

são de fácil acesso e baixo custo. Eles proporcionam um controle eficaz da vegetação, degradam-se rapidamente no solo e tem baixa toxicidade em mamíferos (Giesy *et al.*, 2000; Williams *et al.*, 2000). A aplicação do herbicida tem mais sucesso quando feita durante, ou logo após, a floração dessa espécie (Bell, 1997). Aplicações posteriores, por até cinco anos, são geralmente necessárias para a erradicação (Guthrie, 2007). Os três principais métodos de aplicação de herbicidas são: pulverização foliar (pulverização do herbicida em folhas e caules sem corte), corte-e-spray (pulverização ou pintura do herbicida diretamente na superfície da haste cortada), e corte-rebrota-spray (corte das hastes permitindo rebrota, e pulverização com o herbicida nessas). Os riscos ecológicos do uso de glifosato são pequenos, especialmente quando comparados com os danos por ervas daninhas e plantas invasoras (Monheit, 2003).

Considerando que os fragmentos de rizoma deixados no solo rebrotam, o controle mecânico é eficaz somente se toda a massa do rizoma for removida, o que é quase impossível (Boose e Holt, 1999; Bromilow, 2001). Os três tipos principais de controle mecânico são a remoção física (utilizando ferramentas manuais ou equipamentos pesados), solarização do solo (que cobre hastes cortadas com lonas de plástico), e a queima prescrita ou pastagem. A solarização (Katan *et al.* 1987), também referido como *tarping*, envolve a colocação de uma tampa ou uma lona (folhas de plástico normalmente transparente ou preta) sobre a superfície do solo. Em teoria, o plástico provoca um aumento na temperatura do solo, matando as plantas, sementes, agentes patogênicos e insetos abaixo da lona (Tu *et al.*, 2001). A escuridão abaixo do plástico preto ainda impede a fotossíntese (Elmore, 1990). É uma técnica cara quando utilizada em grandes extensões de *Arundo donax*, e pode levar à erosão do solo após a remoção da lona.

A queima prescrita não é a mais bem sucedida das técnicas de controle físico, uma vez que os rizomas germinam logo após a queima, e pode até promover rebrota de *Arundo donax*

(EUA, 1993). A pastagem envolve treinamento de cabras ou gado para pastar apenas em *Arundo donax*. Essa espécie não é palatável para o gado (Wynd *et al.*, 1948), mas as cabras das raças Angora e espanhola são potenciais controles (Daar, 1983).

O controle mecânico geralmente resulta em alguma perturbação do solo, bem como pilhas indesejadas de biomassa. A biomassa é cara para remover e descartar, e deixando-a no local pode representar riscos de incêndio ou inundação, além de impedir a revegetação por espécies nativas, podendo ser quebrada ou cortada. Picadores de alta potência funcionam bem, mesmo em hastas verdes. O material é finamente cortado e apenas uma pequena quantidade de rebrota ocorre a partir de peças de maiores dimensões. A roçada é realizada utilizando um acessório de corte sobre um trator. É geralmente mais adequada para áreas mais densas, mas talhões velhos podem ser difíceis de manobrar. Sua limitação é relacionada a questões de terreno e ruído (Guthrie, 2007).

Cummins (1971) e Tracy e DeLoach (1999) listaram 48 espécies como potenciais controles biológicos para *Arundo donax*. Especificamente, há o besouro verde *Schizaphiz graminum* (Zuniga *et al.*, 1983) na África e/ou Eurásia, as lagartas *Phoethedes dulcis* na França e *Zyginidia guyumi* no Paquistão (Ahmed *et al.*, 1977), e uma mariposa *Diatraea saccharalis* em Barbados (Tracy e DeLoach, 1999). A vespa *Tetramesa romana* está sendo monitorada na Califórnia (Guthrie, 2007).



### Capítulo III

#### **Levantamento e mapeamento dos locais de ocorrência de *Arundo donax* L (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal**

As espécies invasoras estão causando danos inigualáveis aos ecossistemas, bem como um enorme custo econômico. Pimentel *et al.* (2000) estimaram que o número total de espécies introduzidas nos Estados Unidos, Reino Unido, Austrália, África do Sul, Índia, Brasil varia entorno de 2000 a 50.000 espécies. Dado o número de espécies que invadiram estas seis nações estudadas por esses autores, os mesmos estimaram-se que 480.000 espécies exóticas foram introduzidas nos mais variados ecossistemas da Terra. A extensão global e o rápido aumento das espécies invasoras causa a homogeneização da flora e fauna do mundo (Mooney e Hobbs, 2000) e é reconhecido como a principal causa de perda mundial da biodiversidade (Czech e Krausman, 1997; Wilcove e Chen, 1998). As espécies invasoras ameaçam o funcionamento ecológico, incluindo mudanças no regime de fogo, hidrologia, armazenamento de carbono, e dinâmica de nutrientes (Pimentel *et al.*, 2000). Depois da perda de habitat, devido à mudança de uso da terra, a invasão biológica é um dos principais contribuintes à perda local e global da biodiversidade, causando a extinção através da competição, hibridização, predação e alteração do habitat (D'Antonio, 1997). Esse fenômeno é generalizado, tem efeitos de longo alcance e pode ser considerado um importante componente de mudança global (Vitousek *et al.*, 1996). Um requisito fundamental para a gestão eficaz das espécies invasoras é a capacidade de delinear tanto a extensão espacial e quanto a gravidade da infestação (Ustin *et al.*, 2002).

Dessa forma, o requisito chave para o efetivo manejo de plantas invasoras é a habilidade de identificar, mapear e monitorar as invasões (DiPietro, 2000). A tecnologia de sensoriamento remoto tem recebido considerável interesse do campo de estudo da invasão

biológica nos últimos anos. É uma ferramenta que oferece vantagens bem documentadas, incluindo uma visão sinóptica, dados multiespectrais, cobertura multitemporal e uma boa relação custo/benefício (Soule e Kohm, 1989; Stoms e Estes, 1993; Van der Meer *et al.*, 2002). Hoje, é uma técnica amplamente aplicada na coleta e processamento de dados. Provou-se ser uma abordagem prática capaz de estudar complexos tipos de terreno geográficos, além de uma diversidade de ecossistemas. Ela fornece uma grande variedade de sistemas de sensores incluindo fotografias aéreas, sensores aéreos multiespectrais, imagens de satélite de baixa e alta resolução espacial e espectral, e medições terrestres baseadas em espectros (Joshi *et al.*, 2004).

A tecnologia de sensoriamento remoto tem muitos atributos que seriam úteis para detectar, mapear e monitorar espécies invasoras. A heterogeneidade espacial complica o estudo da sazonalidade e tendências de longo prazo do processo de invasão biológica. No entanto, sensoriamento remoto, com sua visão ampla, tem o potencial de oferecer informações relevantes sobre esse processo. A natureza multidata das imagens de satélite permite o monitoramento da dinâmica da paisagem e, portanto, proporciona um meio para detectar as mudanças de cobertura de terra e quantificar essas taxas de variação (Joshi *et al.*, 2004). Por esses motivos, a integração do Sistema de Informações Geográficas (SIG) com o sensoriamento remoto já foi aplicada com sucesso para mapear a distribuição de várias espécies de plantas e animais, seus ecossistemas, paisagens, condições bioclimáticas e factores que possibilitam o processo de invasão (Stow *et al.*, 1989; McCormick, 1999; Rowlinson *et al.*, 1999; Haltuch *et al.*, 2000; Stow *et al.*, 2000; Los *et al.*, 2002;).

O mapeamento de populações de plantas invasoras é fundamental para a gestão e monitoramento estratégico. É também essencial para a detecção precoce eficaz. Saber onde uma planta cresce atualmente é a base para saber onde pesquisar novas ocorrências (Cal-IPC,

2011). Por isso, a importância de se monitorar a localização de *Arundo donax* no Distrito Federal, Brasil.

Segundo Underwood e Ustin (2012), a utilização do sensoriamento remoto para identificar espécies de plantas invasoras requer algumas atenções a determinados pontos. Primeiro, o custo de dados, bem como o software e hardware necessários para os trabalhos são altos, particularmente para as formas mais recentes de imagens de alta resolução espacial e espectral, embora a tendência geral é para diminuição dos custos de imagens (Turner, *et al.* 2003). Em segundo lugar, o conhecimento técnico necessário para processar fotografias aéreas (interpretação de especialistas) de imagens hiperespectrais (processamento de imagem) é alto, e as técnicas de processamento para dados hiperespectrais ainda estão na fase de pesquisa e desenvolvimento. Terceiro, a capacidade de detectar espécies invasoras e a precisão com que a detecção pode ser conseguida varia entre os ecossistemas, por exemplo, a identificação de plantas invasoras, em sistemas de água doce é um desafio em comparação com os sistemas terrestres, pois espécies submersas são difíceis de distinguir da água quando presentes em baixa densidade, além disso, a turbidez da água a partir de sedimentos e/ou algas podem mascarar detecção (Underwood, *et al.* 2006). Aqui no Distrito Federal, a alta diversidade de gramíneas que ocorrem junto com *Arundo donax*, dificulta a separação automatizada da espécie pelos softwares de geoprocessamento, diferentemente do que ocorre nos Estados Unidos, onde alguns estudos já conseguiram separar essa espécie de outras vegetações por técnicas automatizadas (DiPietro, 2000; Ustin *et al.*, 2002; Cal-IPC, 2011; Yang *et al.*, 2012). Estudos estão sendo realizados no Distrito Federal para adaptação de algumas dessas técnicas automatizadas as realidades encontradas aqui no Cerrado. Porém, enquanto técnicas de sensoriamento remoto permite uma maior eficiência, eles nunca podem substituir completamente os trabalhos de campo. Os melhores resultados ocorrem geralmente

quando os dois dados: de campo e imagens de laboratório são usadas em conjunto. Os dados de campo fornecem informações para classificar e validar as classificações de imagem.

Esses mapeamentos manuais no campo ou por meio de fotos aéreas são técnicas comumente utilizadas nos esforços de erradicação e mapeamento de plantas invasoras, mas estes métodos são de trabalho intensivo e limitado, porém úteis para pequenas áreas e com a utilização de pessoal treinado (Di Pietro, 2000). E devido os objetivos dessa dissertação e as característica da área estuda, essas duas técnicas foram utilizadas nesse estudo.

### **3.1. Material e Métodos.**

A identificação e mapeamento das populações da espécie *Arundo donax* presentes no Distrito Federal foram feitas durante o período de março de 2010 a outubro de 2012, dando ênfase no entorno de Unidades de Conservação presentes no Distrito Federal. Para isso foram combinados trabalhos de campo, utilizando o sistema de posicionamento global (GPS), e de laboratório, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Durante o período listado, as vias principais e secundárias do Distrito Federal foram percorridas de carro e todos os pontos de ocorrência de *Arundo donax* foram georreferenciados com o auxílio de um GPS (Modelo Garmin – eTrex®). Para o georreferenciamento utilizou-se coordenadas em grau decimal (UTM), datum SAD 69 e o locais de ocorrência da espécie localizaram-se nas zonas 23 e 22L. Após o georreferenciamento todos os pontos foram listados em uma planilha do Microsoft Excel® para sua posterior utilização no ArcGIS®, que é um pacote de softwares da ESRI (Environmental Systems Research Institute) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas.

Com a utilização do ArcGis foram elaborados mapas com os locais de ocorrência de populações de *Arundo donax*, e utilizou-se para isso a base de dados da Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal (TERRACAP), do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e do Laboratório de Sistemas Espaciais da Universidade de Brasília (LSIE – UnB). Foram utilizadas imagens de fotografia aérea. E, como os pontos presentes na zona 22L estavam a menos de 50Km da zona 23L inseriu-se todos na zona 23L sem problemas de distorção na imagem gerada.

A metodologia utilizada de georreferenciamento através da utilização de carro e GPS é facilmente aplicada, porém deve-se levar em consideração o tamanho da área a ser amostrada e as vias a serem percorridas. Com relação às vias que foram percorridas, optou-se pelas vias principais, secundárias e principalmente por aquelas que circundavam unidades de conservação presentes no Distrito Federal. Ressaltando que zonas rurais também foram amostradas. Já a utilização da ferramenta de sensoriamento remoto é totalmente viável e importante para a confecção de mapas de localização da espécie, assim como para monitoramentos futuros da mesma, para isso é necessário laboratório de geoprocessamento e pessoal treinado.

### **3.2. Resultados e Discussão.**

Com relação aos mapas de distribuição da espécie *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil, tem-se as seguintes considerações. A maior concentração da espécie está localizada na região central do Distrito Federal, distribuída nas áreas da Universidade de Brasília, nos bairros do Lago Norte e Sul, ao longo das rodovias L4, LE, EPIA, EPTG e Estrutural, no Setor Policial Sul, e nas mediações do Aeroporto Internacional de Brasília (Figura 11).

## DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

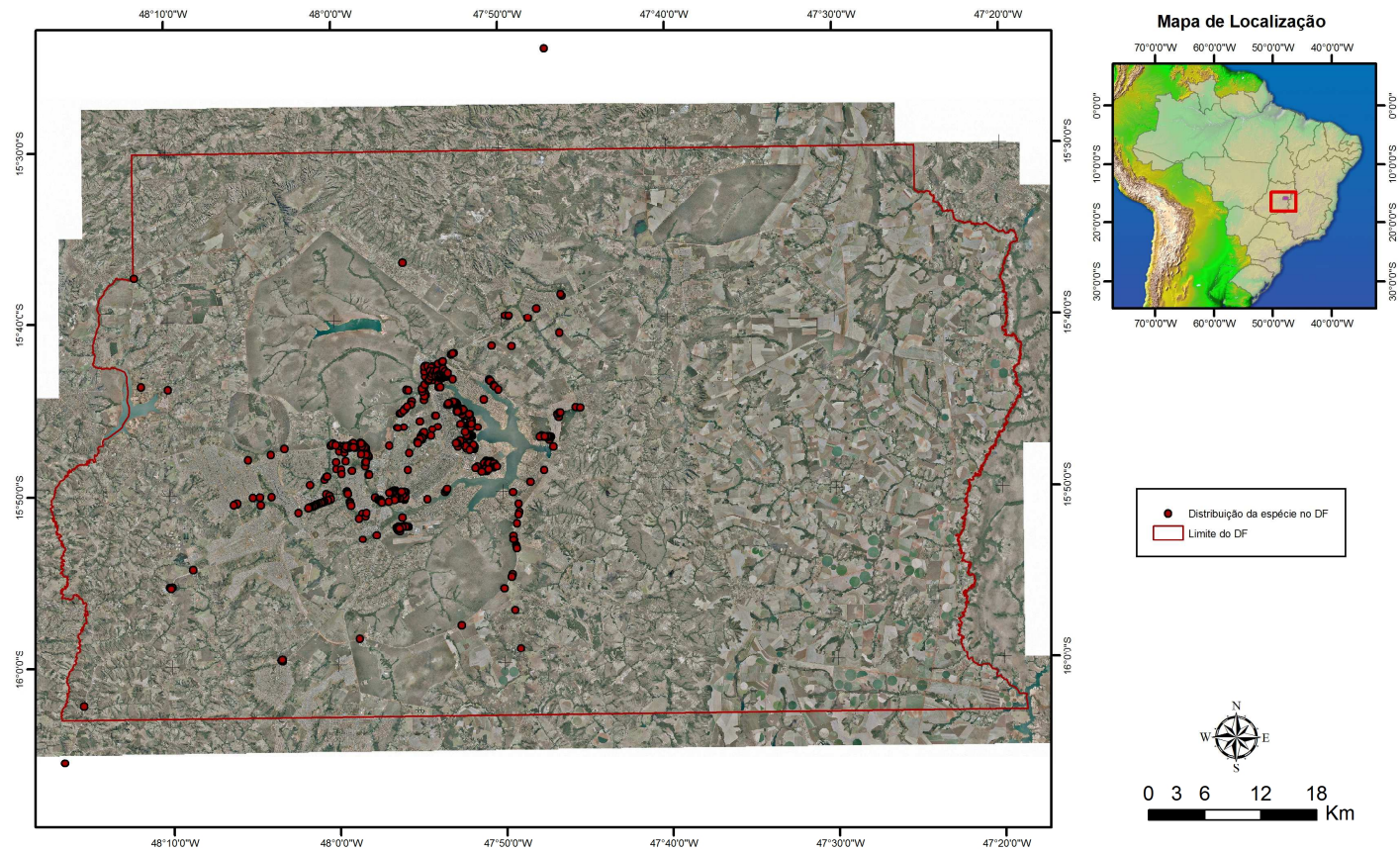


Figura 11. Mapa de distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.



Observa-se, então, que na medida em que se afasta a região urbana central do Distrito Federal, diminui a ocorrência dessa espécie invasora e que é constante a presença dessa planta no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.

A presença dessa espécie está relacionada a áreas antropizadas, tais como: rodovias, aterros, depósitos de entulhos e locais em obras. Uma hipótese para isso é que como essa espécie se reproduz vegetativamente ao serem utilizadas máquinas em locais com a presença das mesmas, essas máquinas podem estar levando material vegetativo e propagando a espécie em diferentes locais. Além disso, ela também estaria sendo levada junto com materiais que são indiscriminadamente descartados no Distrito Federal, seja solo retirado de construções, assim como os próprios resíduos da construção civil e lixo urbano (Figura 12).



Figura 12. Imagem da área do Pró-DF no Gama, Distrito Federal, mostrando a deposição de solo retirado de algum lugar e vários indivíduos de *Arundo donax* nele. Data das imagens: maio de 2011.



Outra forma de disseminação da planta é a roçagem mecânica das mesmas, o que tem sido feito constantemente pelo Governo do Distrito Federal (GDF). Ao se roçar áreas com a presença dessa planta o que ocorre é um aumento no número de indivíduos no local, pois os colmos cortados e os rizomas irão originar novas plantas (Figura 13).



Figura 13. Imagem de uma população de *Arundo donax* posteriormente a uma roçagem mecânica em uma área localizada ao lado do Aeroporto de Brasília, Distrito Federal. (a) e (b) mostram a emergência de novos indivíduos através dos rizomas localizados no solo (Data das imagens: abril de 2012); (c) e (d) mostram novos indivíduos advindos da biomassa e rizomas expostos deixados no local após a roçagem (Data das imagens: maio de 2012).

Uma vez presente em um determinado local, *Arundo donax* cresce e se difunde lateralmente. A propagação lateral ocorre principalmente através do crescimento lateral do rizoma e brotação, (Figura 14) formando novos colmos ou indivíduos na colônia assexuada. (Decruyenaere e Holt, 2005). Além disso, o colmo de *Arundo donax* pode quebrar/curvar,



tocar a superfície do solo e, se as condições são favoráveis (água e/ou sedimentos cobrindo um nó) um novo broto pode se formar, desenvolvendo novo colmo ou indivíduo (Boland 2006).



Figura 14. Imagem de *Arundo donax* brotando do solo a partir do crescimento lateral dos rizomas. Data das imagens: março de 2011.

Considerando que os fragmentos de rizoma deixados no solo rebrotam, o controle mecânico é eficaz somente se toda a massa do rizoma for removida, o que é quase impossível (Boose e Holt, 1999; Bromilow, 2001). Assim, ao se utilizar dessa técnica o GDF ao invés de auxiliar no combate e erradicação das plantas, está na verdade auxiliando e favorecendo a sua disseminação.

Quando se analisa a presença da espécie nas proximidades das principais Unidades de Conservação (UC) do Distrito Federal, observa-se uma grande quantidade da mesma próxima ao Parque Nacional de Brasília (Figura 15 e 16), ressaltando que existe uma ocorrência da mesma dentro dessa UC, na área da cascalheira próxima ao centro de visitantes (Martins, *et. al.* 2007). Tal levantamento é importante para possíveis tomadas de decisões pelos órgãos governamentais brasileiros, tanto para o manejo dessa espécie como forma de evitar a sua

entrada de novos indivíduos dessa espécie nessa UC, assim como para diminuir e/ou evitar a propagação da mesma.

Ressalta-se que todas as áreas agrícolas do DF foram percorridas, tanto em pista pavimentada, quanto em estrada de chão, e essa espécie não foi encontrada nessas regiões, com exceção de pontos localizados na pista de acesso a Região Administrativa de Brazlândia, que possui algumas áreas rurais em sua extensão.

Um ponto importante é que nas proximidades do Parque Nacional de Brasília, na região do Torto, Lago Norte, EPIA Norte e Noroeste existem diversas áreas com a presença de entulho, ou locais de bota fora da construção civil (Figura 17 e 18). Nesses locais está ocorrendo uma grande proliferação de *Arundo donax*, devido à forma inadequada de deposição desses materiais que acabam levando fragmentos dessa espécie, que encontra nesses locais boas condições para crescimento e proliferação.

## DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

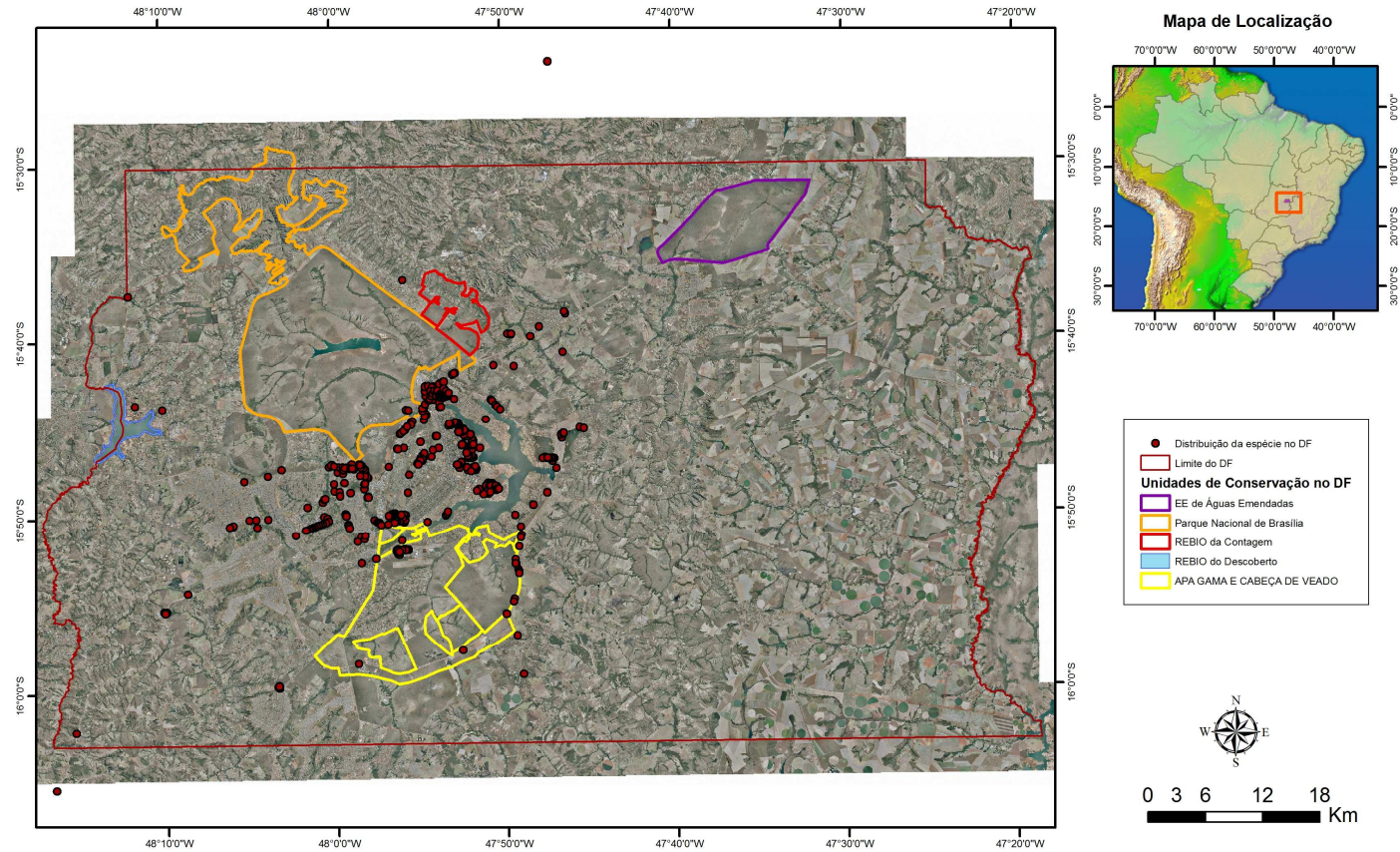


Figura 15. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, com relação as Unidades de Conservação no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.



## DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

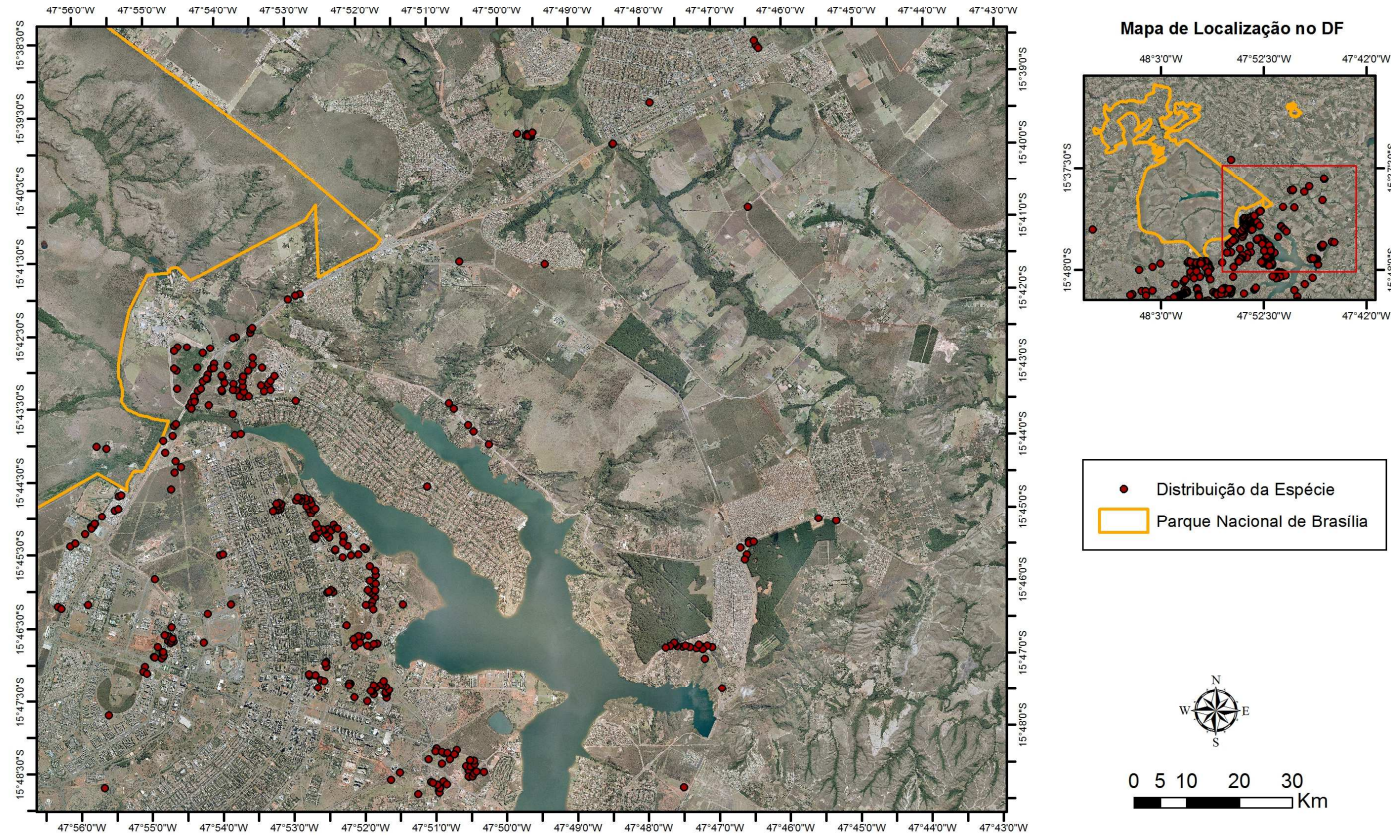


Figura 16. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades do Parque Nacional de Brasília (região do Torto, Lago Norte, EPIA Norte e Noroeste) no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.





Figura 17. Local de disposição de entulhos e solo retirado de locais em construção (ao lado do balão do Torto), nas proximidades do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal. (a) Imagem Geoeye, data: 31/08/2011, (b) Foto do local da imagem de satélite (Data da imagem: maio de 2011).



Figura 18. Local de disposição de entulhos e solo retirado de locais em construção (ao lado do balão do Torto), nas proximidades do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal. a) Imagem Geoeye, data: 31/08/2011, (b) Foto do local da imagem de satélite (Data da imagem: junho de 2011).

Outros pontos de intervenção humana próximos ao Parque Nacional de Brasília e que possuem a presença de *Arundo donax* são o bairro do Noroeste e a região da cidade do Automóvel e Estrutural. O bairro do Noroeste é uma nova expansão da cidade de Brasília, nesse local ocorre atualmente uma intensa atividade da construção civil, com o revolvimento, remoção do solo e posterior remoção em outros locais, assim como a deposição de resíduos da própria construção civil (Figura 19).

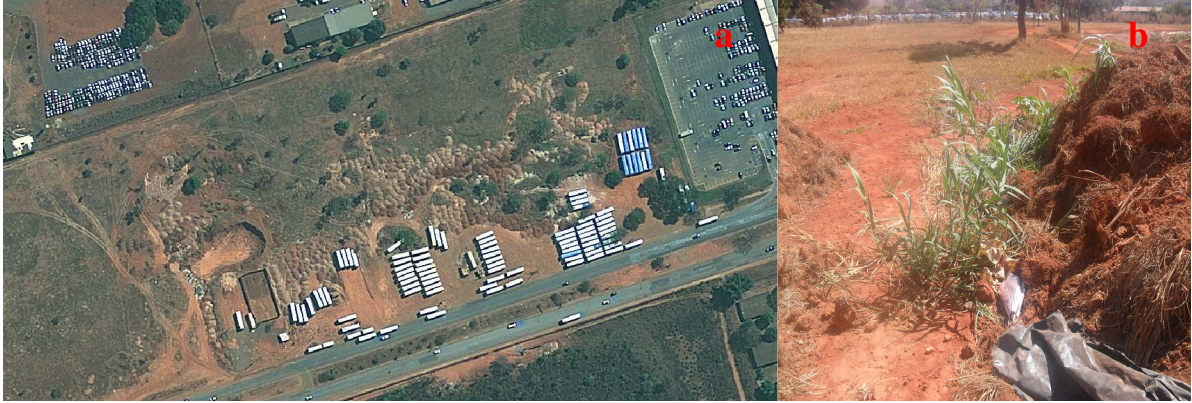


Figura 19. Local de construção de stands de construtora no Noroeste, nas proximidades do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal. a) Imagem Geoeye, data: 31/08/2011, (b) Foto do local da imagem de satélite (Data da imagem: abril de 2011).

A presença de *Arundo donax* na região da cidade do Automóvel e Estrutural merece bastante atenção devido a sua proximidade com o Parque Nacional Brasília, não tirando a importância das outras áreas próximas a essa Unidade de Conservação que possui essa espécie de planta. Tanto a Cidade do Automóvel, quanto a Estrutural margeiam a cerca do Parque Nacional de Brasília, e em ambos, lotes vazios, com entulhos e solo revolvido favorecem a presença de *Arundo donax*. Inclusive essa espécie invasora já possui ocorrência em alguns pontos dessa região (Figura 20).



## DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

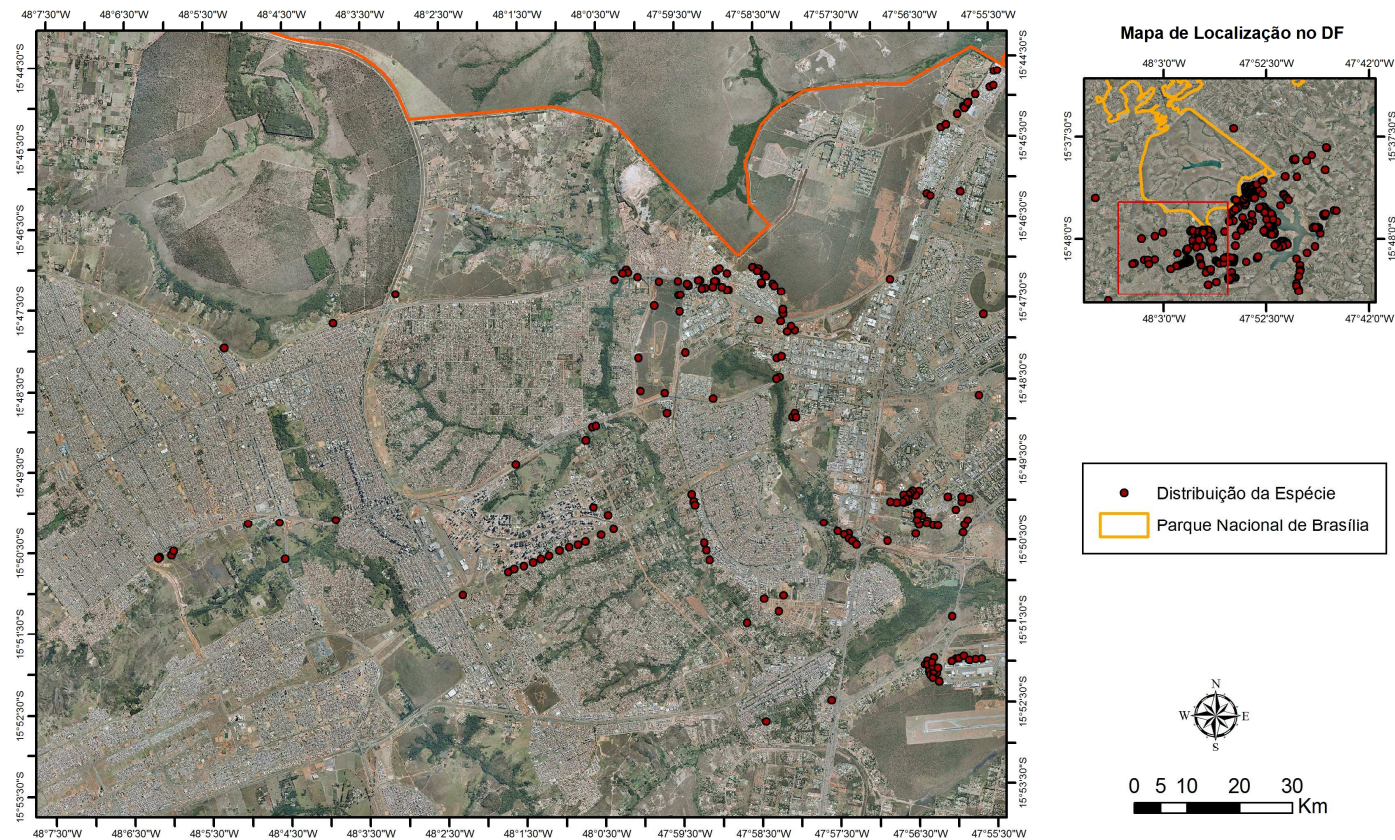


Figura 20. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades do Parque Nacional de Brasília (região da Cidade do Automóvel, Estrutural e outras) no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

Ressalta-se que essa espécie pode, então, tolerar uma grande variedade de condições ecológicas (Perdue, 1958), principalmente devido a seus rizomas e raízes que penetram profundamente. Plantas individuais podem sobreviver a períodos de seca ou de excesso de umidade (Guthrie, 2007). É essencialmente uma espécie de água doce, mas pode tolerar salinidade excessiva (Perdue, 1958; Grossinger *et al.*, 1998). Ele sobrevive e prospera em todos os tipos de solos, desde argilas pesadas, até areias soltas e cascalho (Perdue, 1958). É uma das poucas espécies que invade tanto locais perturbados, com não perturbados (Rejmánek, 1989), não precisando de algum tipo de intervenção humana para se estabelecer. No entanto, a perturbação tem desempenhado um papel importante na invasão e no estabelecimento bem sucedido dessa espécie (Bell, 1997), uma vez que a alteração antrópica de determinado ecossistemas (tais como a adição de fertilizantes, ou solo removido de algum local) fornece condições mais adequadas para o seu crescimento (Guthrie, 2007). Dessa forma, observa-se que no Distrito Federal a intervenção humana tem sido um importante fator no estabelecimento de *Arundo donax*.

Essa dispersão auxiliada pela intervenção humana também foi observada por Haddadchi *et al.* (2012). Esses autores concluíram alguns mecanismos pelos quais *Arundo donax* tem se dispersado no sudeste da Austrália: o transporte de propágulos vegetativos ao longo dos rios (até 200 km de distância da planta de origem), indicando que os rios servem como um corredor de dispersão eficaz para expansão dessa espécie; a dispersão de um genótipo entre bacias hidrográficas através de veículos ou máquinas agrícolas; e por fim, a dispersão de indivíduos, usados como ornamentais, de viveiros.

Existem outras Unidades de Conservação no Distrito Federal que possuem a ocorrência dessa espécie invasora em suas proximidades, tais como: o Jardim Botânico de Brasília, a Reserva Ecológica do IBGE, a Fazenda Água Limpa, ressaltando que a FAL não é



uma UC, (Figura 21) e REBIO do Rio Descoberto (Figura 22). Essas três primeiras áreas formam um mosaico que integram a APA Gama Cabeça de Veado, sendo importantes para a conservação da biodiversidade local. A presença dessa invasora nessa região está relacionada mais uma vez com áreas antropizadas por criação de estradas, aterros, construções de novos bairros, presença de condomínios, além da disposição inadequada de resíduos. Inclusive ocorre a presença de *Arundo donax* na divisa do Jardim Botânico de Brasília e da Reserva Ecológica do IBGE.

Ao se analisar a ocorrência do *Arundo donax* com o mapa de fitofisionomias do Distrito Federal, observa-se que a localização do mesmo se concentra em áreas de Cerrado, de campo e urbanas (Figura 23 a 25). Ressalta-se que várias áreas que o mapa de fitofisionomias denomina como cerrado e campo são antropizadas com a presença várias gramíneas invasoras, dentre elas o *Arundo donax*.

Nota-se que diferentemente de outros estudos realizados principalmente nos Estados Unidos (DiPietro, 2000; Ustin *et al.*, 2002; Cal-IPC, 2011; Yang *et al.*, 2012), ainda não foi observada no Distrito Federal a presença dessa espécie em grandes extensões de áreas ripárias. Foram observados 16 pontos de ocorrência dessa espécie em locais com presença de água (tabela 1 e Figura 26).

Tabela 1. Pontos de Localização de *Arundo donax* em locais com presença de água no Distrito Federal.

Localização dos Pontos	Coordenadas UTM	
1. Parque Olhos D'água	190759	8256802
2. DF 080/Ponte do Descoberto	800315	8270812
3. Ponte do Braqueto	189613	8258644
4. CAESB - ETE Sul	188403	8246598
5. Clube Nipo	190308	8247356
6. Estrutural	821229	8252495
7. Águas Claras (ponte)	820161	8248697
8. Ceilândia/Taguatinga	814427	8247033
9. Samambaia	813244	8246187
10. EPIA Norte	188134	8258916
11. EPTG	181733	8250084
12. Guará	181069	8244503
13. Metropolitana	181496	8242249
14. Córrego do torto	190046	8261352
15. Condomínios em Sobradinho	196977	8266281
16. Lago Sul	197581	8247369

## DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

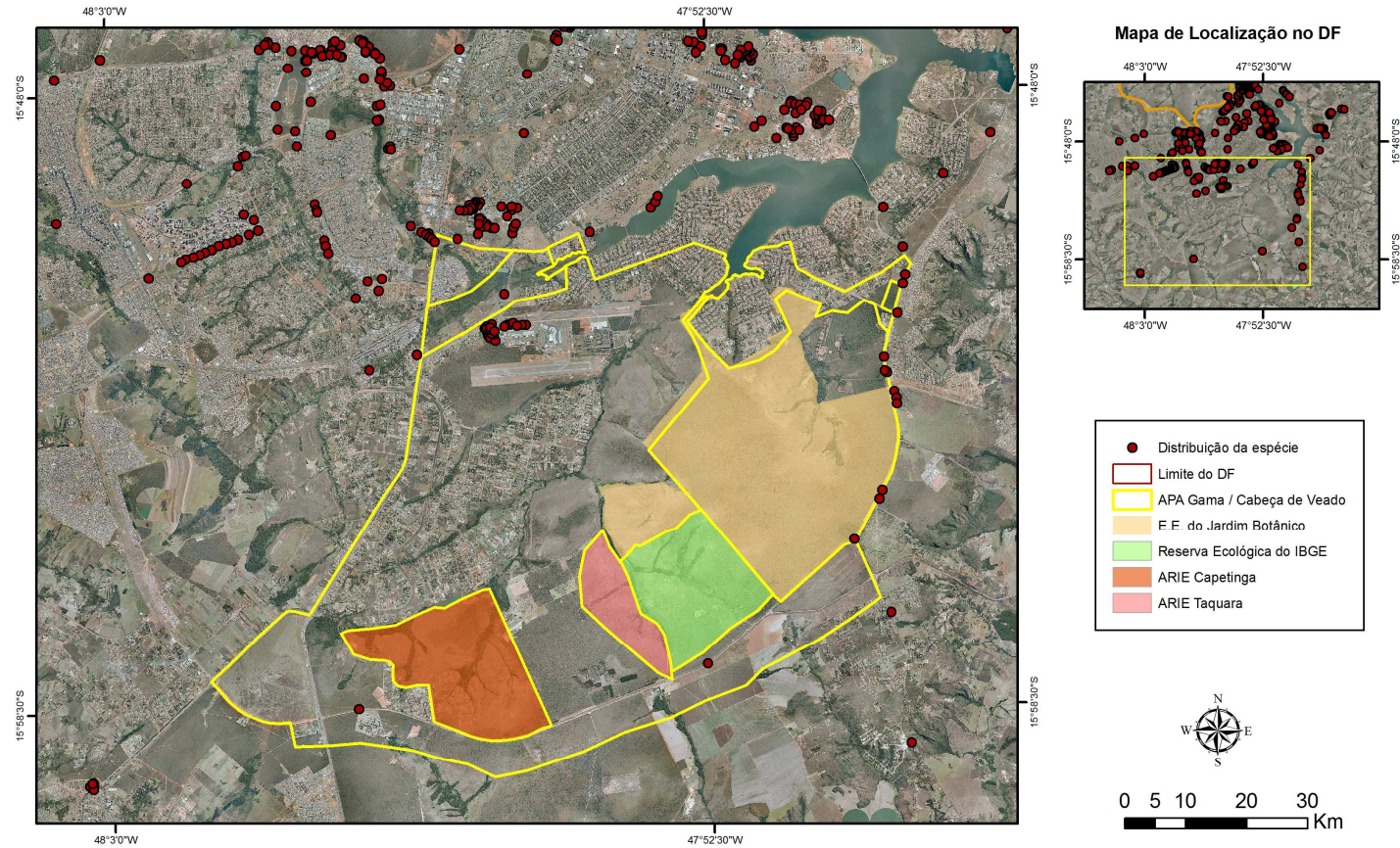


Figura 21. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades da APA Gama Cabeça de Veado, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.



## DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

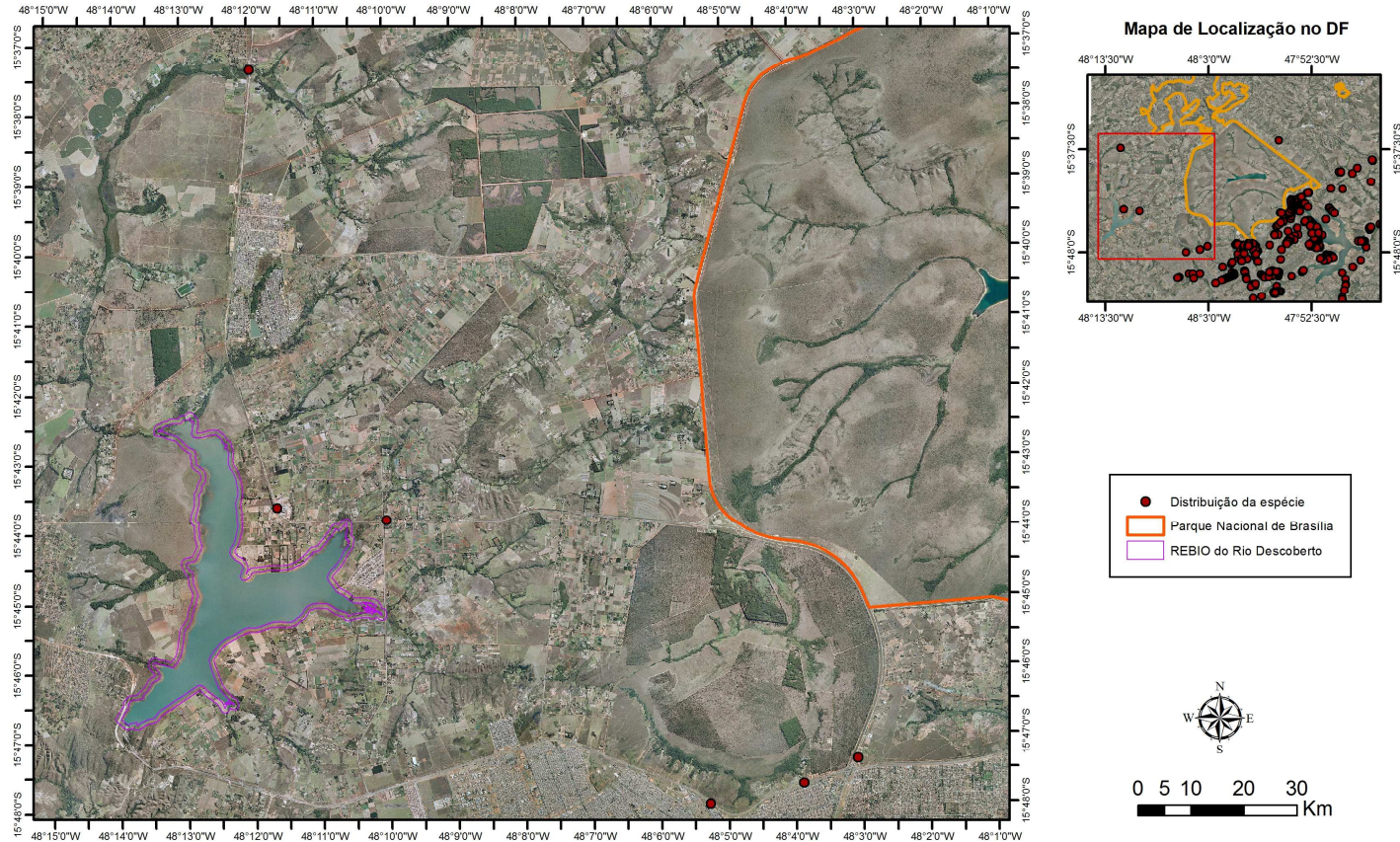


Figura 22. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades da REBIO do Rio Descoberto, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

## MAPA DE USO DO SOLO COM A DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE, *Arundo donax*, EM BRASÍLIA, BRASIL.

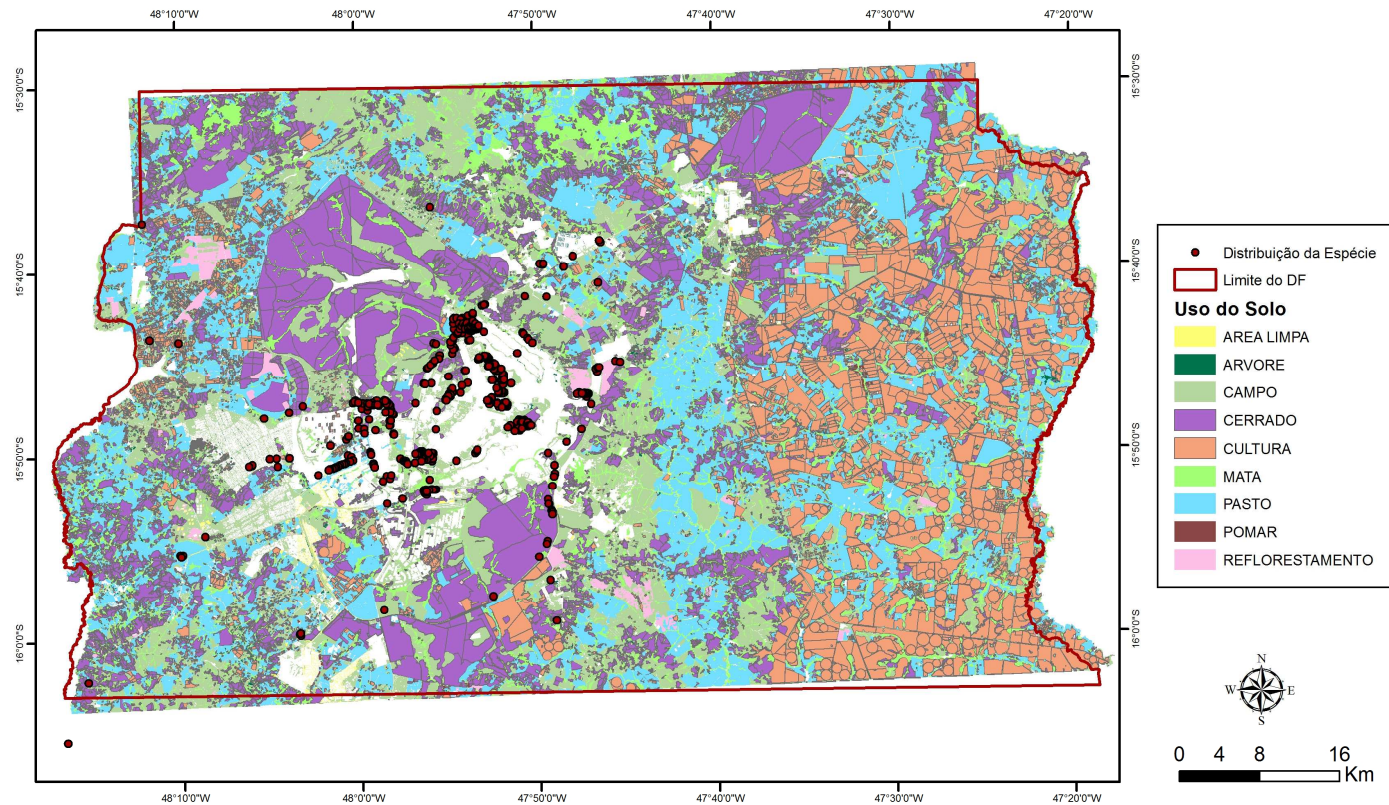


Figura 23. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.



## MAPA DE USO DO SOLO COM A DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

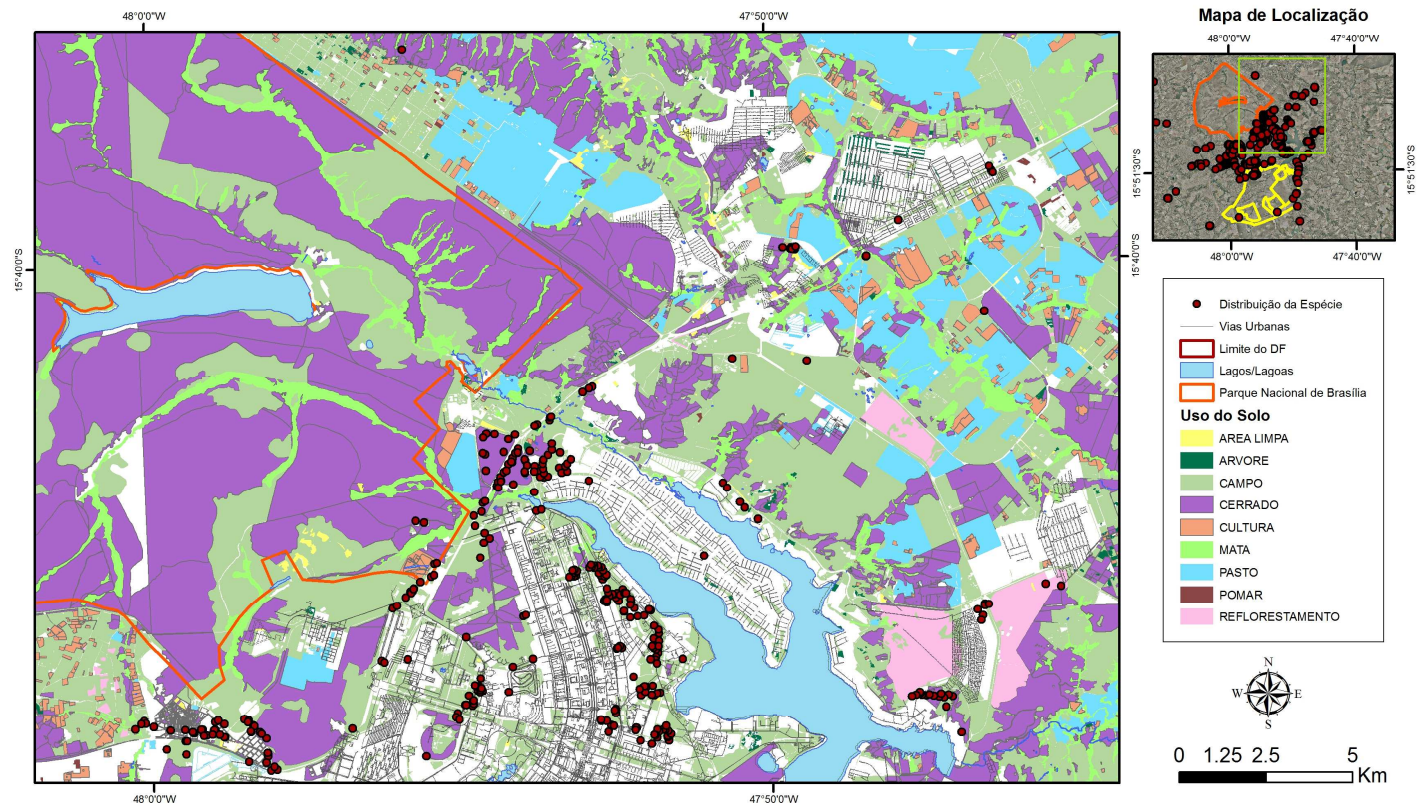


Figura 24. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

## MAPA DE USO DO SOLO COM A DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

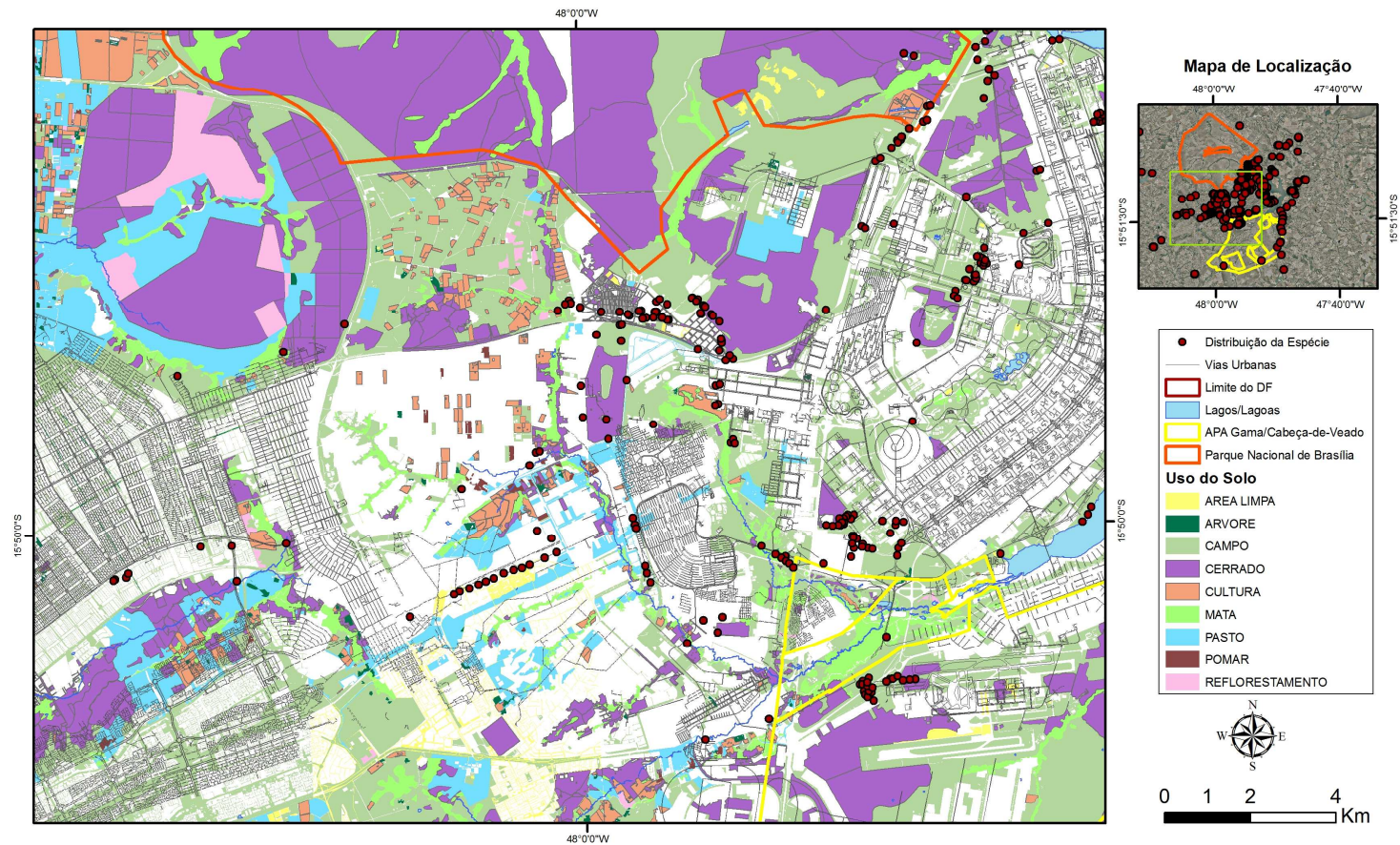


Figura 25. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.



## DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA *Arundo donax* EM LOCAIS COM PRESENÇA DE ÁGUA NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

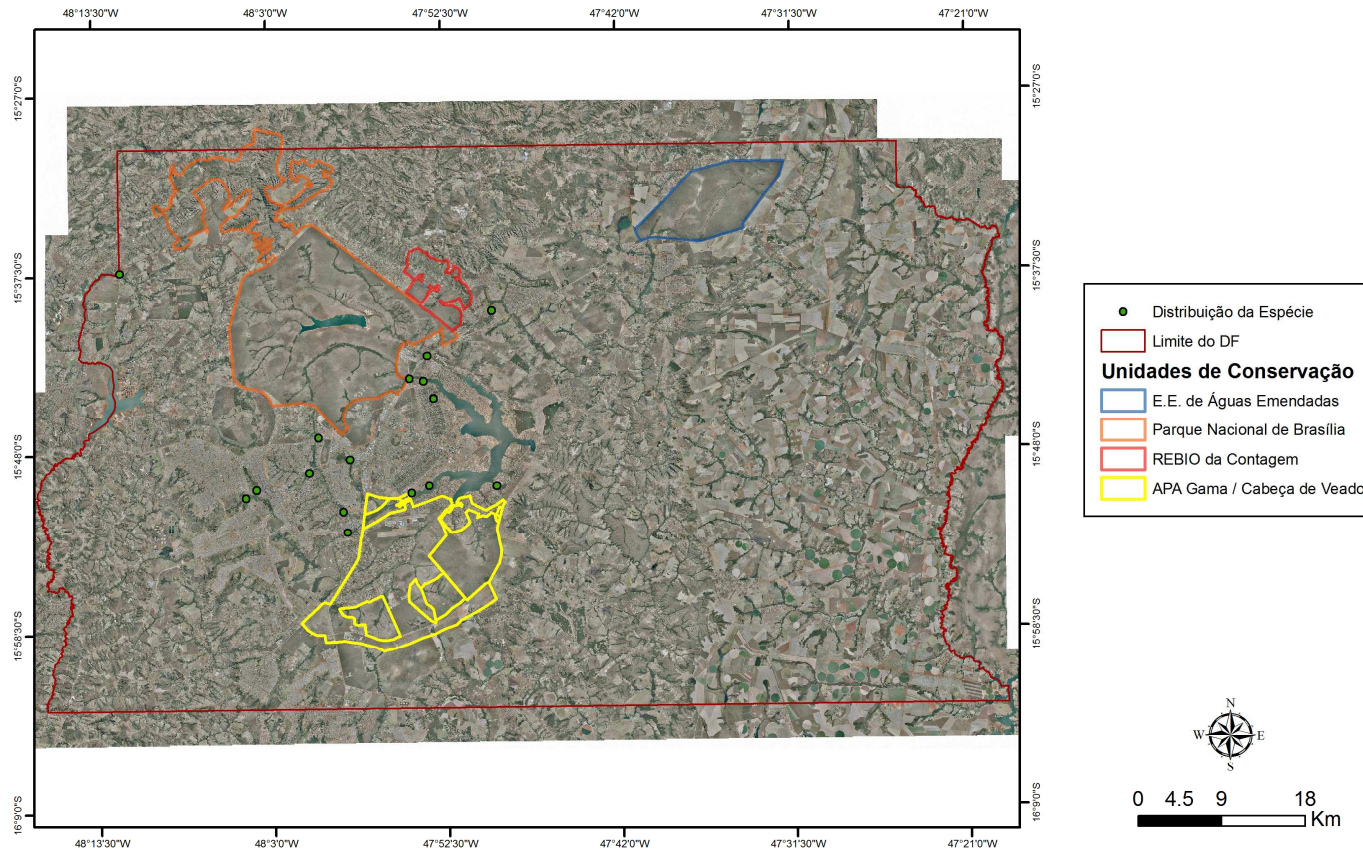


Figura 26. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* em locais com presença de água no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.



A preocupação com a presença de *Arundo donax* em locais com presença de água se deve ao fato que essa espécie é dependente de reprodução assexuada. Novos indivíduos, assim como o crescimento de colônias dentro de uma bacia hidrográfica ocorrem através de propagação vegetativa. Isso acontece quando fragmentos de plantas, geralmente rizomas, se enraízam em novos locais e formam plantas separadas, sendo que essa dispersão geralmente ocorre durante inundações, quando as enchentes quebram os pedaços de plantas *Arundo donax* e os transportam a jusante (Else 1996, Decruyenaere e Holt, 2005). O estabelecimento de novas plantas dessa espécie invasora dentro de uma bacia é, portanto, limitada pela extensão do fluxo do rio e pela inundação da várzea. No entanto, fragmentos da mesma também podem ser movidos para novos locais dentro de uma bacia hidrográfica através de perturbação humana (Cal-IPC, 2011).

Vários estudos têm mostrado que qualquer segmento do colmo ou rizoma pode rebrotar se eles possuírem uma gema axilar (Else, 1996; Boose e Holt 1999, *Wijte et al.*, 2005). Inclusive, tanto o colmo, como os rizomas podem suportar certa quantidade de secagem e ainda germinar. A perda de umidade de 58,8% em rizomas e 36,5% nos colmos não afetou sua capacidade de rebrota (Else, 1996).

Else (1996) relatou que da reprodução vegetativa observada em *Arundo donax* através da dispersão pelas enchentes no rio Santa Margarita em São Diego, 57% era de rizomas, 33%, foi a partir de fragmentos do colmo, e para os restantes 7% a parte da planta que deu origem não pode ser identificada. Rizomas são frequentemente quebrados nas bordas dos barrancos dos cursos d'água quando ocorre enchentes ou o desbarrancamento (Brinke, 2010). Qualquer perturbação (natural ou causada pelo ser humano) que mobiliza o rizoma, levando-o para condições favoráveis de estabelecimento irá provavelmente resultar na propagação de *Arundo donax* (Cal-IPC, 2011).

Eventos de fluxo do curso d'água vão quebrando os rizomas em fragmentos ao longo das bordas do povoamento de *Arundo donax* e dispersando-os dentro de áreas de fluxo (Brinke 2010). Por esta razão, uma propagação significativa dessa espécie dentro de uma bacia hidrográfica é episódica e os fluxos alcançam formas geomórficas superiores (várzea e terraços) apenas durante grandes eventos. Esses grandes eventos hidrológicos mobilizam o material para a propagação vegetativa de *Arundo donax* de forma potencial. Já eventos de baixa vazão estão confinados a áreas de canal e novos estabelecimentos nesta área são geralmente removidos durante inundações posteriores. E a combinação de taxas de crescimento com eventos de dispersão em bacias hidrográficas, gera um alto padrão de expansão para essa espécie (Cal-IPC, 2011). Por esses motivos, é preocupante a presença dessa espécie em locais com água no Distrito Federal, pois se a mesma conseguir se estabelecer nesses locais, poderá ocasionar grandes impactos no ecossistema ripário.

Observa-se, então, que o levantamento realizado é pioneiro no levantamento da espécie *Arundo donax* no Distrito Federal, além de ser de importância para futuras estratégias de manejo, assim como para o monitoramento da expansão dessa espécie. Outro ponto importante é a presença dessa espécie em locais próximos as principais Unidades de Conservação do Distrito Federal e assim como em locais com presença de água, o que requer atenção por parte do governo local, e também dos órgãos gestores das Unidades de Conservação.

Além disso, é de suma importância para o controle dessa espécie que o Governo do Distrito Federal discipline e fiscalize a deposição de entulho, lixo e solo retirado principalmente de obras realizadas nessa Unidade da Federação. E que adote medidas de manejos mais eficazes para o seu controle, pois a roçagem mecanizada ao invés de resolver o problema está na verdade dispersando mais ainda a espécie.

## Capítulo IV

### Produção de sementes e análise de genética de populações de *Arundo donax* L (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal

As gramíneas apresentam várias formas de reprodução, tanto sexuadas como assexuadas (cariópses, rizomas, estolões, perfilhos). Algumas espécies são propagadas pelo homem quase que exclusivamente de forma vegetativa, devido às dificuldades de obtenção de sementes de boa qualidade. Como exemplo, podemos mencionar a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), que só produz sementes em condições edafo-climáticas muito específicas, a grama-batatais (*Paspalum notatum* Flüggé) e a grama seda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) que normalmente apresentam elevados índices de esterilidade de espiguetas (Carmona *et al.*, 1998).

*Arundo donax* é uma gramínea que se propaga assexuadamente a partir de rizoma ou de colmo, já que sua inflorescência não produz sementes férteis (Vasconcelos e Gomes, 2007). Segundo Cal-IPC (2011), as plantas *Arundo donax* localizadas na América do Norte não produzem sementes viáveis. Vários estudos na Califórnia determinaram que plântulas não estão presentes na natureza (Else 1996, Wijte *et al.*, 2005) e que as plantas que florescem não produzem sementes viáveis (Khudamrongsawat *et al.*, 2004). Estudos na Índia indicam que a esterilidade da semente *Arundo donax* é aparentemente causada pela falha na divisão da célula mãe do megásporo (Bhanwra *et al.*, 1982).

A aparente ausência de reprodução sexuada e a baixa diversidade genética esperada são vistas como características positivas ao se avaliar *Arundo donax* para sua adequação ao controle biológico clássico (Tracy e DeLoach, 1999). Em geral, as plantas invasoras que se reproduzem assexuadamente são melhor controladas por agentes biológicos do que as que se reproduzem sexuadamente (Burdon e Marshall, 1981), presumivelmente devido à falta de

variação genética adaptativa em populações assexuadas, o que limita a capacidade de desenvolver resistência a herbívoros ou a ataque de patógenos (Müller-Schärer e Steing, 2004).

A diversidade genética é tida como um fator importante para a invasora (Baker, 1965) e o processo de invasão (Barrett, 1992), bem como para a eficácia do controle biológico (Burdon e Marshall, 1981; Barrett, 1992). Em espécies invasoras, características como uma ampla tolerância ambiental, que foi adaptada a uma ampla variedade de habitats, assim como a variação de respostas a medidas de controle, foram atribuídas à diversidade genética (Burdon e Marshall, 1981). Além disso, a diversidade genética, um componente chave do processo de invasão, também tem sido sugerida como um fator de contribuição da integração nos novos ambientes (Barrett, 1992). Um nível elevado dessa diversidade pode também permitir que as espécies desenvolvam resistência a agentes de controle biológico (Burdon *et al.*, 1980). Porém, o controle biológico é promissor para as espécies invasoras que se reproduzem assexuadamente, pois essas espécies possuem uma probabilidade menor de desenvolver resistência (Botsford e Jain, 1992). Por esses fatores, são importantes estudos moleculares sobre as populações de espécies invasoras.

Dessa forma, as técnicas moleculares tornaram-se instrumentos essenciais no estudo genético de populações naturais de vários organismos. Entre elas está a técnica de DNA polimórfico amplificado ao acaso (*Random Amplified Polymorphic DNA – RAPD*), desenvolvida por um grupo de pesquisadores nos EUA (Williams *et al.*, 1990). E, na última década, marcadores moleculares multilocus, capazes de genotipagem ou DNA *fingerprinting* de indivíduos com elevada resolução, têm sido amplamente utilizados para a caracterização da variação genética em plantas invasoras (Saltonstall, 2003; Genton *et al.*, 2005; Williams *et al.*, 2005).

O marcador molecular RAPD é um método sensível, rápido, relativamente simples, que utiliza apenas um oligonucleotídeo arbitrário de 10 nucleotídeos, com pelo menos 6 citosina (C) ou guanina (G), e que revelam vários *loci* dispersos pelo genoma sem exigir conhecimento prévio da informação genética de sequências alvo. Embora algumas técnicas baseadas na reação da polimerase em cadeia (*Polymerase Chain Reaction – PCR*) produzam resultados satisfatórios utilizando-se DNA em pequenas quantidades e com algum grau de degradação (Reis *et al.*, 1995) outras, como o RAPD, exigem um DNA íntegro e sua grande vantagem é que pode ser usado para qualquer organismo. É por meio da técnica de PCR que a sequência única reconhece o DNA alvo, sendo então flanqueado por duas cópias da sequência de oligonucleotídeo. O resultado é um conjunto de bandas de DNA amplificadas de tamanho diferentes (Griffiths *et al.*, 1998).

As aplicações dos marcadores moleculares RAPD incluem: obtenção de impressões digitais (*fingerprintings*) de natureza genômica de indivíduos, variedades e populações; análise de estrutura de diversidade genética em populações naturais; definição das relações filogenéticas entre diferentes espécies; construção de mapas genéticos de alta cobertura genética; e a localização de genes (Ferreira e Grattapaglia, 1998).

As análises de RAPD apresentam algumas vantagens sobre a escolha das técnicas de DNA mitocondrial ou microssatélites que usam iniciadores específicos. Devido o uso de iniciadores curtos e de se basear na amplificação de DNA, as análises de RAPD não requerem um conhecimento prévio do genoma, trabalham com DNA de diferentes espécies e geralmente, amplificam multilocus que aparecem como um código de barras após a eletroforese em gel (Harry *et al.*, 1998).

As informações obtidas com o RAPD permitem estimar o grau de similaridade entre os indivíduos analisados, possibilitando a indicação de cruzamentos entre pares mais ou

menos divergentes, conforme o objetivo desejado e também, a determinação das relações filogenéticas entre populações ou espécies. Também é possível detectar-se marcadores específicos para raças ou espécies, de uma maneira simples e rápida, permitindo o desenvolvimento de protocolos para identificação da procedência de amostras e indivíduos (Grattapaglia *et al.*, 1992).

Em geral, a variação nos *locus* dos marcadores seletivamente neutros não reflete uma capacidade de mudança evolutiva adaptativa para agentes de controle biológico nas populações de espécies invasoras (Reed e Frankham, 2001; Müller-Schärer e Steing, 2004). Em vez disso, a evolução adaptativa depende da variação genética relacionada com características de aptidão, tais como: taxa de crescimento, fenologia e resistência a herbívoros (Lande, 1988). O grau e a estruturação da variação genética neutra indicam, no entanto, o número de introduções geográficas, as origens genéticas possíveis, e as vias de propagação dos genótipos invasores nos locais invadidos. Tal informação é importante na identificação de áreas para se procurar inimigos naturais que poderiam ser utilizados como agentes de controle biológico (Roderick e Navajas, 2003; Roderick, 2004) e, portanto, pode fornecer informações sobre a adequação do controle biológico clássico para uma espécie invasora.

Devido *Arundo donax* parecer ser obrigatoriamente clonal, a sua diversidade genética deve ser menor do que a de espécies de reprodução sexuada (Barrett, 1982). No entanto, muitas espécies que se reproduzem assexuadamente, ocasionalmente, apresentam reprodução sexual de modo a manter um nível significativo de diversidade genética (Khudamrongsawat *et al.*, 2004). Ellstrand e Roose (1987), Widén e *et al.* (1994), e Diggle e *et al.* (1998) fizeram uma revisão de literatura sobre a diversidade genética em populações de plantas clonais e encontraram quantidades substanciais de diversidade na maioria das espécies de plantas. Diferentes clones de plantas invasoras de reprodução assexuada também podem ter sido

introduzidos no seu novo habitat diversas vezes, resultando numa variação genética entre as populações. E a análise de diversidade genética em *Arundo donax* pode fornecer informações sobre a importância da invasão dessa espécie e o potencial de aplicação de controle biológico (Khudamrongsawat *et al.*, 2004).

#### **4.1. Material e Métodos.**

Para análise de produção de sementes, coletou-se um total de 180 pendões em 18 pontos diferentes do Distrito Federal. A escolha dos pontos foi feita com base no mapeamento realizado da distribuição da espécie, considerando também o espaçamento entre as populações encontradas no Distrito Federal e a presença de pendões (Figura 27). As coletas e análise das sementes, assim como a medição do tamanho dos indivíduos com pendões, foram realizadas durante o período de março a agosto de 2012, conforme a época de florescimento da planta no hemisfério Norte, que geralmente ocorre entre os meses de março e setembro (Cal-IPC, 2011). Ressalta-se, porém, que muitas plantas nem sempre florescem, ou pelo menos não em todos os anos (Else, 1996), e que não existem estudos fenológicos para essa espécie no Brasil. Existindo somente observações de campo realizadas durante a elaboração dessa dissertação, onde se constatou plantas dessa espécie florindo durante todo ano (de janeiro a dezembro).

## LOCAIS DE COLETA DE PENDÕES DE *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

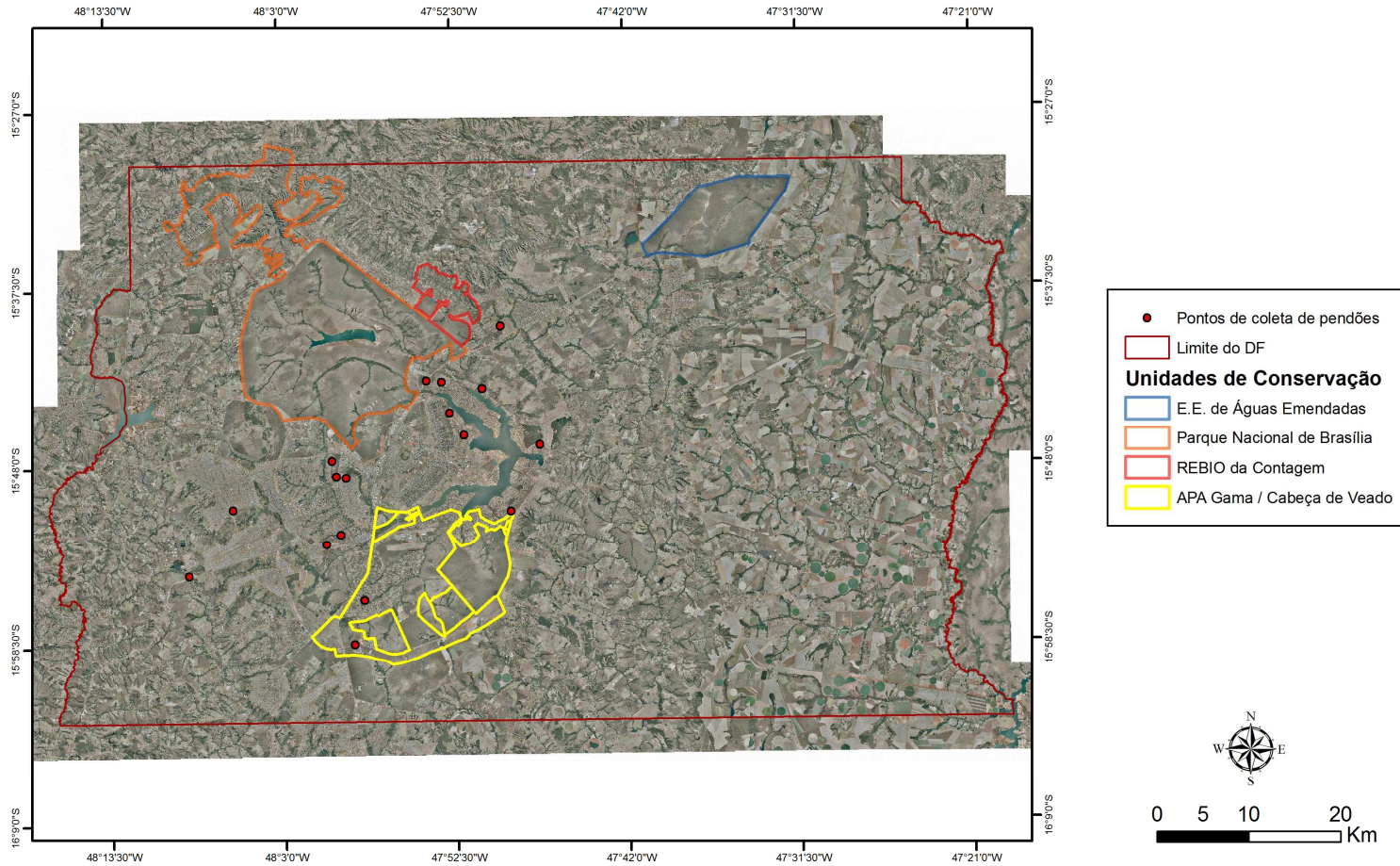


Figura 27. Locais de coleta de pendão de *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: agosto de 2012.



A época de coleta também coincidiu com o momento em que aproximadamente a terça parte das espiguetas já havia se desprendido das inflorescências, de forma a coletar-se apenas as maduras, procedimento este bastante usual na colheita de sementes de gramíneas forrageiras (Brown, 1982).

Para mensurar a produção de espiguetas cheias e vazias, as inflorescências de *Arundo donax* foram conduzidas para o Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade de Brasília e postas para secar em temperatura ambiente. Foi realizado o processo de trilha (separação das espiguetas das inflorescências), além de uma amostragem conforme as regras para análise de sementes do Ministério da Agricultura (2009). Posteriormente, analisou-se com o auxílio de uma lupa a presença de espiguetas cheias e vazias (Figura 28).

Para a análise genética foram coletadas folhas novas de indivíduos de *Arundo donax* em sete pontos do Distrito Federal, selecionados conforme o mapeamento da distribuição da espécie realizado, e considerando também o espaçamento entre as populações (tabela 2 e Figura 29). Além dessas folhas de *Arundo donax*, foi coletada, como *out group*, folhas da espécie *Aristida torta*, que pertence a mesma subfamília de *Arundo donax*, no caso a subfamília Arundinoideae. Essa amostra de *Aristida torta* foi coletada na Reserva do IBGE no Distrito Federal, e cedida pelo Laboratório de Ecologia do Fogo da Universidade de Brasília que possui autorização para coletas dentro dessa UC. As coletas foram realizadas em agosto de 2012.

O DNA genômico total foi extraído de folhas jovens, no Laboratório de Genética Vegetal da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, de acordo com o método descrito por Ferreira e Grattapaglia (1998). A concentração de DNA de cada amostra foi estimada por eletroforese em gel de agarose a 1% de concentração, comparando-se as intensidades de fluorescências de cada amostra corada com brometo de etídio com diferentes padrões de DNA

Lambda, e adicionalmente foram quantificadas utilizando o espectrofotômetro NanoDrop 1000 (Thermo Scientific) de acordo com as recomendações do fabricante. Foram feitas 2 extrações independentes para cada ponto amostrado, como forma de se observar possíveis contaminações.



Figura 28. Inflorescências e espiguetas de *Arundo donax* analisados no laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade de Brasília. (a); Amostra de pendões coletados (b); Espiguetas retiradas do pendão (c); Espiguetas retiradas do pendão (d) Semente vazia. Data das imagens: julho de 2012.

Tabela 2. Pontos de coleta, para análises genéticas, de folhas jovens de *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil.

Localização dos Pontos	Coordenadas Geográficas	
1. Parque Nacional de Brasília	154401	475543
2. Sobradinho	154651	474727
3. Gama	155941	480323
4. Saída para Goiânia	155422	480840
5. Ceilândia	155035	480609
6. UnB	154602	475149
7. Paranoá	154651	474727

As reações de amplificação constaram de um volume final de 13  $\mu\text{L}$ , contendo 1,30  $\mu\text{L}$  de Tampão 10X, 0,25  $\mu\text{L}$  de  $\text{MgCl}_2$ ; 1,04  $\mu\text{L}$  dNTPs, 1,04  $\mu\text{L}$  de BSA, 2  $\mu\text{L}$  de primer (10 $\mu\text{M}$ ) (Operon Technologies), 2,0  $\mu\text{L}$  de DNA molde (2,5 ng/ $\mu\text{L}$ ), 0,2  $\mu\text{L}$  de Taq polimerase e 4,17  $\mu\text{L}$  de água miliQ, e foram conduzidas em placas de 96 poços em Termociclador com um pré- ciclo de 92°C, por cinco minutos, e mais 40 ciclos de 92°C, por um minuto, 35°C, por um minuto e, 72°C, por dois minutos e 30 segundos e, um ciclo final de extensão de 72°C, por cinco minutos.

Foram utilizados 13 oligonucleotídeos iniciadores (primers): OPA-08, OPE-06, OPE-11, OPE-19, OPF-09, OPF-10, OPF-16, OPG-06, OPK-17, OPL-01, OPL-08, OPM-12 e OPN-01.

Os produtos de amplificação originários das reações de RAPD foram separados em gel de agarose 1,5% (Sigma) submerso em tampão TBE 1X (Tris-borato 90 mM e EDTA 1 mM, Sigma) com brometo de etídio (5  $\mu\text{g. mL}^{-1}$ ) durante 3 h a 160 V. Ao término da corrida, os géis foram fotografados sob luz ultravioleta no comprimento de onda de 300 nm.

As fotos das amplificações realizadas com os oligonucleotídios selecionados foram utilizadas para a análise do polimorfismo entre os isolados analisados. Os fragmentos de DNA presentes nos géis foram considerados como marcadores RAPD. E, devido aos resultados encontrados, não foi necessária a elaboração de uma matriz de similaridade e dendograma.

## LOCAIS DE COLETA DE *Arundo donax* PARA ANÁLISES GENÉTICAS NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

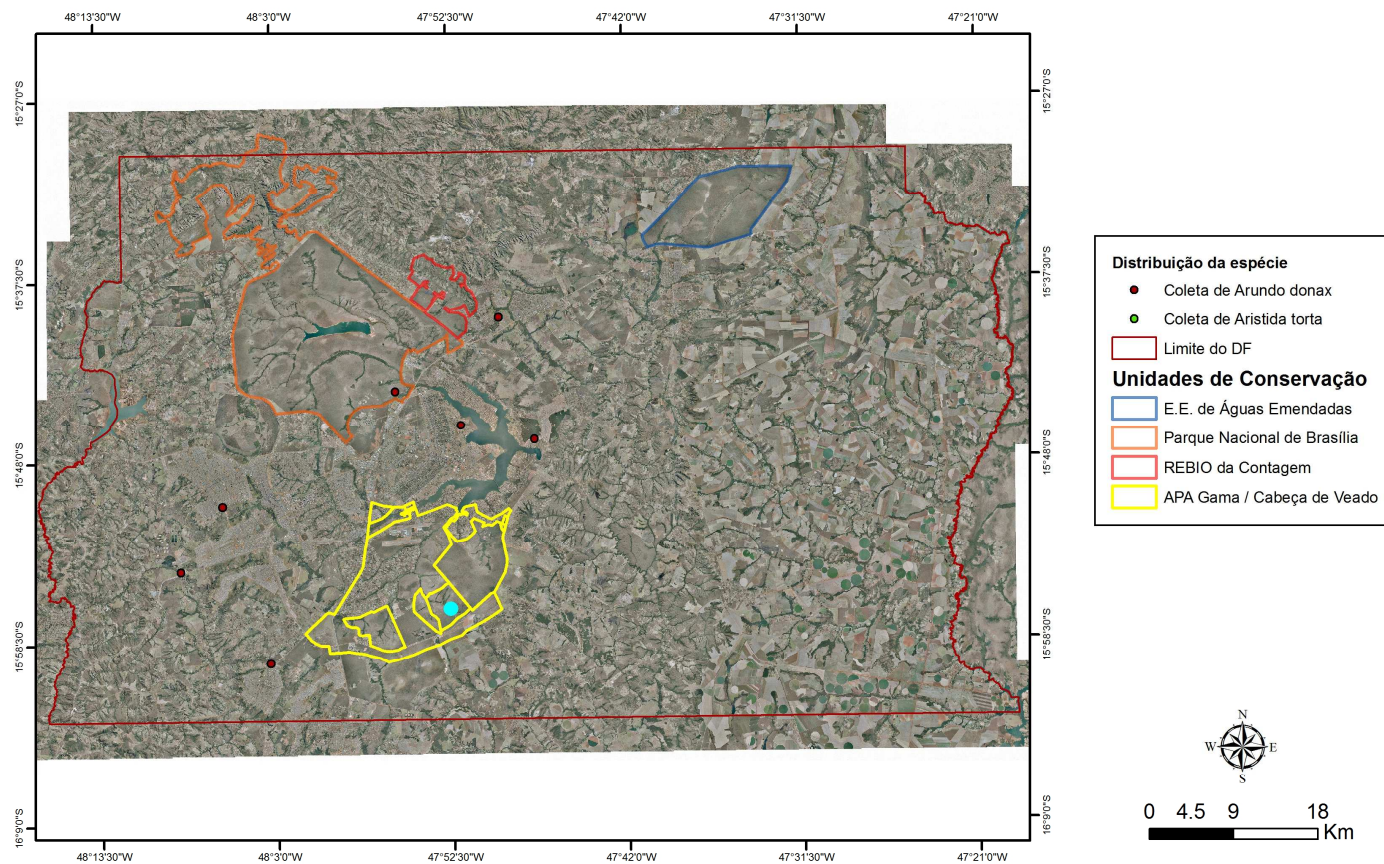


Figura 29. Locais de coleta, para análises genéticas, de folhas jovens de *Arundo donax*, e *Aristida torta*, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: agosto de 2012.

## 4.2. Resultados e Discussão.

Após as análises, não foi encontrada nenhuma espigueta cheia, o que corrobora os trabalhos realizados nos Estados Unidos (Cal-IPC, 2011). E, conforme Perdue (1958), essa espécie não produz sementes viáveis na maioria das áreas onde foi introduzida, e a reprodução ocorre quase inteiramente por rizomas e fragmentos do colmo (Boose e Holt, 1999). Os fragmentos são geralmente levados pelas enchentes para novos habitats onde brotam novos colmos (Else, 1996).

É importante dizer que existem poucas informações sobre o sistema reprodutivo de *Arundo donax* nos locais onde ocorre como espécie nativa. E a reprodução sexual, bem como vegetativa têm sido relatadas para indivíduos nativos do Oriente Médio (Perdue, 1958). Porém, essa espécie é normalmente representada por genótipos que se reproduzem assexuadamente nos locais onde são introduzidos (Boose e Holt, 1999; Dudley, 2000. Mariani *et al.*, 2010).

Haddadchi *et al.* (2012) estudaram a variação genotípica de *Arundo donax* em três rios no sudeste da Austrália. De acordo com esses autores, nenhuma semente em desenvolvimento ou madura foi detectada em plantas dessa espécie, e foi observado que as anteras maduras eram murchas e não produziam pólen. Esse estudo apresenta a falta de produção de pólen como a causa mais próxima da infertilidade, já a causa mais distante, é o nível de ploidia irregular apresentado por essa planta.

Com relação ao nível de ploidia dessa planta, tem se as seguintes considerações: o número básico de cromossomos de *Arundo donax* em área nativa na China é relatado em  $x = 12$  (Liang e Phillips, 2006). No sudeste da Austrália, células somáticas de *Arundo donax* mostraram uma média contagem perto do número esperado dos heptaploides  $2n = 7x = 84$  (Haddadchi *et al.*, 2012). Números elevados de ploidia ( $2n = 60, 72, 108$  e  $112$ ) também são

relatados nas populações nativas do sul da Índia, do Mediterrâneo (Christopher e Abraham, 1971) e em populações invasoras dos EUA (Connor e Dawson, 1993). Na Itália, *Arundo donax* é relatado como sendo um tetraplóide (Mariani *et al.*, 2010). Os diferentes níveis de ploidia entre as populações estudadas no sudeste da Austrália, populações nativas e introduzidas, pode ser devido a: (a) condições diferentes de habitat ocupados por *Arundo donax* no mundo, (b) as histórias evolutivas diferentes entre os poliploides (Haddadchi *et al.*, 2012), (c) o processo de poliploidização por si só (Münzbergová, 2007), ou (d) o estado das espécies em faixas nativas e introduzidas (em extinção versus invasão, Pandit *et al.*, 2011). Uma falha na megasporogênese (Bhanwra *et al.*, 1982), ou no pólen e no desenvolvimento da célula ovo (Mariani *et al.*, 2010) têm sido associados a aborto de embriões e interrupção da produção de sementes nessa espécie (Haddadchi *et al.*, 2012).

As alturas dos indivíduos com pendão amostrados teve uma média de 4,98m ,  $\pm$  0,87m. O maior indivíduo tinha 7,08m e o menor 3,21m.

Com relação ao estudo de variabilidade genética, os 13 oligonucleotídeos testados apresentaram sucesso na amplificação dos fragmentos de DNA, e produziram um total de 196 fragmentos de amplificação. O número médio de marcadores por iniciador foi de 15,07  $\pm$  3,04, variando de 11 (OPE-11 e OPN-01) a 20 (OPG-06 e OPK-17) (tabela 3 e Figuras 30 a 34).

Ao se analisar os perfis eletroforéticos dos treze primers utilizados, observou-se, com base na análise de RAPD, que todas as amostras de *Arundo donax* (amostras de 1 a 14) eram geneticamente idênticas (clones), se diferenciando somente do *out group* (*Aristida torta* – amostras 15 e 16) (Figuras de 30 a 34). Ou seja, não foi encontrada, com a utilização do marcador molecular do tipo RAPD, uma variabilidade genética entre os indivíduos, e devido a essa falta de variação, não houve a necessidade de elaboração de um dendograma de



similaridade, já que os indivíduos são 100% idênticos, havendo falhas somente de amplificação, comuns em RAPD.

Tabela 3: Número total de fragmentos produzidos por 13 iniciadores de RAPD utilizados na análise genética de *Arundo donax* e *Aristida torta*. D. P. Desvio padrão.

Iniciador de RAPD	Fragmentos gerados por iniciador
OPA-08	13
OPE-06	15
OPE-11	11
OPE-19	16
OPF-09	13
OPF-10	13
OPF-16	15
OPG-06	20
OPK-17	20
OPL-01	19
OPL-08	15
OPM-12	15
OPN-01	11
Total	196
Média	15,07
D.P.	3,04

A semelhança genética encontrada em diferentes pontos do Distrito Federal demonstra que um único clone está sendo disperso nessa região, ou esse mesmo clone foi introduzido diversas vezes no Distrito Federal. Ressalta-se, que não há na literatura científica dados de quando, como e onde essa planta foi introduzida no Distrito Federal. Porém, a distribuição e o padrão genético encontrado indicam ser uma introdução recente. Lembrando que a mesma ainda não é encontrada em todos os pontos do DF, se concentrando em algumas regiões.

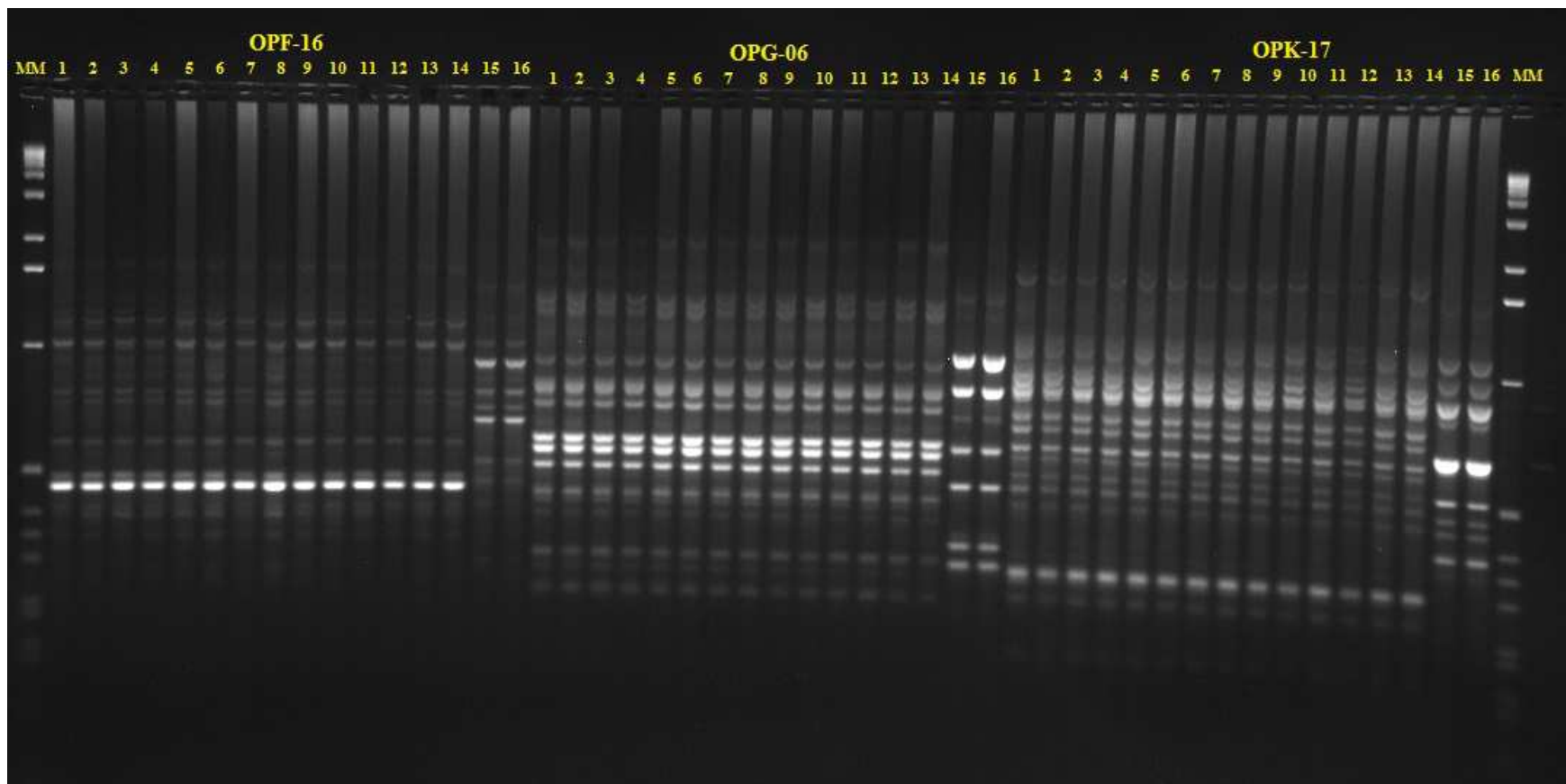


Figura 30. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPF-16, OPG-06 e OPK-17, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2.



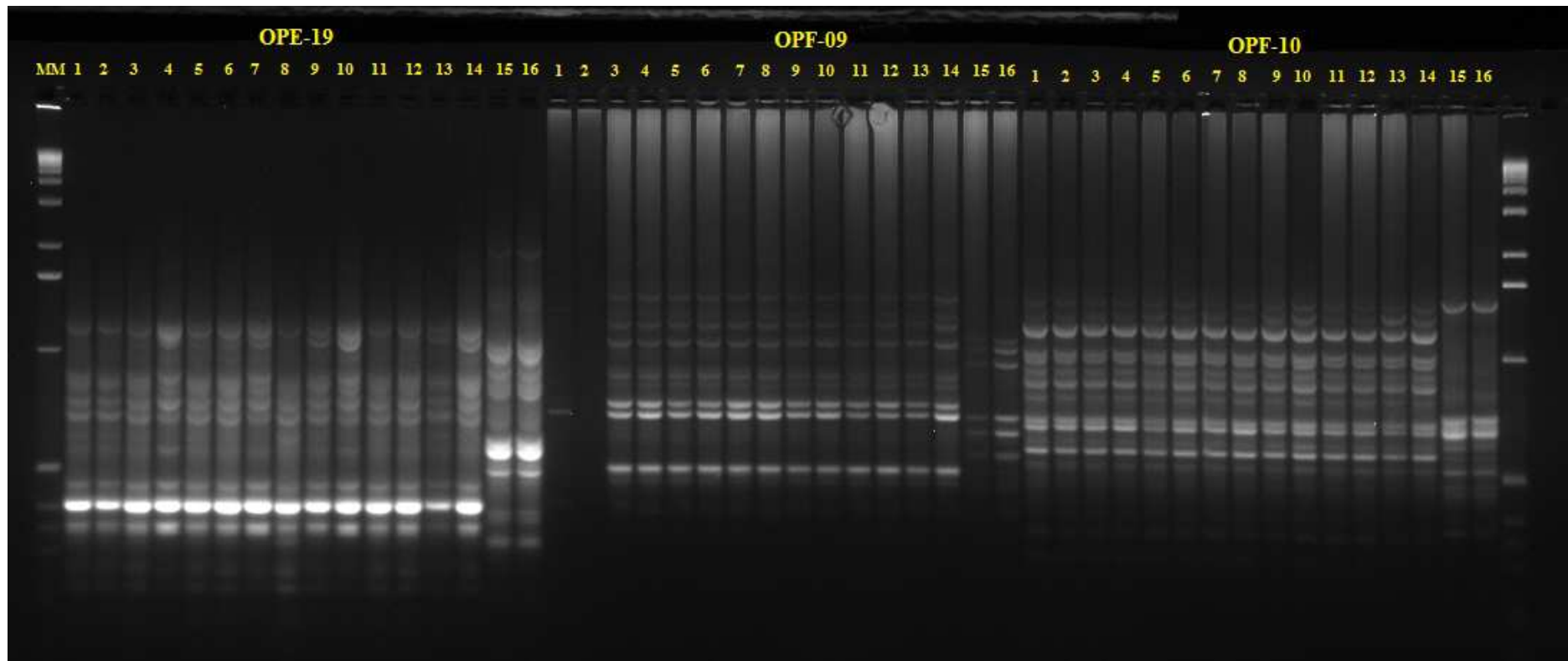


Figura 31. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPE-19, OPF-09 e OPF-10, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2.

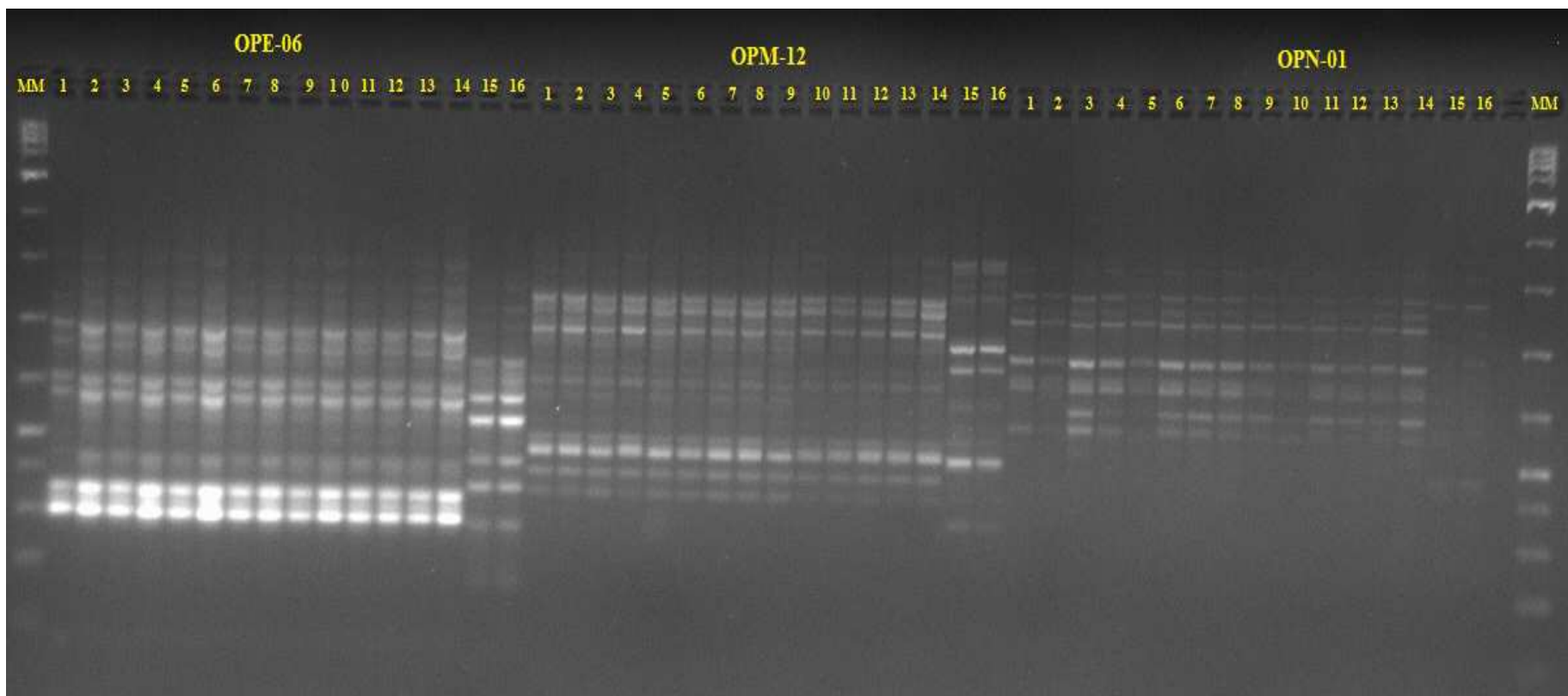


Figura 32. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPE-06, OPM-12 e OPN-01, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2.

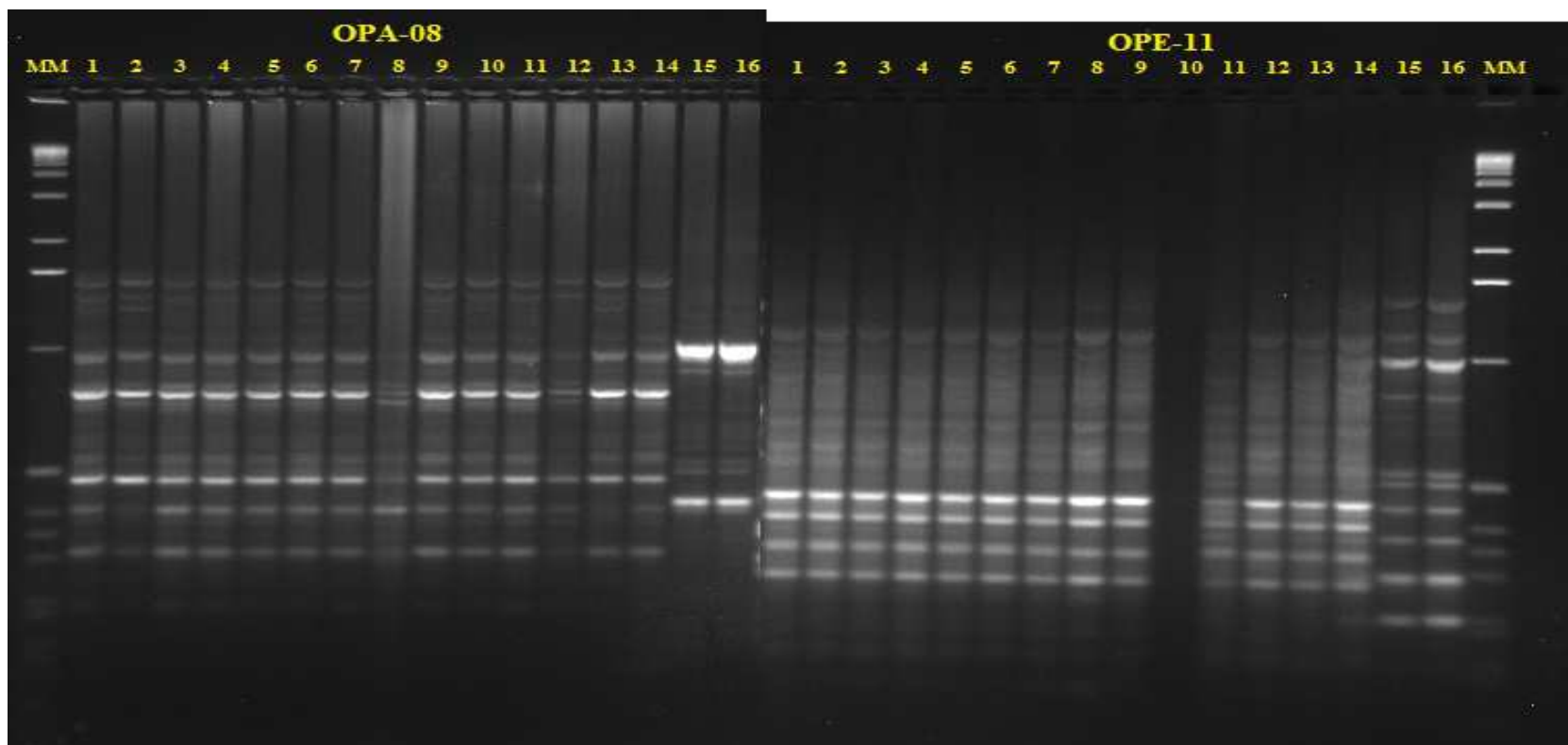


Figura 33. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPA-08 e OPE-11, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2.

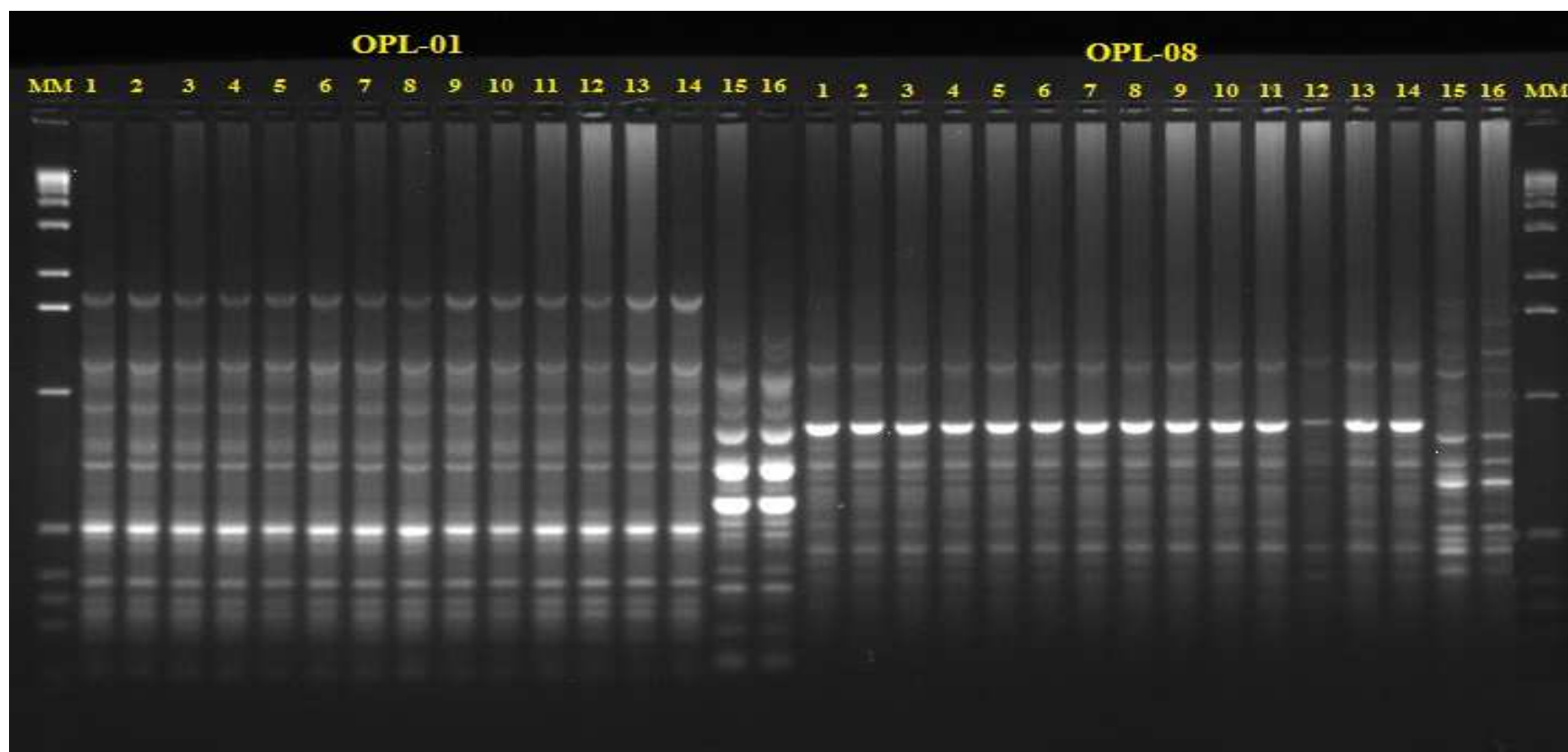


Figura 34. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPL-01 e OPL-08, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2.



Os resultados obtidos podem indicar que *Arundo donax* está se dispersando com o auxílio da intervenção humana, através de máquinas de roçagem, que levariam o material de um lugar para outro; aterros feitos com materiais alóctones; bota-fora da construção civil; e outros tipos de intervenções. A falta de um manejo adequado para essa espécie pelo Governo do Distrito Federal, ao invés de auxiliar na sua erradicação está favorecendo a sua propagação.

Essa dispersão auxiliada pela intervenção humana também foi observada por Haddadchi e *et al.* (2012). Esses autores concluíram alguns mecanismos pelos quais *Arundo donax* tem se dispersado no sudeste da Austrália: o transporte de propágulos vegetativos ao longo dos rios (até 200 km de distância da planta de origem), indicando que os rios servem como um corredor de dispersão eficaz para expansão dessa espécie; a dispersão de um genótipo entre bacias hidrográficas através de veículos ou máquinas agrícolas; e por fim, a dispersão de indivíduos, usados como ornamentais, de viveiros.

Estudos moleculares usando Isoenzimas e RAPD em populações de *Arundo donax* presentes no Rio Santa Ana, na Califórnia, também indicaram uma diversidade genética comparável com os da literatura para espécies clonais, indicando a reprodução assexuada como o principal meio de propagação dessa espécie (Khudamrongsawat *et al.*, 2004). Nesse estudo, também foram coletadas amostras de uma população de fora da bacia estudada (Aliso Creek, Condado de Orange). Vários fenótipos foram dominantes e foram encontrados espalhados ao longo do rio Santa Ana. Estes fenótipos dominantes foram também encontrados na população de Aliso Creek, possivelmente por essa planta ter se espalhado por seres humanos. Os níveis moderados de diversidade genética em *Arundo donax* devem ser explicados por várias introduções ao longo do tempo, com as introduções iniciais como

material de construção, e uso mais recente para controle de erosão e como ornamental (Bell, 1997; Frandsen, 1997).

Ahmad e *et al.* (2008) com o objetivo de obter informações sobre o potencial para controle biológico de *Arundo donax*, estudaram a variação genética em plantas amostradas a partir de uma ampla área geográfica nos Estados Unidos, utilizando os marcadores moleculares SRAP (*Sequence Related Amplified Polymorphism*) e os baseados em elementos transponíveis (*TE-based markers*). Com a exceção das mutações individuais detectadas em quatro amostras de plantas, *Arundo donax* coletados da Califórnia para a Carolina do Sul, e na Flórida, os indivíduos coletados não apresentaram variação genética molecular. Os dados moleculares desse estudo apontam para um único clone genético dessa invasora nos Estados Unidos. A diferença de resultado entre esse estudo que não apresentou variação genética molecular, e o de Khudamrongsawat e *et al.* (2004) que apresentou baixa variação genética, pode estar relacionado aos diferentes marcadores moleculares utilizados.

Haddadchi e *et al.* (2012) estudaram a variação genotípica de *Arundo donax* em três rios no sudeste da Austrália utilizando marcadores ISSR (*Inter Simple Sequence Repeats*). Foram detectados 38 genótipos nas 58 plantas amostradas, e variação genotípica, dentro de cada sistema fluvial, foi de moderada a alta ( $G/N = 0,485-1,000$  e  $D\text{ Simpson} = 0,881-1,000$ ). Segundo esses autores, uma provável explicação para diferentes níveis de variação genética relatados nesse estudo em comparação a outros realizados em diferentes regiões pode ser o uso de diferentes marcadores moleculares para detectar a variação genotípica, por exemplo, marcadores ISSRs detectam mais bandas polimórficas por primer do que os marcadores RAPDs, e o fato de os níveis de ploidia poderem variar entre regiões.

O nível de variação genética observada em *Arundo donax* no sudeste da Austrália é semelhante ao relatado em espécies invasoras que são introduzidas em várias ocasiões a partir

de diferentes fontes, por exemplo, *Lathyrus latifolius* (Godt e Hamrick, 1991) e *Pueraria lobata* (Sun *et al.*, 2005). Múltiplas introduções foram postuladas para o nível moderado de variação *Arundo donax* no EUA (Khudamrongsawat *et al.*, 2004). Em segundo lugar, as mutações somáticas também podem contribuir para a variação genética em *Arundo donax*, como relatado nos EUA por Khudamrongsawat e colaboradores. (2004). Finalmente, poliploidia pode afetar a quantidade de variação genotípica devido à existência de múltiplas cópias do genoma e, portanto, uma maior oportunidade para a amplificação de bandas polimórficas (Haddadchi *et al.*, 2012). Porém Mariani e *et al.* (2010) relataram, na região do Mediterrâneo, indivíduos tetraplóides de *Arundo donax* se reproduzindo vegetativamente e apresentando baixa variação genética com o uso de marcadores ISSR.

Em todo o mundo, *Arundo donax* mostra diferentes níveis de variações genotípicas, desde monotípica (Mariani *et al.*, 2010) a baixa diversidade na Europa (Lewandowski *et al.*, 2003); de monotípica (Ahmad *et al.*, 2008) a moderadamente diversificada nos EUA (Khudamrongsawat *et al.*, 2004); e de moderada a alta no sudeste da Austrália (Haddadchi *et al.*, 2012). Dessa forma, considerando que essa espécie se reproduz vegetativamente nas áreas onde foi introduzida, a sua variação genética estará ligada a mutações, nível de ploidia e quantidade e o tempo de introduções no local. E, para um melhor estudo genético da população localizada no Distrito Federal, como forma de entender melhor a similaridade entre as populações de locais invadidos por essa planta, é recomendável à utilização de outros marcadores moleculares já usados em estudos em outras regiões do mundo, tal como Microsatélites e ISSR, além da obtenção de amostras desses locais.

## Capítulo V

### Produção de Biomassa e crescimento de *Arundo donax* L (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal

Nativa para o sul da Eurásia, a cana gigante (*Arundo donax*) foi introduzida e invadiu os ecossistemas ripários de muitos climas em todo o mundo, desde tropical a temperado (Polunin e Huxley 1987). É uma das invasoras mais bem sucedidas em ecossistemas ripários. Embora suas sementes serem estéreis na Califórnia, *Arundo donax* se espalha rapidamente a jusante quando pequenos pedaços da planta se quebram e caem em um substrato nu e úmido em ecossistemas ripários (Bell, 1997). Crescendo a uma taxa extremamente alta (até 7 centímetros por dia), *Arundo donax* rapidamente se estabelece em locais sem vegetação ou com vegetação escassa, e atinge até mais de 8 metros de altura depois de apenas alguns meses (Reiger e Kreager, 1989). Em seguida, ele se expande para fora da área, deslocando rapidamente herbáceas, arbustivas, e, eventualmente, até mesmo árvores (Ambrose e Rundel, 2007).

Já segundo Perdue (1958), quando as condições são favoráveis, os colmos de *Arundo* podem crescer 0,3-0,7 m por semana durante um período de vários meses. O indivíduo jovem pode rapidamente atingir o diâmetro dos colmos maduros, com crescimento subsequente que envolve o espessamento das paredes. Rieger e Kreager (1989) registraram o crescimento dessa espécie tanto de sete centímetros em um dia, até oito metros em poucos meses. Segundo Cal-IPC (2011), considerando os estudos realizados na Califórnia, três fatores gerais parecem afetar as taxas de crescimento de colmos e rizomas de *Arundo donax*: 1) a disponibilidade de água; 2) a disponibilidade de nutrientes; e 3) regimes de temperatura (afetada pela sombra). Já no Cerrado Distrito Federal, com base em observações de campo, outro fator que pode