.C., Albuquerque, U.P., 2007. Dynamics of brazilian Caatinga – a review concerning the plants, environment and people. *Functional Ecology and Communities* 1, 15-28.

Araújo, E.L., Silva, K.A., Ferraz, E.M.N., Sampaio, E.V.S.B., Silva, S.I., 2005a. Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru-PE. *Acta Botanica Brasilica* 19, 285-294.

Araújo, E.L., Martins, F.R., Santos, A.M., 2005b. Establishment and death of two dry tropical forest woody species in dry and rainy seasons in northeastern Brazil. In: Nogueira, R.J.M.C., Araújo, E.L., Willadino, L.G., Cavalcante, U.M.T. (Eds.) *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: MXM Gráfica e Editora, pp.76- 91.

Aziz, S., Khan, A., 1996. Seed bank dynamics of a semi-arid coastal shrub community in Pakistan. *Journal of Arid Environments* 1, 81-87.

Baskin, C.C., Baskin, J.M., 1989. Seeds, ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination in: Leck, A.M., Parker, T.V., Simpson, L.R. Eds. *Ecology of soil seed banks*. New York: Academic Press, pp.53-67.

Borchert, R., 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology* 75, 1437-1449.

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

Bromn, D., 1992. Estimating the composition of a forest seed bank: a comparison of the seed extraction and seedling emergence methods. *Canadian Journal of Botany* 70, 1603-1612.

Caballero, I., Olano, J.M., Loidi, J., Escudero, A., 2003. Seed bank structure along a semi-arid gypsum gradient in central Spain. *Journal of environments* 55, 287-299.

Caballero, I., Olano, J.M., Escudero, A., Loidi, J., 2008. Seed bank spatial structure in semi-arid environments: beyond the patch-bare area dichotomy. *Plant Ecology* 195, 215-223.

Cabin, R.J., Marshall, D.C., 2000. The demographic role of soil seed banks. I. Spatial and temporal comparisons of below- and above-ground populations of the desert mustard *Lesquerella fendleri*. *Journal of Ecology* 88, 233-292.

Christoffoleti, P.J., Caetano, R.S.X., 1998. Soil seed bank. *Scientia Agricola* 55, 74-78.

Costa, R.C., Araújo, F.S., 2003. Densidade, germinação e flora do banco de sementes do solo no final da estação seca, em uma área de caatinga, Quixadá, CE. *Acta Botanica Brasilica* 17, 259-264.

Cronquist, A., 1988. An integrated system of classification of flowering plants. New York, Columbia University Press.

Fayolle, A., Violle, C., Navas, M., 2009. Differential impacts of plant interactions on herbaceous species recruitment: disentangling factors controlling emergence, survival and growth of seedlings. *Oecologia* 159, 817-825.

Facelli, J.M., Chesson, P., Barnes, N., 2005. Differences in seed biology of annual plants in arid lands: a key ingredient of the storage effect. *Ecology* 86, 2998-3006.

Garwood, N.C., 1989. Tropical soil seed banks in: Leck, M.A., Parker, T.V., Simpson. R.L.A.F., (Eds) *Ecology of soil seed banks*. New York. pp. 149-209.

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

Gasparino, D., Malavasi, U.C., Malavasi, M.M., Souza, I., 2006. Quantificação do banco de sementes sob diferentes usos do solo em área de domínio ciliar. *Revista Árvore* 30, 1-9.

Guo, Q., Rundel, P.W., Goodall, D.W., 1998. Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: patterns, causes, and implications. *Journal of Arid Environments* 38, 465–478.

Hegazy A.K., Hammouda O., Lovett-Doust J., Gomaa N.H., 2009. Variations of the germinable soil seed bank along the altitudinal gradient in the northwestern Red Sea region. *Acta Ecologica Sinica* 29, 20-29.

Jolly, W.M., Running, W., 2004. Effects of precipitation and soil water potential on drought deciduous phenology in the Kalahari. *Global change biology* 10, 303-308.

Jurena, P.N.; Archer, S. 2003. Woody plant establishment and spatial heterogeneity in grasslands. *Ecology* 84,907-919

Lima, E.M., Araújo, E.L., Ferraz, E.M.N., Sampaio, E.V.S.B., Silva, K.A., Pimentel, R.M.M., 2007. Fenologia e dinâmica de duas populações herbáceas da Caatinga. *Revista de Geografia* 24, 124-141.

López, R.P., 2003. Soil seed bank in the semi-arid Prepuna of Bolivia. *Plant Ecology* 168, 85-92.

Lucena, R.F.P., [Araújo, E.L.](#), Albuquerque, U.P., 2007. Does the Local Availability of Woody Caatinga Plants (Northeastern Brazil) Explain Their Use Value?. *Economic Botany* 61, 347-361.

Lucena R.F.P., [Nascimento, V.T.](#), [Araújo, E.L.](#), Albuquerque, U.P., 2008. Local uses of native plants in an area of caatinga vegetation (Pernambuco, NE-Brazil). *Ethnobotany Research and Applications* 6, 3-13.

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

Ma, J.Y., Ren J., Wang, G., Chen, F.H., 2006. Influence of different microhabitats and stand age on viable soil seed banks of sand-stabilising species. *South African Journal of Botany* 72, 46–50.

Machado, I.C.S., Barros, L.M., Sampaio, E.V.S.B., 1997. Phenology of Caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. *Biotropica* 29, 57-68.

Mayor, M. D., Bóo, R. M., Pelaéz, D. V., Elía, O. R., Tomás, M. A., 2007..Influence of shrub cover on germination, dormancy and viability of buried and unburied seeds of *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hackel. *Journal of Arid Environments* 68, 509-521.

McLaren, K.P., McDonald, M.A., 2003. The effects of moisture and shade on seed germination and seedling survival in a tropical dry forest in Jamaica. *Forest Ecology and Management* 183,61-75.

Ne'eman G., Izhaki, I., 2009. The effect of stand age and microhabitat on soil seed banks in Mediterranean Aleppo pine forests after fire. *Plant Ecology* 144, 115-125.

[Monteiro, J.M.](#), [Lins Neto, E.M.F.](#), Albuquerque, U.P., [Amorim, E.L.C.](#), [Araújo, E.L.](#), 2006. Use patterns and knowledge of medicinal species among two rural communities from Northeastern Brazil semi-arid region. *Journal of Ethnopharmacology* 105, 173-186.

Peters, D.P.C., 2002. Plant species dominance at a grassland-Shrubland ecotone: and individual-based gap dynamics model of herbaceous and species woody. *Ecological Modeling* 152, 5-32.

Pessoa, L.M., 2007. Variação espacial e sazonal do banco de sementes do solo em uma área de caatinga, Serra Talhada, PE. <http://www.pgb.ufrpe.br/doctos> (acessado em 27.01.11.).

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

Pugnaire, F.I., Lazaró, R., 2000. Seed bank and understory species composition in a semi-arid environment: the effect of shrub age and rainfall. *Annals of Botany* 86, 807-813.

Quevedo-Robledo, L., Pucheta, E., Ribas-Fernandéz, Y., 2010. Influences of interyear rainfall variability and microhabitat on the germinable seed bank of annual plants in a Sandy Monte Desert. *Journal of Arid Environments* 74, 167-172.

Reis, A.M.S., Araújo, E.L., Ferraz, E.M.N., Moura, A.N., 2006. Variações interanuais na florística e fitossociologia do componente herbáceo de uma área de caatinga, Pernambuco, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 29, 497-508.

Santos, D.M.; Silva, K.A.; Santos, J.M.F.F.; Lopes, C.G.R.; Pimentel, R.M.M., 2010. Araújo, E.L. Variação espaço-temporal do banco de sementes em uma área de floresta tropical seca (caatinga) – Pernambuco. *Revista de Geografia* 27, 234-253.

Seifan, M., Seifan, T., Ariza, C., Tielbörger, K., 2010. Facilitating an importance Index. *Journal of Ecology* 98, 356-361.

Selwyn, M.A., Parthasarathy, N., 2006. Reproductive traits and phenology of plants in tropical dry evergreen forest on the Coramandel Coast of India. *Biodiversity and Conservation* 15, 3207-3234.

Silva, K.A., Lima, E.M., Santos, J.M.F.F., Andrade, J.R., Santos, D.M., Sampaio, E.V.S.B., Araújo, E.L., 2008. Dinâmica de gramíneas em uma área de Caatinga de Pernambuco-Brasil, in: Moura, A.N., Araújo, E.L., Albuquerque, U.P., (Eds.) Biodiversidade, potencial econômico e processos eco-fisiológicos em ecossistemas nordestinos. V. 1. Recife: Comunigraf, p. 105-129.

Silva, K.A., 2009. Banco de sementes (Lenhosas e herbáceas) e Dinâmica de populações herbáceas em uma área de Caatinga em Pernambuco. <http://www.pgb.ufrpe.br/doctos> (acessado em 27.01.11.).

Santos, D.M. Variação espacial na dinâmica do banco de sementes em uma área de caatinga ...

Valdez-Hernández, M., Andrade, J.L., Jackson, P.C., Rebolledo-Vieyra, M., 2010. Phenology of five trees species of a tropical dry forest in Yucatan, México: effects of environmental and physiological factors. *Plant Soil* 339, 155-171.

Yu, S., Bell, D., Sternberg, M., Kutiel, P., 2008. The effect of microhabitats on vegetation and its relationships with seedlings and soil seed bank in a Mediterranean coastal sand dune community. *Journal of Arid Environments* 72, 2040-2053.

Tabela 1. Espécies de plântulas emergentes nos microhabitats Plano (P), Rochoso (R) e Ciliar (C), durante três anos de estudo, em uma área semiárida no Nordeste do Brasil.

Família/Espécie	Hábito	Ano	Microhabitat
Acanthaceae			
<i>Pseuderanthemum detrucatum</i> (Nees & Mart.) Radlk	Erva	I	C
Amaranthaceae			
<i>Gomphrena vaga</i> Mart.	Erva	I	P/R/C
		II	P/R/C
		III	P/R/C
Anacardiaceae			
<i>Myracrodruon urundeva</i> Allemão	Árvore	I	P/C
		III	P/C
Araceae			
<i>Anthurium affine</i> Schot	Erva	I	C
		III	R
Asteraceae			
<i>Bidens bipinnata</i> L.	Erva	I	P/R/C
		II	P/R/C
		III	P/R/C
<i>Delilia biflora</i> (L.) Kuntze	Erva	I	P/R/C
		II	P/R/C
		III	P/R/C
Emilia sp1	Erva	III	C
<i>Gnaphalium spicatum</i> (Forssk.) M. Vahl	Erva	III	P/R/C
Begoniaceae			
<i>Begonia reniformis</i> Dryand.	Erva	I	P/R/C
		II	P/R/C
		III	P/R/C
Boraginaceae			
<i>Heliotropium angiospermum</i> Murray	Erva	I	C
Burceraceae			
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B Gillet	Árvore	II	C
		III	P/C
Cactaceae			
Cactaceae sp1	Arbusto	I	C
		II	P/R/C
		III	P/R/C
Cactaceae sp2	Arbusto	II	C
		III	C
<i>Cereus jamacaru</i> DC			
Commelinaceae			
<i>Callisia repens</i> (Jacq.) L.	Erva	I	P/R/C
		II	P/R/C
		III	P/C
<i>Commelina obliqua</i> Vahl	Erva	I	R
		II	R/C
		III	C

Tabela 1. Continuação

Família/Espécie	Hábito	Ano	Microhabitat
Convolvulaceae			
<i>Evolvulus filipis</i> Mart.	Erva	I III	P/R/C P/C
Convolvulaceae sp1	Erva	I II	P/R P/C
Convolvulaceae sp2	Erva	I II	C C
Convolvulaceae sp3	Erva	I	C
Cyperaceae			
<i>Cyperus uncinulatus</i> Schard. ex Nees	Erva	I II III	P/R/C P/R/C C
Dioscoreaceae			
<i>Dioscorea coronata</i> Hauman	Erva	I II III	P/R/C P/R/C P/R/C
<i>Dioscorea polygonoides</i> Humb.& Bonpl. ex Willd	Erva	I II	R/C C
Euphorbiaceae			
<i>Bernardia sidoides</i> (Klotzsch) Müll. Arg.	Erva	I	C
<i>Chamaecybe hyssopifolia</i> (L.) Arthur	Erva	I	P/C
<i>Cnidoscolus urens</i> (L.) Arthur	Arbusto	I III	P P
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Arbusto	I III	P/C P/R/C
<i>Croton rhamnifolius</i> Kunth	Arbusto	I	P/R
<i>Dalechampia scandens</i> L.	Erva	I	P
<i>Euphorbia insulana</i> Vell.	Erva	III	P/R
Euphorbiaceae sp1	Erva	II III	P/R C
Fabaceae			
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb) Reis	Árvore	II	R
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Arbusto	II	P
<i>Chaetocalix longiflora</i> Benth. ex A. Gray	Erva	I	R
<i>Desmodium glabrum</i> (Mill.) DC	Erva	I II III	P/R/C P/R R/C
<i>Phaseolus peduncularis</i> W.P.C Barton	Erva	I II III	P/R/C P/R/C P/R/C
Mimosaceae			
<i>Acacia paniculata</i> Willd.	Arbusto	I II III	P/R/C P/R/C C
Mimosaceae sp1	Arbusto	III	C

Tabela 1. Continuação

Família/Espécie	Hábito	Ano	Microhabitat
Lythraceae			
<i>Cuphea prunellaefolia</i> A. St. Hill	Erva	III	C
Malvaceae			
<i>Corchorus hirtus</i> L.	Erva	I	P/R
<i>Herissantia tiubae</i> (K. Schum.) Brizicky	Erva	III	P/R/C
<i>Physaloides stoloniferum</i> (Salzm.) H.C. Monteiro	Erva	I	P/R
<i>Pseudabutilom spicatum</i> (Kunth.) R.E.Fr	Erva	I	P/R
		II	P/R
		III	P
Malvaceae sp1	Erva	I	P
		II	C
Malvaceae sp2	Erva	I	P/R/C
Malvaceae sp3	Erva	I	P/R
Molluginaceae			
<i>Mollugo verticilata</i> L.	Erva	II	C
		III	C
Moraceae			
<i>Dorstenia asaroides</i> Hook	Erva	I	C
Orchidaceae			
<i>Oeceoclades maculata</i> (Lindl.) Lindl.	Erva	I	C
		III	C
Oxalidaceae			
<i>Oxalis euphorbioides</i> A. St. Hill	Erva	I	C
Phyllantaceae			
<i>Phyllanthus</i> sp1	Erva	I	P/R
Poaceae			
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	Erva	I	C
		II	C
<i>Enteropogon mollis</i> (Ness) Clayton	Erva	I	P/R
<i>Panicum maximum</i> Jack.	Erva	I	C
<i>Panicum trichoides</i> Swart	Erva	I	P/R/C
		II	P/R/C
		III	P/R/C
<i>Panicum venezuelae</i> Hack.	Erva	I	P/R/C
		II	P/R/C
		III	P/C
Poaceae sp1	Erva	I	P/R/C
		II	C
		III	P/R/C
Poaceae sp2	Erva	I	P
		II	C
Poaceae sp3	Erva	III	C
Polygalaceae			
<i>Polygala paniculata</i> L.	Erva	III	C
Portulacaceae			
<i>Talinum triangulare</i> (Jacq.) Will	Erva	I	P/R/C

Tabela 1. Continuação

Família/Espécie	Hábito	Ano	Microhabitat
Portulacaceae			
<i>Tallinum triangulare</i> (Jacq.). Will	Erva	II III	P/R/C P/R/C
<i>Talinum paniculatum</i> Gardner	Erva	I II	R P/R
Portulaca sp1	Erva	I II III	C C C
Portulaca sp2	Erva	I	C
Rhamanaceae			
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Árvore	III	C
Rubiaceae			
Rubiaceae sp1	Erva	I II III	P/R/C C C
Selaginaceae			
<i>Selaginella sulcata</i> (Desv.). Spring	Erva	III	C
Solanaceae			
Solanaceae sp1	Erva	III	C
Urticaceae			
<i>Pilea hyalina</i> Fenzel	Erva	I II III	P/R/C P/R/C P/R/C
Verbenaceae			
<i>Lippia americana</i> L.	Arbusto	III	P
Vitaceae			
Cissus sp1	Erva	II	C
Morfoespécie 1		I II	R C
Morfoespécie 2		I	C
Morfoespécie 3		I	C
Morfoespécie 4		I II	P/C R/C
Morfoespécie 5		I II	P/R C
Morfoespécie 6		II	C
Morfoespécie 7		II	C
Morfoespécie 8		I	P/R/C

Tabela 2. Sumário da tabela da ANOVA TWO-WAY para o efeito do ano de estudo e dos microhabitats na riqueza de espécies e emergência de plântulas em uma área semiárida do Nordeste do Brasil.

	RIQUEZA MÉDIA DE ESPÉCIES				EMERGÊNCIA MÉDIA DE PLÂNTULAS			
	<i>df</i>	MS	F	P	<i>df</i>	MS	F	P
Ano de estudo	2	4,1376	217,28	<0,01	2	10,9597	114,23	<0,01
Microhabitats	2	0,5138	26,98	<0,01	2	2,3655	24,65	<0,01
Ano de estudo* Microhabitats	4	0,2188	11,49	<0,01	4	0,3635	3,79	<0,01
Erro	306	0,0190			306	0,0959		

ANO	Microhabitat	Média±Desvio padrão	Microhabitat	Média±Desvio padrão
I	Plano	7,89 ± 2,58	Plano	22,75± 21,26
I	Rochoso	6,67 ± 2,63	Rochoso	55,86± 75,03
I	Ciliar	6,50 ± 1,57	Ciliar	21,52± 16,69
II	Plano	3,24 ± 1,14	Plano	5,25± 4,45
II	Rochoso	2,00 ± 1,20	Rochoso	10,00± 9,52
II	Ciliar	3,84 ± 1,03	Ciliar	10,78± 7,58
III	Plano	1,97 ± 0,91	Plano	3,85± 5,06
III	Rochoso	2,00 ± 0,84	Rochoso	14,37± 24,69
III	Ciliar	3,56 ± 1,58	Ciliar	7,72± 6,01

Tabela 3. Sumário da Regressão linear múltipla com stepwise para a influência da precipitação e microhabitats na riqueza de espécies e emergência de plântulas do banco de semente do solo em uma área semiárida do Nordeste do Brasil.

Fontes de Variação	Emergência de plântulas				Riqueza de espécies			
	GL	F	R ²	p	GL	F	R ²	p
Regressão	2	89,99	0,36	<0,01	2	197,6	0,55	<0,01
Erro	312				312			
Total	314				314			
Stepwise			R ²	p	R ²			p
Precipitação*			0,36	0	0,55			<0,01
Microhabitats			0,31	0	0,07			0
Precipitação			0,05	0	0,48			0

Tabela 4. Emergência de plântulas e riqueza de espécies sob diferentes microhabitats, em ambientes secos do mundo e da caatinga no Brasil

LOCAL	MICROHABITAT	DENSIDADE (SEM.M⁻²)	RIQUEZA	REFERÊNCIA
Deserto de Tengger/China	Base, depressão e topo de duna	5 a 55	20	Ma et al. (2006)
Israel	Manchas arbustivas, clareiras e trilhas perturbadas por visitantes	10 a 500	54	Yu et al. (2008)
Noroeste do Rio Vermelho/ Israel	Base, depressão e topo de duna	100 a 850	66	Hegazy et al. (2009)
Mt. Carmel/ Israel	Manchas arbustivas, arbóreas e clareiras	300 a 1300	27	Ne'eman e Izhaki (2009)
Almería/ Espanha	Manchas arbustivas e clareiras	21.000	86	Pugnaire e Lazaró (2000)
Espartina/ Espanha	Base, depressão e topo de duna	11.169 a 22.537	68	Caballero et al. (2003)
Chincón/Espanha	Manchas arbustivas e solo descoberto	5.070 a 25.063	38	Caballero et al. (2008)
Desertos da América do Norte	Manchas arbustivas e clareira	400 a 33.000	23 a 42	Guo et al.(1998)
Novo México/USA	Manchas arbustivas e clareiras	169 a 2400	13	Cabin e Marshall (2000)
San Juan/ Argentina	Manchas arbustivas e clareiras	295 a 608	15	Quevedo-Robledo et al. (2009)
Caatinga, Brasil				
Serra Talhada/ PE	Sulcos e entressulcos	1.369 a 5.727	42	Pessoa (2007)
Caruaru/PE	Plano, Rochoso e Ciliar	291	33	Santos et al. (2010)
Caruaru/PE	Plano, Rochoso e Ciliar	3,85 a 55,86	79	Este estudo

Figura 1. Visão esquemática da coleta do banco de sementes do solo (parcelas de 20x20x5 cm) no entorno das parcelas fixas de 1x1 m em uma região semiárida no Nordeste do Brasil.

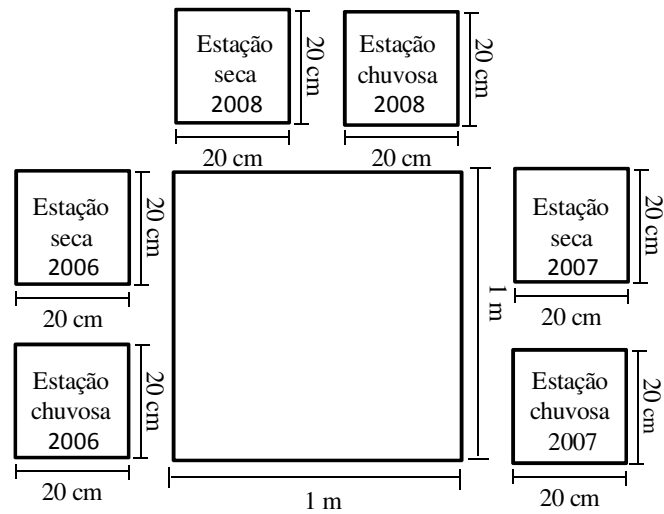


Figura 2. Diferenças na riqueza média de espécies no banco de sementes por m² entre três anos consecutivos (precipitações anuais) e entre microhabitats em uma área semiárida do Nordeste do Brasil. Letras maiúsculas diferentes entre anos em um mesmo microhabitat indicam diferenças na riqueza de espécie pelo teste a *Posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade. Letras minúsculas diferentes entre microhabitats num mesmo ano indicam diferenças na riqueza de espécie pelo teste a *Posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade.

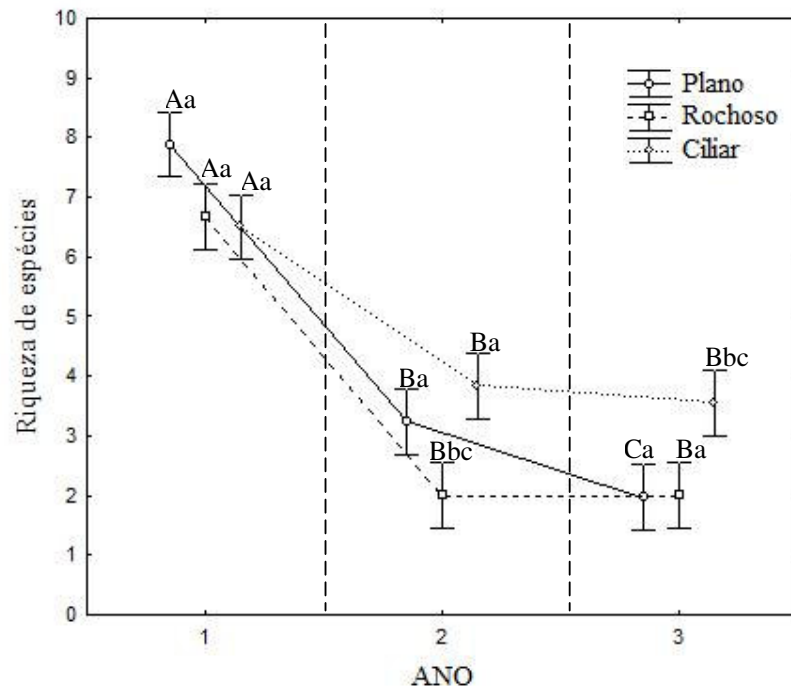
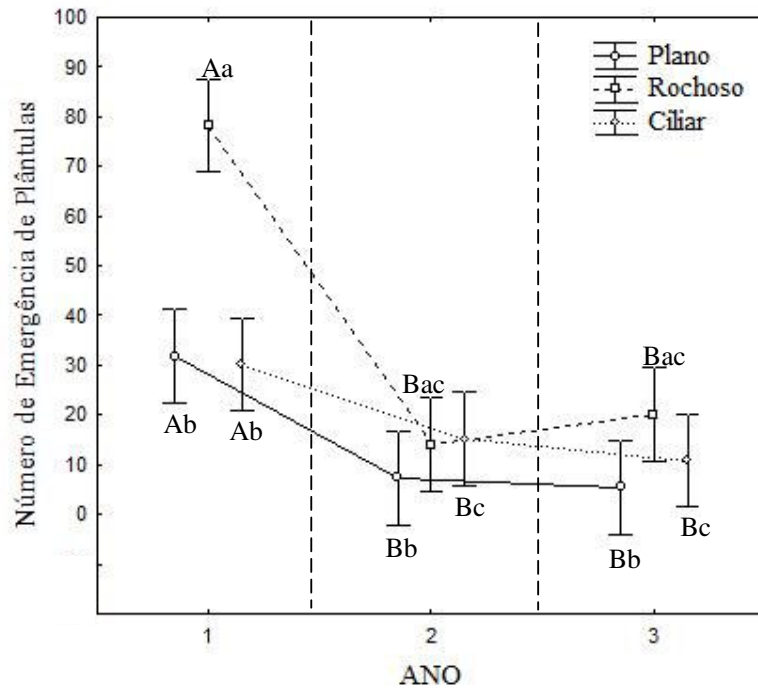


Figura 3. Diferenças na emergência média de plântulas (densidade de sementes) do banco de sementes entre três anos consecutivos (precipitações anuais) e entre microhabitats em uma área semiárida do Nordeste do Brasil. Letras maiúsculas diferentes entre anos em um mesmo microhabitat indicam diferenças na emergência média de plântulas pelo teste a *Posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade. Letras minúsculas diferentes entre microhabitats num mesmo ano indicam diferenças na emergência média de plântulas pelo teste a *Posteriori* de Tukey, a 5% de probabilidade.



ANEXOS

The Journal of Arid Environments is an international journal publishing original scientific and technical research articles on physical, biological and anthropological aspects of arid, semi-arid, and desert environments. As a forum of multi-disciplinary and interdisciplinary dialogue it addresses research on all aspects of arid environments and their past, present and future use.

Research Areas include:

- Climate and Climate Change
- Hydrological processes and systems (i.e.. vadose, surface, environmental aspects, etc)
- Geomorphological processes and systems (Aeolian, fluvial, slope and weathering)
- Soils (physical and biological aspects)
- Biological Sciences (basic and applied)
- Anthropology and human ecology (archaeology, sociology, ethnobotany, etc)
- Land use (agronomy, grazing, mining, tourism, etc)
- Conservation (theory, policy, economics)
- Land degradation (desertification) and rehabilitation
- Techniques for monitoring and management

Guide for Authors

The Journal of Arid Environments will publish papers in the areas described in its aims and scopes containing the results of original work and review articles within the general field described by its title. It will be wide in scope, and will include physiological, ecological, anthropological, geological and geographical studies related to arid (including all dryland types) environments. Contributions should have different results and not be numbered serially. Reviews of relevant books will also be printed.

Types of paper

Research Articles: reporting original and previously unpublished work. Research papers have a reference limit of 50 cites

Short Communications: These are concise, but complete descriptions of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Examples include descriptive research on seed-germination conditions, plant responses to salinity, animal feeding habits, etc. Short communications have a reference limit of 20 cites

Short communications should not exceed 2400 words (six printed pages), excluding references and legends. Submissions should include a short abstract not exceeding 10% of the length of the communication and which summarizes briefly the main findings of the work to be reported. The bulk of the text should be in a continuous form that does not require numbered sections such as Introduction, Materials and methods, Results and Discussion. However, a Cover page, Abstract and a list of Keywords are required at the beginning of the communication and Acknowledgements and References at the end. These components are to be prepared in the same format as used for full-length research papers. Occasionally authors may use sub-titles of their own choice to highlight sections of the text. The overall number of tables and figures should be limited to a maximum of three (i.e. two figures and one table).

Review Articles: Critical evaluation of existing data, defined topics or emerging fields of investigation, critical issues of public concern, sometimes including the historical development of topics. Those wishing to prepare a review should first consult the

Editors or Associate Editors concerning acceptability of topic and length.

Think Notes: Short, one page notes describing new developments, new ideas, comments on a controversial subject, or comments on recent conferences will also be considered for publication.

Letter to the Editor: A written discussion of papers published in the journal. Letters are accepted on the basis of new insights on the particular topic, relevance to the published paper and timeliness.

Contact details for submission

Authors may send queries concerning the submission process, manuscript status, or journal procedures to the Editorial Office at [✉ jae@elsevier.com](mailto:jae@elsevier.com).



Before You Begin

Ethics in Publishing

For information on Ethics in Publishing and Ethical guidelines for journal publication see [✉ http://www.elsevier.com/publishingethics](http://www.elsevier.com/publishingethics) and [✉ http://www.elsevier.com/ethicalguidelines](http://www.elsevier.com/ethicalguidelines).

Policy and ethics

The work described in your article must have been carried out in accordance with *The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans* [✉ http://www.wma.net/e/policy/b3.htm](http://www.wma.net/e/policy/b3.htm); *EC Directive 86/609/EEC for animal experiments* [✉ http://ec.europa.eu/environment/chemicals/lab_animals/legislation_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/lab_animals/legislation_en.htm); *Uniform Requirements for manuscripts submitted to Biomedical journals* [✉ http://www.icmje.org](http://www.icmje.org). This must be stated at an appropriate point in the article.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also [✉ http://www.elsevier.com/conflictsofinterest](http://www.elsevier.com/conflictsofinterest).

Submission declaration

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere including electronically in the same form, in English or in any other language, without the written consent of the copyright-holder.

Contributors

Each author is required to declare his or her individual contribution to the article: all authors must have materially participated in the research and/or article preparation, so roles for all authors should be described. The statement that all authors have approved the final article should be true and included in the disclosure.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright see <http://www.elsevier.com/copyright>). Acceptance of the agreement will ensure the widest possible dissemination of information. An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement. Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

Retained author rights

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights; for details you are referred to: <http://www.elsevier.com/authorsrights>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the paper for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated. Please see <http://www.elsevier.com/funding>.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Language and language services

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a

mixture of these). Authors who require information about language editing and copyediting services pre- and post-submission please visit

☞ <http://www.elsevier.com/languageediting> or our customer support site at <http://support.elsevier.com> for more information.

Submission

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts source files to a single PDF file of the article, which is used in the peer-review process. Please note that even though manuscript source files are converted to PDF files at submission for the review process, these source files are needed for further processing after acceptance. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, takes place by e-mail removing the need for a paper trail.

Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of 3 potential referees. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.



Preparation

Use of wordprocessing software

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. Do not embed "graphically designed" equations or tables, but prepare these using the wordprocessor's facility. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier:

☞ <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Do not import the figures into the text file but, instead, indicate their approximate locations directly in the electronic text and on the manuscript. See also the section on Electronic illustrations.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the "spell-check" and "grammar-check" functions of your wordprocessor.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to "the text". Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- ***Title.*** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- ***Author names and affiliations.*** Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name, and, if available, the e-mail address of each author.
- ***Corresponding author.*** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that telephone and fax numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address.**
- ***Present/permanent address.*** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a "Present address" (or "Permanent address") may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the paper in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the paper. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission

system. Maximum image size: 400 × 600 pixels (h × w, recommended size 200 × 500 pixels). Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Research highlights

Research highlights are a short collection of bullet points that convey the core findings of the article. Research highlights are optional and should be submitted in a separate file in the online submission system. Please use 'Research highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters per bullet point including spaces). See <http://www.elsevier.com/researchhighlights> for examples.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, "and", "of"). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Plant names

Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the *International Code of Botanical Nomenclature*.

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Save text in illustrations as "graphics" or enclose the font.
- Only use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times, Symbol.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Produce images near to the desired size of the printed version.
- Submit each figure as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

☞ <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalised, please "save as" or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS: Vector drawings. Embed the font or save the text as "graphics".

TIFF: color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF: Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF: Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

DOC, XLS or PPT: If your electronic artwork is created in any of these Microsoft Office applications please supply "as is".

Please do not:

- Supply embedded graphics in your wordprocessor (spreadsheet, presentation) document;
- Supply files that are optimised for screen use (like GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Non-electronic artwork

Provide all illustrations as high-quality printouts, suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Number illustrations consecutively in the order in which they are referred to in the text. They should accompany the manuscript, but should not be included within the text. Clearly mark all illustrations on the back (or - in case of line drawings - on the lower front side) with the figure number and the author's name and, in cases of ambiguity, the correct orientation.

Mark the appropriate position of a figure in the article.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF, EPS or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless

of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to "gray scale" (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either "Unpublished results" or "Personal communication" Citation of a reference as "in press" implies that the item has been accepted for publication.

Regular research papers have a reference limit of 50 cites and short communications should not exceed 20 cites.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author*: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors*: both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors*: first author's name followed by "et al." and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: "as demonstrated (Allan, 1996a, 1996b, 1999; Allan and Jones, 1995).

Kramer et al. (2000) have recently shown"

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters "a", "b", "c", etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2000. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 1979. *The Elements of Style*, third ed. Macmillan, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 1999. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a maximum size of 10 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect:

↳ <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at
 □ <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound

clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Submission checklist

It is hoped that this list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal's Editor for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One Author designated as corresponding Author:

- E-mail address
- Full postal address
- Telephone and fax numbers

All necessary files have been uploaded

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been "spellchecked" and "grammar-checked"
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black and white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at

<http://support.elsevier.com>.



After Acceptance

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. The correct format for citing a DOI is shown as follows (example taken from a document in the journal *Physics Letters B*):

doi:10.1016/j.physletb.2003.10.071

When you use the DOI to create URL hyperlinks to documents on the web, they are guaranteed never to change.

Proofs

One set of page proofs (as PDF files) will be sent by e-mail to the corresponding author (if we do not have an e-mail address then paper proofs will be sent by post) or, a link will be provided in the e-mail so that authors can download the files themselves.

Elsevier now provides authors with PDF proofs which can be annotated; for this you will need to download Adobe Reader version 7 (or higher) available free from <http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>. Instructions on how to annotate PDF files will accompany the proofs (also given online). The exact system requirements are given at the Adobe site:

<http://www.adobe.com/products/acrobat/acrrsystemreqs.html#70win>.

If you do not wish to use the PDF annotations function, you may list the corrections (including replies to the Query Form) and return them to Elsevier in an e-mail. Please list your corrections quoting line number. If, for any reason, this is not possible, then mark the corrections and any other comments (including replies to the Query Form) on a printout of your proof and return by fax, or scan the pages and e-mail, or by post. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Therefore, it is important to ensure that all of your corrections are sent back to us in one communication: please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. The PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use.



Author Inquiries

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission where available) please visit this journal's homepage. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle> and set up e-mail alerts to inform you of when an article's status has changed. Also accessible from here is information on copyright, frequently asked questions and more. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher.