

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES DEVIDO A VENTOS FORTES. O CASO DE LISBOA

Sandra Oliveira e António Lopes

Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa

Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa

Contactos: sioliveira@fl.ul.pt, telef.: 21 7920087

Resumo

As árvores em meio urbano oferecem inúmeros benefícios, quer ao nível ambiental, quer ao nível económico e social. No entanto, podem também ser a causa de danos materiais e humanos, devido à queda de ramos, pernadas ou da própria árvore, em situações de vento forte. Este tipo de situações é relativamente frequente na cidade de Lisboa, dependendo da estação do ano e das condições meteorológicas. O Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa é responsável pelo registo das ocorrências, pela limpeza da área onde ocorre a queda e pela notificação da entidade responsável pela manutenção das árvores, normalmente a Câmara Municipal de Lisboa.

Neste trabalho, é apresentada uma metodologia com vista à análise dos danos causados às árvores pelo vento forte (> 7 m/s) e as potenciais causas da ocorrência de quedas de árvores, pernadas e ramos na cidade de Lisboa. Os dados das ocorrências foram obtidos a partir dos arquivos do RSBL e analisados em conjunto com dados meteorológicos (direcção e velocidade do vento) e informação sobre as espécies, condições fitossanitárias, características do local de ocorrência e outros parâmetros da morfologia urbana, como por exemplo a orientação das ruas e a relação H/W.,

Foi analisado um período de 17 anos, entre 1990 e 2006. Concluiu-se que a maior percentagem de quedas se verificou nos últimos 7 anos e que existem variações sazonais em relação ao número de ocorrências e à direcção do vento dominante registadas.

A metodologia apresentada pretende contribuir para a elaboração de cartografia de risco de queda de árvores devido a ventos fortes em meio urbano.

Palavras-chave: Árvores em meio urbano, queda de árvores, avaliação de risco, vento forte

Introdução

A existência de árvores traz variados benefícios para as cidades (Fabião, 1996; Jim e Liu, 1997; Nilsson *et al.*, 2000; Saebe *et al.*, 2003; Soares e Castel-Branco, 2007, Lopes *et al.*, 2007). As árvores promovem a melhoria da qualidade do ambiente urbano, reduzindo o efeito de “ilha de calor” (Alcoforado, 1992), servindo como barreira à canalização de ventos fortes (Lopes, 2003) e capturando poluentes (Freer-Smith *et al.*, 2004). Para além disso, as árvores protegem as superfícies urbanas da incidência directa da luz solar e do impacto da precipitação (McPherson e Muchnick, 2005) e as suas raízes removem substâncias que podem ser prejudiciais para a água nos solos urbanos, melhorando a hidrologia urbana e controlando a erosão. As árvores são também um meio de sequestro de carbono, com vantagens acrescidas para a mitigação das alterações climáticas, assim como permitem a diminuição das necessidades energéticas através da melhoria do microclima urbano. A plantação de árvores em meio urbano propicia ainda habitats para aves e pequenos mamíferos, aumentando a biodiversidade (Clergeau, 1996). Promove também o bem-estar dos habitantes, influenciando o conforto térmico e mecânico e disponibilizando espaços de lazer e arruamentos mais atractivos.

No entanto, as árvores podem também ser a causa de danos materiais e humanos na cidade: por um lado, devido a conflitos entre as árvores e as infra-estruturas humanas, como por exemplo o levantamento dos passeios devido ao crescimento das raízes (Randrup *et al.*, 2003); por outro lado, devido à queda de ramos, pernas ou da própria árvore, em situações de vento forte, por vezes associados a níveis de precipitação elevados. As ocorrências de queda de árvores ou de partes de árvores constituem uma das principais causas de ferimentos em pessoas (por vezes até a morte) durante eventos extremos (Saraiva, 1983 e OFDA/CRED Database).

Pretende-se com este estudo analisar a ocorrência de queda de árvores na cidade de Lisboa, com o intuito de produzir mapas das áreas mais vulneráveis e compreender as situações meteorológicas que causam ventos fortes, pretendendo contribuir para o estabelecimento de um sistema de alerta de modo a minimizar a ocorrência de danos. Para tal, é fundamental identificar as causas destas ocorrências, com base nas características climáticas e meteorológicas (direcção e velocidade do vento, precipitação), biofísicas (espécie e características das árvores, condições fitossanitárias) e dos locais (geometria urbana, topografia). Este estudo está inserido no projecto “URBKLLIM: Clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos”, do Centro de Estudos Geográficos da

Universidade de Lisboa e teve início em Janeiro de 2006, estando a ser desenvolvido em colaboração com o Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa (RSBL), a Universidade de Évora, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e o Instituto Superior de Agronomia.

A investigação sobre este assunto é ainda incipiente em Portugal, havendo todavia estudos avançados noutros países onde este fenómeno assume maiores proporções. Por essa razão, o primeiro passo consistiu em criar procedimentos metodológicos que possibilitassem o desenvolvimento deste estudo, permitindo a actualização constante da base de dados e uma reanálise das variáveis consideradas sempre que necessário.

Este artigo apresenta as principais propriedades das árvores em meio urbano e as características específicas do clima e das árvores da cidade de Lisboa. Será também explicada a metodologia utilizada para recolher e analisar os dados e os primeiros resultados obtidos.

Estratégias de adaptação das árvores e potenciais efeitos do vento forte

O vento é o causador da maior carga que as árvores têm que suportar (James, 2003). Contudo, os danos causados pelas condições meteorológicas às árvores em meio urbano dependem de variados factores, nomeadamente das características das árvores, das condições físicas e fitossanitárias influenciadas pelo ambiente urbano e da severidade das situações meteorológicas. Os efeitos dos ventos fortes sobre as árvores dependem das características da espécie e das condições de cada indivíduo. A idade, dimensão, densidade da folhagem, largura do fuste, densidade da madeira, entre outros factores, influenciam a resistência da árvore às doenças e aos ventos fortes. Cada indivíduo, de determinada espécie, apresenta assim um nível de resistência diferente à força do vento, o que dificulta a generalização de resultados. Para James (2003), a força de cada membro estrutural depende do tamanho e da forma da secção transversal do tronco e da flexibilidade da madeira (as árvores mais jovens são mais flexíveis). Para além disso, as próprias árvores apresentam adaptações à força do vento, como por exemplo, a variação na grossura dos anéis de crescimento ou a forma dos ramos e da própria árvore.

Duryea (1997) verificou que, após a passagem de 2 furacões na Florida, Estados Unidos da América, durante o ano de 1995, as espécies de maior dimensão tinham tendência a provocar mais estragos materiais do que as espécies de menor dimensão; para além disso, identificou as espécies com maior probabilidade de causar estragos, reconhecendo a maior capacidade de resistência a furacões das espécies autóctones, ao contrário do que acontece com algumas espécies introduzidas, que são menos resistentes e têm predisposição para serem afectadas por insectos e doenças após a ocorrência de fenómenos naturais extremos.

Condições físicas adversas do ambiente urbano

O clima, a luminosidade, as condições do solo e a qualidade do ar são mais restritivos em meio urbano do que no meio rurais e, por isso, desfavoráveis para o desenvolvimento da maior parte das espécies arbóreas. As árvores em áreas urbanas têm de suportar níveis de insolação mais baixos e temperaturas mais elevadas (devido ao efeito da ilha de calor) do que em meios não-urbanos.

Dentro das áreas urbanas, estas condições são mais restritivas para as árvores plantadas em áreas pavimentadas do que para as árvores localizadas em jardins, uma vez que as primeiras estão expostas a níveis mais elevados de stress, o que lhes reduz o tempo de vida (Fabião, 1996; Nilsson *et al.*, 2000). Para além disso, o número de espécies plantadas nas áreas pavimentadas é geralmente bastante mais reduzido do que nos outros ambientes urbanos, nomeadamente em parques. Por exemplo, nas ruas de Lisboa, cerca de 55% das árvores plantadas nas ruas de Lisboa estão representadas por apenas 5 géneros (Soares e Castel-Branco, 2007). A construção de edifícios e de pavimentos causa a diminuição dos níveis das toalhas freáticas, a remoção da camada superficial e a compactação do solo, com consequências negativas para o volume de solo disponível para a expansão das raízes, para o teor de nutrientes disponível e para a permeabilidade do solo, restringindo a capacidade de captação de água e de ar pelas raízes.

Adicionalmente, a poluição do ar, através das emissões industriais e sobretudo geradas pelos automóveis, tem efeitos negativos, podendo até provocar o envenenamento das plantas por sais, gases e óleos. Para além disso, procedimentos inadequados aplicados durante a plantação e a poda, impactes físicos causados por carros e por materiais de construção e os insectos e doenças constituem ainda factores de adversidade que afectam as condições fitossanitárias das árvores em meio urbano.

As árvores em Lisboa

A criação de espaços verdes públicos em Lisboa data do século XIX. Entre os sécs. XIX e XX, a expansão da cidade seguiu um modelo baseado em ruas arborizadas e quarteirões regulares, sendo cada bairro configurado a partir de um plano específico. Esta óptica de planeamento urbano integrava espaços verdes no traçado das avenidas largas destinadas à circulação motorizada, que se mantém até aos dias de hoje. Durante a primeira metade do séc. XX, durante o período de Duarte Pacheco, pôs-se também em prática a ideia de arborizar a Serra de Monsanto, cumprindo objectivos de fornecimento de lenha e madeira mas também

de melhoria do clima e da saúde pública, dando origem a um “pulmão verde” na cidade, (Lopes, 2003 e Soares e Castel-Branco, 2007).

A introdução de espécies alóctones na cidade é devida inicialmente à expansão marítima, que permitiu a obtenção de novas espécies para ornamentação e estudo. Hoje em dia, os espaços verdes contêm uma grande variedade de espécies tanto adaptadas originalmente às condições climáticas de Lisboa, como também espécies exóticas e de climas frios (Moreira, 1998).

Com base nos inventários de espécies arbóreas que se realizaram oficialmente a partir de 1929, as espécies com maior representação nos arruamentos de Lisboa são o lodão-bastardo (*Celtis australis* L.), o plátano (*Platanus hybrida* Brot.), várias espécies de tília (*Tilia spp.*), o jacarandá (*Jacaranda mimosifolia* D.Don.), o ácer-negundo (*Acer negundo* L.) e diferentes espécies de choupo (*Populus alba* L., *Populus nigra* L. e *Populus x canescens*) (Fig. 1). A abundância das diferentes espécies varia ao longo do tempo, provavelmente em virtude das preferências individuais dos responsáveis pelo planeamento das ruas arborizadas, das tendências da época e das características das próprias espécies, que as tornam mais ou menos resistentes às pragas e doenças (Soares e Castel-Branco, 2007)

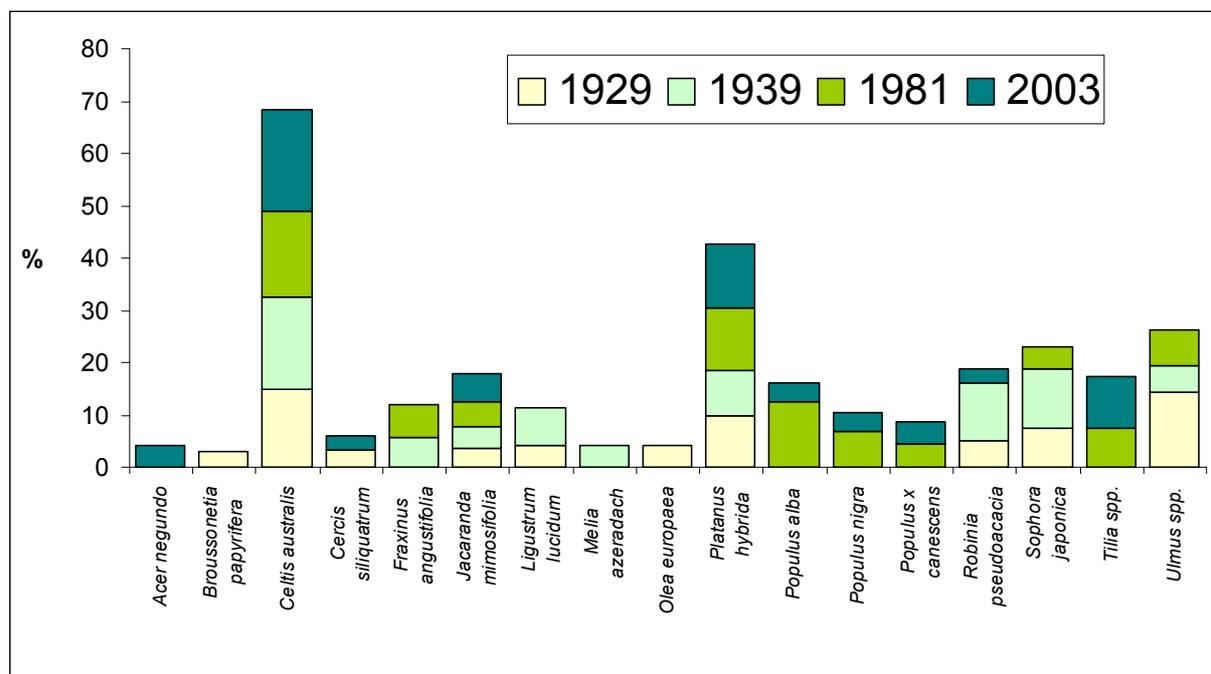


Figura 1 - Espécies arbóreas dominantes nas ruas de Lisboa registadas em cada inventário
 Fonte: Soares e Castel-Branco, 2007

Existem também na cidade cerca de 50 árvores classificadas como de Interesse Público¹, tanto espécies autóctones (*Q.suber*, *Q. rotundifolia*, *Q. robur*, *Q. faginea*, *Q.coccifera*) como exóticas (*Phoenix dactylifera L*, *Ficus macrophylla Desf*), constituindo um património que se deve preservar, estando muitas destas espécies adaptadas ao clima Mediterrâneo, apesar das alterações que se têm verificado nos últimos anos no ambiente urbano poderem alterar o processo de crescimento das árvores.

O clima urbano de Lisboa

O clima de Lisboa caracteriza-se pela existência de uma ilha de calor (IC)², com propriedades distintas consoante o tipo (de superfície, da atmosfera urbana inferior e da atmosfera urbana superior). No caso da IC da atmosfera urbana inferior (abaixo do nível dos telhados dos edifícios), verifica-se que ocorre em 95% das noites e em 85% dos dias, com maior intensidade no Verão e em situações de vento moderado de O e NO e com intensidades medianas entre 1.7 e 2°C (Alcoforado *et al.*, no prelo). A IC tem consequências para o consumo de água e de energia e para a qualidade do ar, afectando a saúde e conforto dos habitantes e influenciando também as condições urbanas que afectam o desenvolvimento da vegetação, podendo estimular a actividade biológica e alterar os regimes fenológicos.

Os regimes de vento na cidade caracterizam-se por diferenças marcadas entre as estações do ano. Durante o Inverno, o vento sopra com maior frequência do quadrante Oeste (SO, O e NO). Em Dezembro, a direcção predominante é NE, enquanto que em Janeiro e Fevereiro é de Oeste. A partir de Março, nota-se um aumento da frequência dos ventos do quadrante Norte (Alcoforado, 1992). No Verão predomina a “nortada”, vento relativamente forte de quadrante Norte, que ocorre próximo da costa ocidental da Península Ibérica. No litoral junto a Lisboa, o fluxo é geralmente de norte, quando existe um anticiclone Atlântico, eventualmente prolongado em crista segundo os meridianos, ou uma depressão sobre a Península Ibérica ou a oriente desta (Lopes, 2003). A nortada assume grande importância para a cidade no que respeita à qualidade do ar e ao conforto, uma vez que promove a dispersão de poluentes e reduz a carga de calor tanto de origem natural como antrópica. Por outro lado, sendo um vento forte em pelo menos 27% dos dias entre Junho e Setembro, com velocidade média de 15 km/h, mas podendo atingir 50 km/h ao início da tarde e 70 km/h antes do anoitecer (Alcoforado, 1992 e Lopes, 2003), a nortada pode causar desconforto e dificuldades

¹ Árvores de Interesse Público: árvores que pelo seu porte, desenho, idade e raridade se distinguem dos outros exemplares. Os motivos históricos ou culturais são também factores a ter em conta (DGRF, n.d.)

² Porção do espaço urbano em que a temperatura do ar é mais elevada do que nos arredores próximos (Alcoforado, 1992)

de movimentação nas pessoas, principalmente as que utilizam áreas de recreio. Segundo Saraiva *et al.* (1997), quando a velocidade efectiva³ do vento ultrapassa os 9 m/s, o desempenho dos pedestres é afectado, enquanto que os ventos de velocidade superior a 20 m/s podem tornar-se perigosos para pessoas mais vulneráveis. A plantação de árvores como barreira aos ventos fortes em áreas adequadas pode reduzir a possibilidade de ocorrência de danos pessoais e materiais.

A queda de árvores na cidade de Lisboa

A queda de árvores, pernadas e ramos é relativamente frequente na cidade de Lisboa, dependendo da estação do ano e das condições meteorológicas. Nos últimos 30 anos, foram registadas várias tempestades com ventos fortes em Lisboa, com rajadas máximas na ordem dos 22 a 33 m/s (80 a 120 km/h). Segundo Borges (1971), este intervalo corresponde a um período estatístico de retorno de 2 a 8 anos. A base de dados internacional de desastres da OFDA/CRED⁴ apresenta algumas situações de ferimentos e mortes durante tempestades com ventos fortes em Portugal, a maioria dos quais relacionados com a queda de árvores; em Dezembro de 2000, por exemplo, uma tempestade causou 4 mortes, 10 feridos e 60 desalojados no país.

Metodologia

Com o intuito de preencher a lacuna existente em termos metodológicos, foi necessário definir logo de início um esquema de trabalho que estruturasse as acções necessárias para desenvolver este estudo, permitindo também ajustamentos futuros. A Fig. 2 mostra as principais fases de trabalho.

³ A velocidade efectiva combina simultaneamente as velocidades médias e as rajadas

⁴ Para que um acontecimento seja inserido nesta base de dados, é necessário que cumpra pelo menos um dos seguintes requisitos: 10 ou mais mortes de pessoas, 100 pessoas afectadas; pedido de ajuda internacional ou declaração de estado de emergência

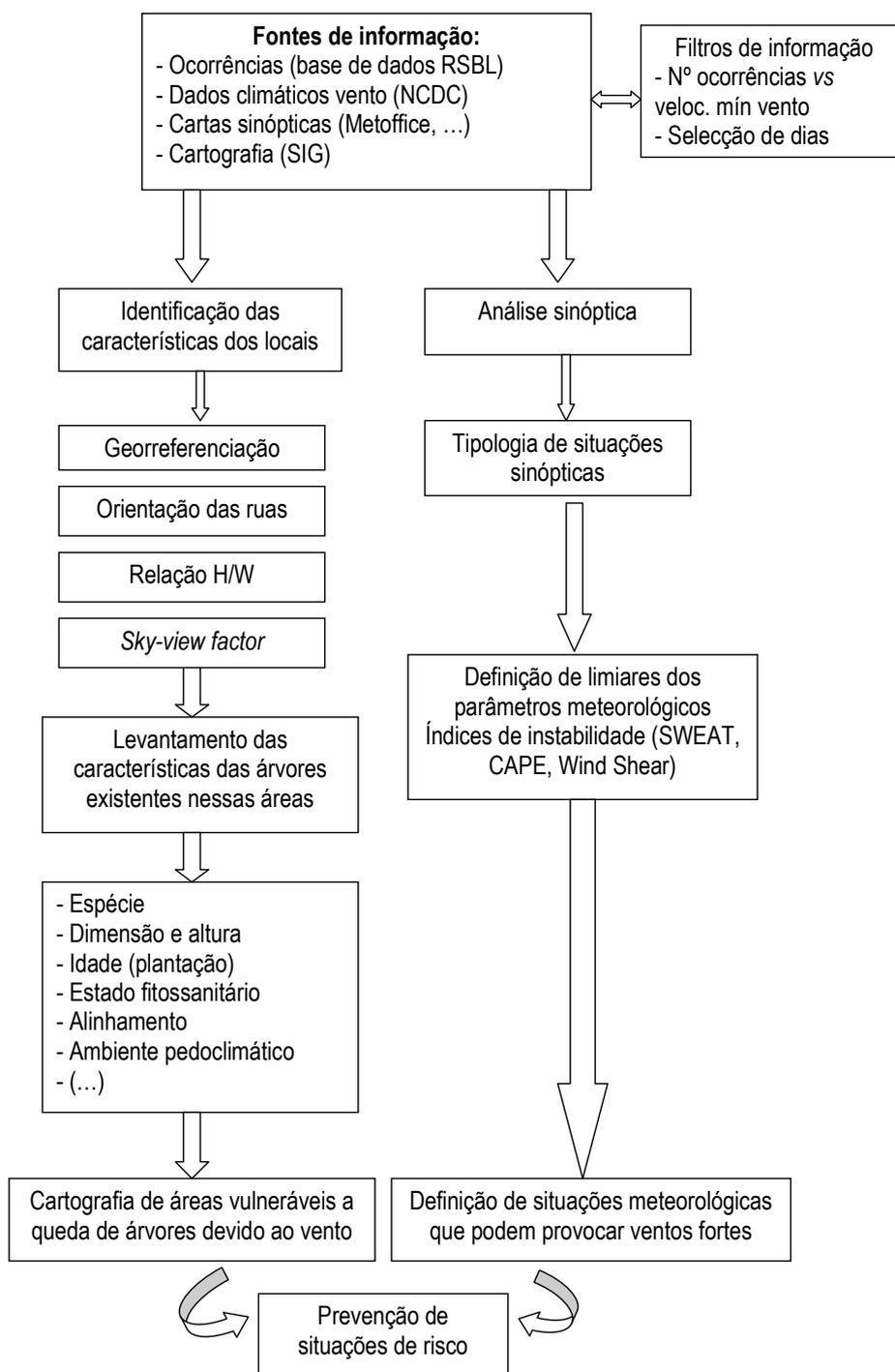


Figura 2 – Esquema de trabalho

Recolha de dados

Os dados foram obtidos a partir da base de dados compilada pelo RSBL, organismo responsável pelo registo das ocorrências, pela limpeza da área onde ocorre a queda e pela

notificação da entidade responsável pela manutenção das árvores de rua, normalmente a Câmara Municipal de Lisboa.

Os primeiros dados obtidos reportavam-se às ocorrências entre 1999 e 2003. Até 1998, as ocorrências eram registadas manualmente em formulários, sendo posteriormente agregados em livros e arquivados. Tendo em consideração a disponibilidade limitada de recursos humanos e de tempo, a recolha dos dados anteriores a 1998 exigiu a definição de um método de selecção de dias nos quais a ocorrência de queda de árvores tivesse sido mais provável. Procedeu-se à análise dos dados das ocorrências disponíveis em combinação com dados horários de velocidade e direcção do vento, tendo-se seleccionado apenas os dias em que se registaram 3 ou mais ocorrências, para evitar a inclusão de quedas provocadas por causas não meteorológicas. Foram atribuídos a cada ocorrência os valores de velocidade e direcção do vento correspondentes ao início da hora registada pelo RSBL. Para cada ocorrência foram calculadas as médias móveis de velocidade do vento correspondentes às 3h, 6h, 9h e 12h anteriores à hora de registo. Verificou-se que a maioria das quedas de árvores entre 1999 e 2003 ocorreu quando a velocidade do vento tinha atingido pelo menos 7 m/s durante as 6 horas anteriores. Este limite foi aplicado na selecção dos dias entre 1990 e 1998 com base nos dados meteorológicos, assumindo que estes seriam os dias com maior probabilidade de ocorrência de quedas de árvores. Esta metodologia foi testada durante a recolha manual dos dados nos arquivos do RSBL, com uma tolerância de dois dias antes e depois dos dias seleccionados, verificando-se que era suficientemente precisa.

A recolha de dados permitiu reunir informação sobre as quedas de árvores ocorridas entre 1990 e 2006. A informação compilada pelo RSBL incluía a data, a hora do telefonema recebido no centro de chamadas e o local da queda, normalmente o nome da rua e o número de porta mais próximo ou um elemento de fácil identificação, como um cruzamento, uma igreja, uma escola, etc. Esporadicamente, eram também registados a espécie da árvore caída, a dimensão, a causa provável da ocorrência e os danos causados (Fig. 3).

A informação recolhida pelo RSBL, apesar de útil, apresenta algumas limitações:

- A hora registada para cada ocorrência corresponde à hora de recepção do telefonema e não à hora da queda, havendo assim probabilidade de haver um desfasamento entre a hora da ocorrência e a chamada, que não foi possível identificar. Por essa razão, para analisar os dados, optou-se por fazer corresponder a hora da ocorrência ao início da hora respectiva e calcular médias móveis da velocidade do vento para as horas anteriores.
- As ocorrências registadas na base de dados referem-se apenas a incidentes que causaram danos para as pessoas, excluindo-se as quedas de árvores em parques e quintas, por exemplo;

- A informação sobre a espécie, a idade, a dimensão e as condições fitossanitárias das árvores caídas não é registada com a frequência necessária;
- A metodologia aplicada pelo RSBL para registar as ocorrências sofreu alterações ao longo do período de tempo estudado. Os formulários de preenchimento e, conseqüentemente, o tipo de informação registada, mudaram em 1994 e 1997;
- O modo de registo e a terminologia utilizada não estão suficientemente definidos entre os bombeiros;
- As informações das ocorrências são registadas muitas vezes em situações de emergência, o que pode comprometer o grau de fiabilidade.

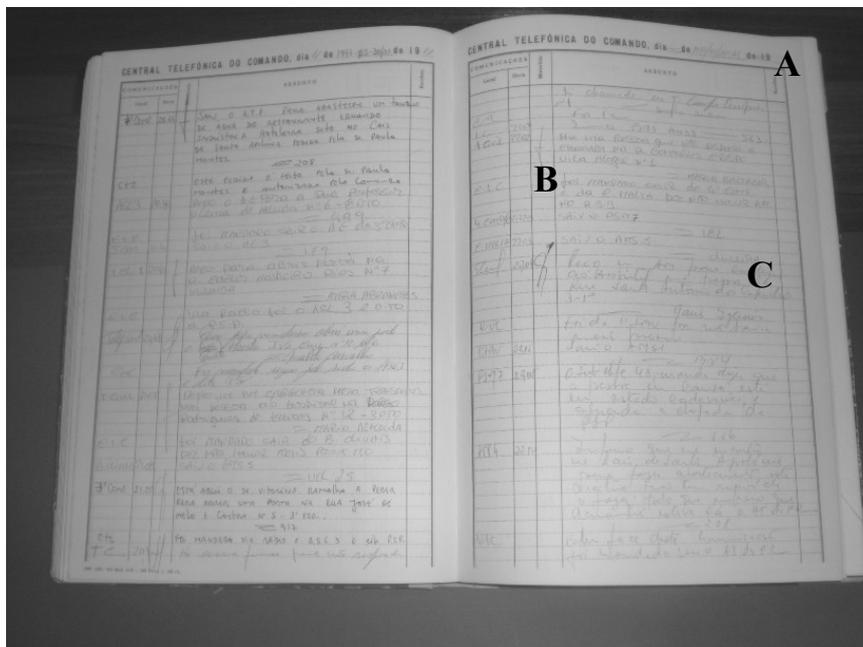


Figura 3 - Livro de registo de ocorrências existente nos arquivos do RSBL

A – Registo da data. B – Registo da hora. C – Descrição do tipo de ocorrência (acidente, queda de árvore, inundação, etc)

De modo a minimizar os aspectos negativos associados ao registo da informação, são apresentadas algumas propostas no final deste artigo.

A informação recolhida do RSBL e os dados meteorológicos foram compilados numa base de dados criada para este estudo, onde se integra outro tipo de informação, como por exemplo, a orientação das ruas, a relação H/W, o *sky-view factor* (Fig. 4).

N	Ano	Mes	Dia	Hora	Rua	Lote	Orientacao Rua	X	Y
1	1990	10	7	15:19	Av. Almirante Gago Coutinho	frente ao 76	N-S	113295,286	198631,071
2	1990	10	7	16:08	Av. Estados Unidos America	cruzamento Av. Roma	O-E	112247,012	198451,209
3	1990	10	7	14:24	R. Nova do Grilo	frente ao 24	SO-NE	115044,727	196408,805
4	1990	10	7	21:59	R. Rosa Araujo	frente ao 43	SO-NE	111595,6	195383,108

QA	QP	QR	Dim_GP	Dim_MP	Dim_PP	Especie	Causa	Rumo	m_s	3hmax	6hmax	12hmax	Viaturas
1								N	9,387	9,387	9,387	9,387	
1								N	9,387	9,387	9,387	9,387	
	1							N	9,387	9,387	9,387	9,387	
	1							NO	7,599	7,152	9,387	9,387	
1								S	8,046	6,258	6,258	6,258	

Figura 4 - Base de dados utilizada para este estudo, em actualização.

QA = Queda de árvore. QP = Queda de pernada. QR = Queda de ramo.

DIM_GP = Dimensão grande porte. DIM_MP = Dimensão médio porte. DIM_PP = Dimensão pequeno porte

Esta informação foi introduzida num SIG, com o intuito de identificar padrões de localização das quedas de árvores e definir possíveis relações com as características dos locais. Foram atribuídas coordenadas a cada ocorrência, a partir dos dados de localização das ocorrências registadas pelo RSBL. Nalguns casos, em virtude de registos incompletos ou de alterações nas ruas da cidade, não foi possível localizar com exactidão as árvores caídas, tendo-se atribuído as coordenadas do ponto central da rua ou de um elemento de fácil identificação mais próximo.

Resultados e discussão

Nesta primeira fase, foram analisados os dados entre 1990 e 2006, relativos aos 17 anos de ocorrências mais recentes. Foi possível verificar a distribuição das ocorrências por anos e meses. Com base na correspondência entre as quedas de árvores e as condições meteorológicas, foi também possível calcular as médias móveis de velocidade do vento para a hora da ocorrência e para as horas anteriores (3h, 6h, 9h e 12h) e estabelecer a frequência de rumos por meses e estações do ano. As estações do ano foram definidas a partir da metodologia aplicada por Lopes (2003), a partir do regime geral do vento observado na estação meteorológica de Gago Coutinho (Aeroporto). Foram utilizados dados de velocidade e direcção do vento do período de 1971 a 1980 em séries de 10 minutos. A análise de componentes principais de A e K da função de Weibull revelou que o mês de Setembro apresenta um regime de ventos diferenciado dos outros meses de Verão (Junho, Julho e Agosto), tendo por isso sido incluído nos meses de Outono (Setembro a Novembro). O

Inverno corresponde aos meses de Dezembro a Fevereiro e a Primavera a Março, Abril e Maio.

Verificou-se que a maior percentagem de quedas (70.5%) ocorreu nos últimos 7 anos, a partir do ano 2000. Antes disso, apenas em 1993 e 1997 se registou uma percentagem de ocorrências mais significativa, cerca de 6 e 8%, respectivamente (Fig. 5). Existem várias explicações possíveis para este facto: no início dos anos 90, as árvores eram mais jovens; nos últimos anos tem-se assistido a um aumento do tráfego automóvel e, conseqüentemente, de poluentes que podem afectar as condições fitossanitárias e diminuir a resistência das árvores aos ventos fortes; os métodos de registo utilizados pelo RSBL foram alterados por diversas vezes durante a década de 90, o que se pode traduzir em diferenças no tipo de informação inserida; durante o período estudado, as condições meteorológicas mais adversas poderão ter ocorrido mais frequentemente nos anos mais recentes. Esta linha de investigação será seguida futuramente.

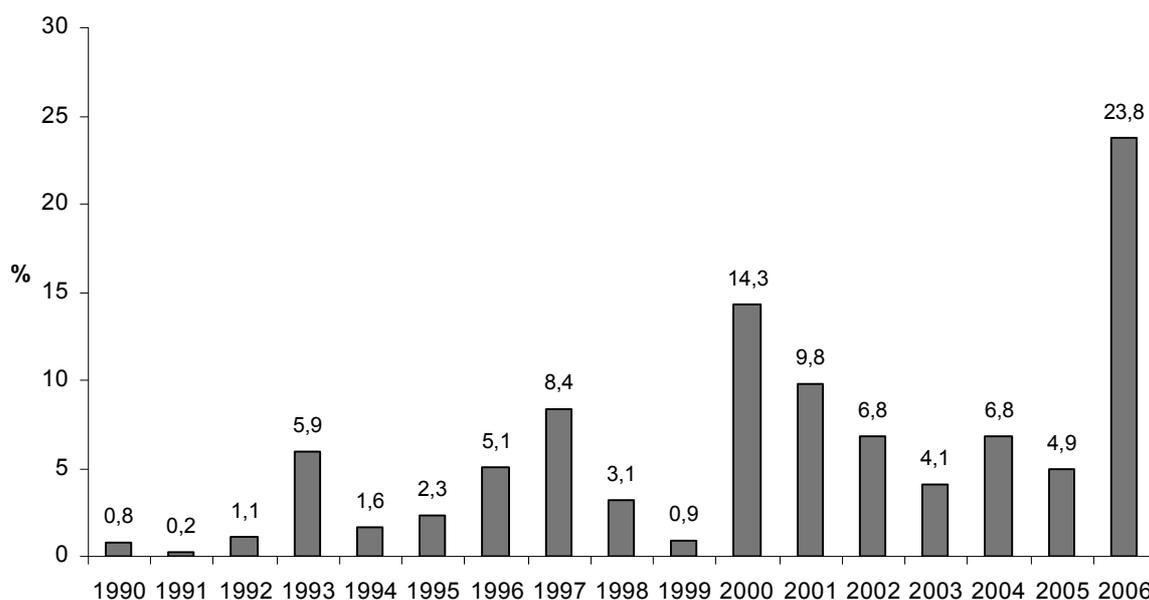


Figura 5 – Distribuição das ocorrências por anos, entre 1990 e 2006

Em relação à distribuição do número de ocorrências por estações do ano e meses, verifica-se uma concentração no Outono e no Inverno (cerca de 76% do total), sendo que os meses de Outubro e Novembro registam o maior número de ocorrências (Figs. 6 e 7)

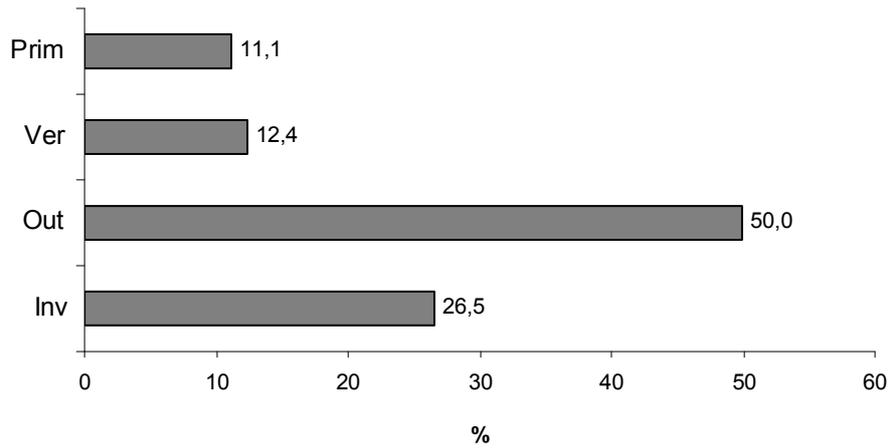


Figura 6 - Número de ocorrências por estações do ano, entre 1990 e 2006

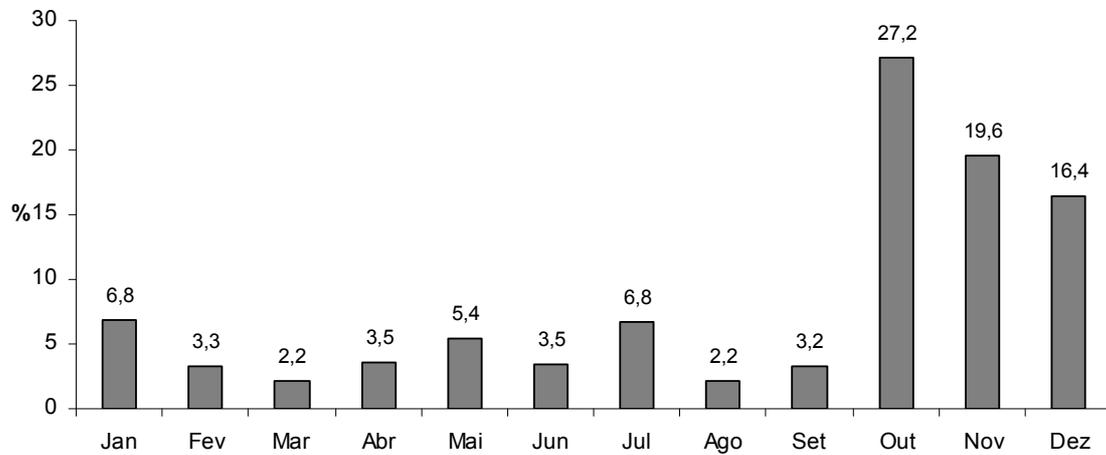


Figura 7 - Número de ocorrências por meses, entre 1990 e 2006

Analisando a distribuição das ocorrências tendo em conta os rumos do vento, verifica-se que o maior número de quedas se regista com rumos do quadrante sul (Fig. 8), os quais se registam com maior frequência durante os meses de Outono e Inverno.

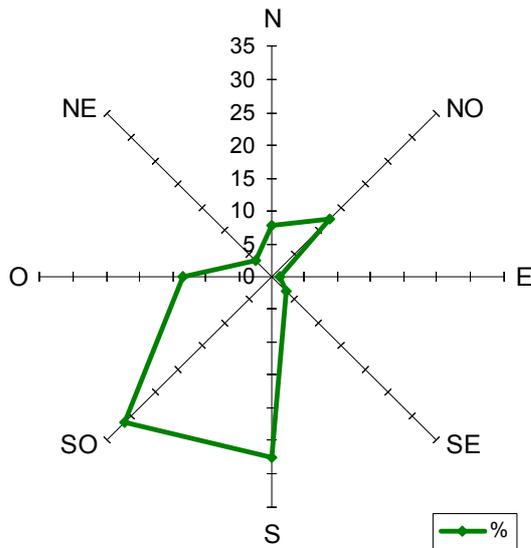


Figura 8 - Ocorrências (%) por rumos do vento

Os rumos dominantes do vento que causam quedas de árvores variam de acordo com as estações do ano (Fig. 9); nos meses de Verão (Junho, Julho e Agosto), predominam os rumos de norte e noroeste (nortada), enquanto que no Outono (Setembro, Outubro e Novembro) são os ventos do quadrante sul que predominam. No Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), evidencia-se uma maior predominância dos ventos de NE, E, SE e S.

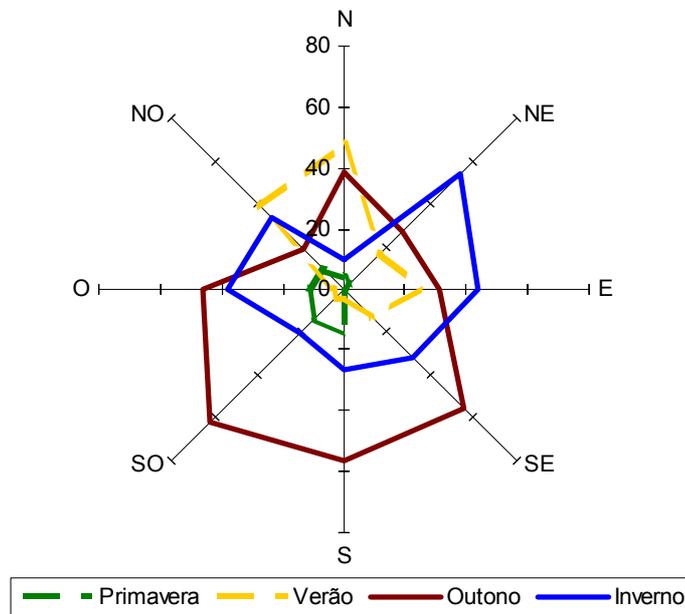


Figura 9 - Rumos do vento de acordo com as estações do ano

A velocidade do vento varia ligeiramente com o rumo. Os ventos de O, SO e S atingem maiores velocidades (Fig. 10). A velocidade do vento é maior à medida que se analisam as horas anteriores ao registo das ocorrências, para qualquer um dos rumos, o que pode resultar do desfasamento entre a hora da ocorrência e a chamada para o RSBL.

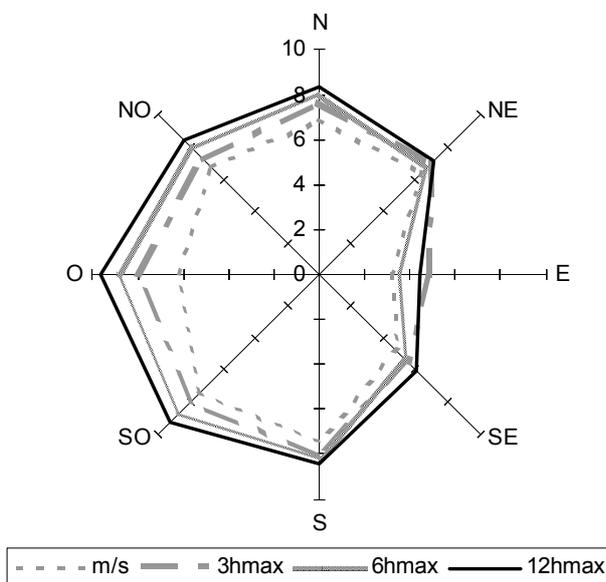


Fig. 10 - Média da velocidade máxima do vento na hora do registo (m/s) e nas horas anteriores (3h, 6h, 12h)

Em relação à localização das ocorrências, evidencia-se uma dispersão generalizada das ocorrências por toda a cidade, com excepção das áreas do Aeroporto (com poucas árvores) e de Monsanto (a maioria delas não é registada porque não implicam danos consideráveis para a população e equipamentos). Apesar disso, verifica-se uma tendência de concentração ao longo das ruas que ligam o Campo Grande à Baixa (Fig. 11).

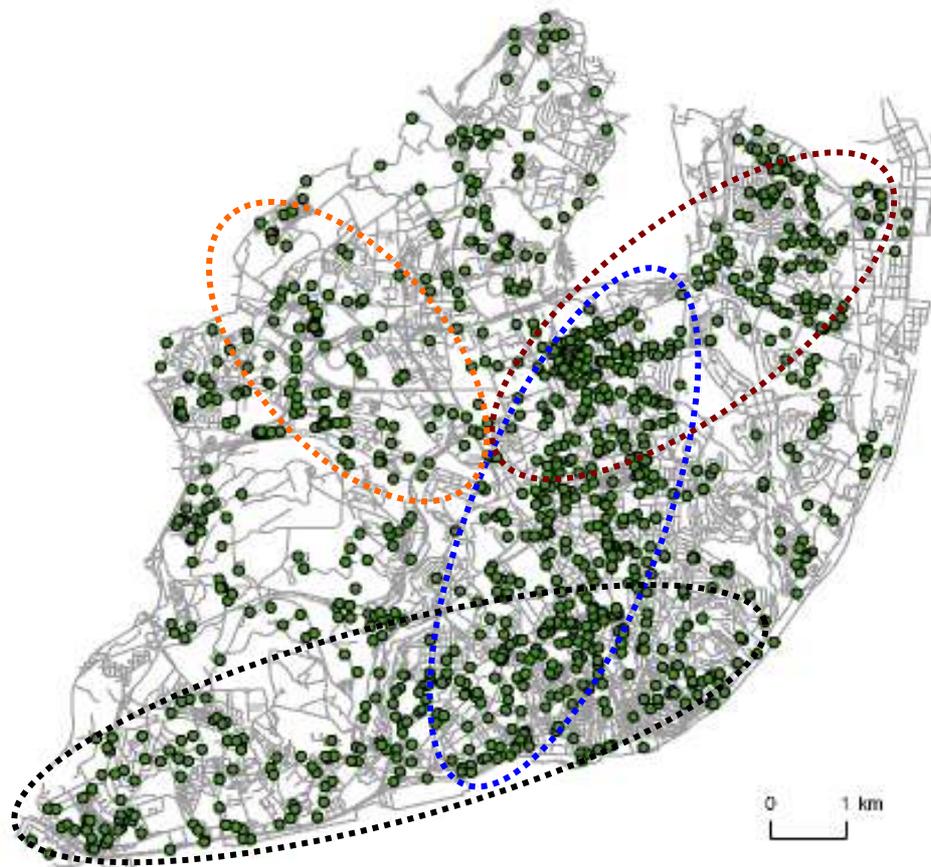


Figura 11 - Localização das ocorrências na cidade de Lisboa entre 1990 e 2006 (n=1241), Os principais eixos da cidade onde ocorrem quedas de árvores estão delimitados.

Esta tendência de concentração nas áreas centrais da cidade, nas designadas Avenidas Novas, verifica-se nas várias estações do ano, apesar de variações significativas no número de ocorrências (Fig. 12, A a D).

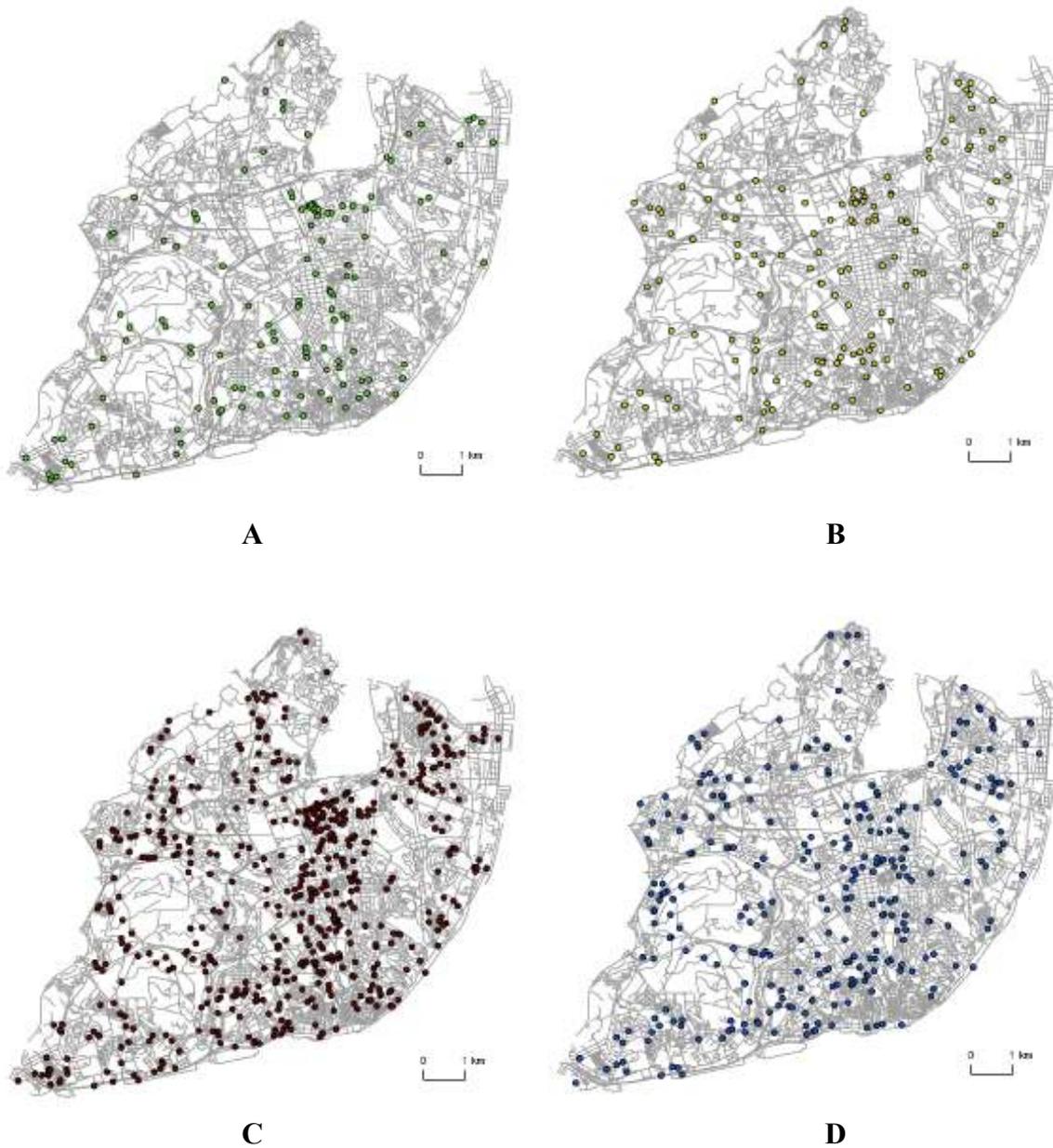


Figura 12 – Localização das ocorrências por estação do ano.
 A-Primavera, B-Verão, C-Outono, D-Inverno.

O número de ocorrências de queda de árvores aumenta muito no Outono em relação ao Verão e à Primavera. Na estação seguinte (Inverno), verifica-se uma diminuição do número de ocorrências, menos significativa do que na Primavera e no Verão.

Durante o Verão, as quedas originadas por vento do quadrante Norte correspondem a 71% do total de ocorrências durante esta estação. Nas restantes estações do ano, os ventos de S e SO são responsáveis por 63% das ocorrências (Fig.13, A e B).

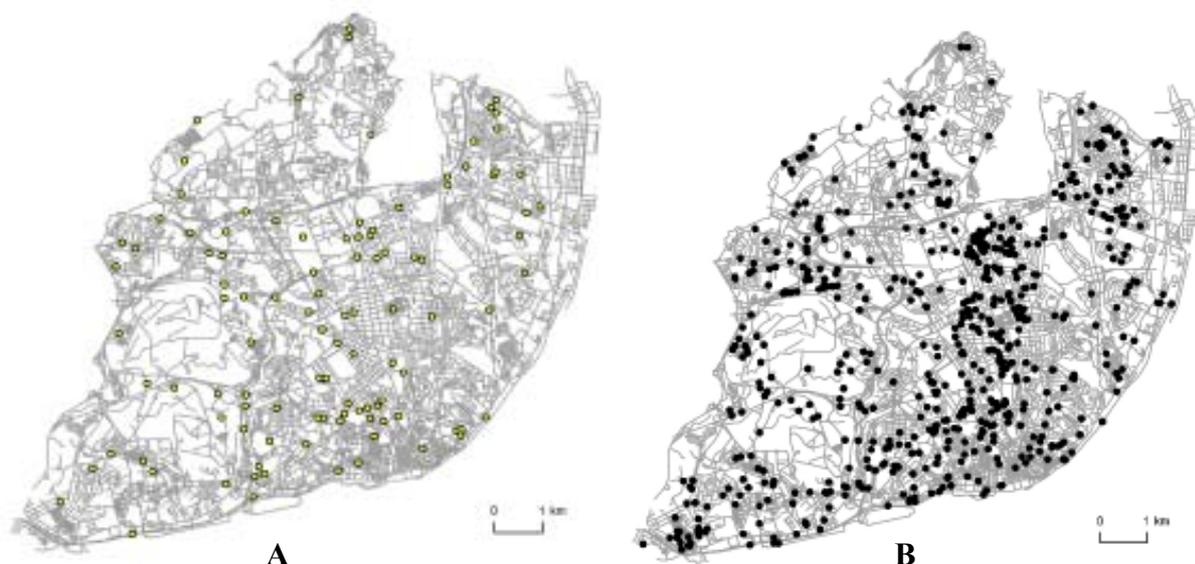


Fig 13 – Localização das quedas de árvores em Lisboa quando ocorrem ventos de quadrante norte no Verão (A) e ventos de rumo sul e sudoeste nas restantes estações do ano (B)

A relação entre a localização das ocorrências e o rumo do vento não está ainda bem definida e será alvo de estudos mais aprofundados.

Conclusão

A queda de árvores, pernadas e ramos é um fenómeno relativamente frequente na cidade de Lisboa. Existem variados factores que influenciam a resistência das árvores a quedas, tais como as características biofísicas das árvores, as condições meteorológicas, especialmente os ventos fortes, e as características dos locais. Para estudar estas causas, foi criada uma base de dados com as ocorrências de quedas de árvores registadas pelo RSBL entre 1990 e 2006, associada a informação relativa à velocidade e rumo do vento, à localização e orientação das ruas, à espécie e condições fitossanitárias das árvores, entre outros parâmetros.

A maioria das quedas registou-se nos últimos sete anos, com um máximo de 24% no ano de 2006. A década de 90 registou apenas 30% das ocorrências, o que pode ser resultado da idade das árvores e dos níveis de poluição resultantes do aumento do tráfego automóvel nos anos mais recentes, que influencia as condições fitossanitárias da vegetação.

As quedas ocorrem maioritariamente no Outono, nos meses de Outubro e Novembro (57%). No Verão, o vento de rumo norte é responsável por 71% das ocorrências. Nas restantes estações do ano, 63% do total de ocorrências correspondem a ventos de sul e sudoeste. Verificou-se que a maioria das quedas ocorre quando determinados limites de velocidade do

vento são ultrapassados, nomeadamente 7 m/s. A velocidade do vento varia ligeiramente com o rumo do vento, sendo os rumos de oeste e sudoeste os que atingem, em média, maiores velocidades.

A localização das ocorrências é relativamente dispersa pela cidade, com maior incidência na área entre Campo Grande e a Baixa, nas Avenidas Novas. Não se verificam diferenças significativas na localização das ocorrências por estação do ano.

A metodologia aplicada demonstrou ser apropriada para este estudo, apesar das limitações da informação inicial e das dificuldades encontradas. É necessário aprofundar esta pesquisa e a base de dados deverá ser actualizada e completada com todos os parâmetros que possam influenciar, directa ou indirectamente, a vulnerabilidade das árvores de rua a quedas, de forma a implementar com sucesso um “plano de alerta” para a cidade de Lisboa.

Para melhorar a recolha de dados, imprescindíveis para a prossecução deste estudo, apresentamos algumas recomendações:

- Definição de uma linguagem comum entre os bombeiros do RSBL e os técnicos da Câmara Municipal de Lisboa, que possa ser partilhada com os investigadores. Deverá ser criado um glossário dos termos utilizados na descrição das árvores e do tipo de ocorrências, incluindo a definição exacta da dimensão das árvores, pernadas e ramos e outros parâmetros importantes;
- Utilização de um GPS para a localização exacta das ocorrências, informação necessária para compreender muitos dos factores que influenciam a queda de árvores na cidade;
- Criação de um formulário baseado numa “checklist” de factores que podem influenciar as quedas de árvores; este formulário seria preenchido pelos bombeiros do RSBL no local da ocorrência enquanto procediam à limpeza da área, o que permitiria completar a base de dados com informação mais precisa, para ser utilizada em análises futuras;
- Desenvolvimento de um programa de formação para os funcionários do RSBL, de forma a clarificar a metodologia descrita e assegurar a aplicação correcta do equipamento, para além de poder fortalecer a relação de trabalho entre investigadores e RSBL.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa pelos dados fornecidos e pelo seu apoio, sem os quais este estudo não poderia ser desenvolvido. Gostaríamos também de agradecer à Prof.^a Maria João Alcoforado e à Prof.^a Maria Eugénia Moreira pelos conselhos obtidos em relação à metodologia aplicada neste estudo e pela revisão do trabalho. À Arq.^a Paisagista Ana Luísa Soares agradecemos igualmente a sua disponibilidade e colaboração.

Este estudo está integrado no projecto “URBKlim: Clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos” (POCI/GEO/61148/2004), co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e pelo FEDER.

Referências

- Alcoforado, M-J. (1992) O clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, vol. 15, CEG, Lisboa: 347 p.
- Alcoforado, M-J., Andrade, H, Lopes, A., Oliveira, S. – A ilha de calor de Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano (no prelo).
- Borges, J. (1971) – *Structural Safety*, Course 101, 2º ed., LNEC, Lisbon, 326 p.
- Clergeau, P. (1996) – Urban biodiversity: is there such a thing? *Le courrier du CNRS*, nº 82:102-104.
- Duryea, M. (1997) – Wind and Trees: Surveys of Tree Damage in Florida Panhandle after Hurricanes Erin and Opal; Institute of Food and Agricultural Sciences; Cooperative Extension Service; University of Florida: 2-7.
- Fabião, A.M.D. (1996) – A agressividade do meio urbano e algumas medidas de mitigação do stress em árvores das cidades. *Cirurgia das Árvores, Workshop*, Lisboa.
- Freer-Smith, P.H.; El-Khatib, A.; Taylor, G. (2004) – Capture of Particulate Pollution by Trees: A Comparison of Species Typical of Semi-Arid Areas (*Ficus Nitida* and *Eucalyptus Globulus*) with European and North American Species, *Water, Air, & Soil Pollution*, 155(1): 173-187.
- James, K. (2003) – Dynamic loading of trees. *Journal of Arboriculture* 29(3): 165-171.
- Jim, C; Liu, H. (1997) – Storm damage on urban trees in Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning* 38: 45-59.
- Lopes, A. (2003) – *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*, Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa: 375 p.
- Lopes, A., Oliveira, S., Fragoso, M., Andrade, J.A., Pedro, P. (2007) – “Wind risk assessment in urban environments: the case of falling trees during windstorm events in Lisbon”. In: Strelcová, K., Skvarenina, J. & Blazenec, M. (eds.): *Bioclimatology and Natural Hazards*, International Scientific Conference (Proceedings), Pol’ana nad Detvou, Eslováquia, 17-20 Setembro 2007.

- McPherson, E.; Muchnick, J (2005) – Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance, *Journal of Arboriculture* 31(6): 303-310.
- Nilsson, K.; Randrup, T.B.; Wandall, B.M. (2000) – Trees in the urban environment. *The forest handbook* (Ed. Evan J), Blackwell Science, Oxford, Vol. 1: 347-361.
- OFDA/CRED International Disaster Database (n.d.) – (<http://www.em-dat.net/>) Acedido em Setembro 2007.
- Randrup, T.B., McPherson, E.G., Costello, L.R. (2003) – A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs and roads. *Urban Ecosystems* 5: 209-225.
- Saebe, A.; Benedikz, T.; Randrup, T.B. (2003) – Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries. *Urban For. & Urban Greening*, 2: 101-114.
- Saraiva, J.G. (1983) – *Aerodinâmica dos edifícios altos: características do escoamento e resposta à turbulência de formas prismáticas*, Tese de Doutoramento, LNEC, Lisboa
- Saraiva, J.G.; Marques da Silva, F.; Silva, F.G. (1997) – O vento, a cidade e o conforto. *IV National Meeting on Comfort in Built Environments*, Bahia, Brasil.
- Soares, A.L.; Castel-Branco, C. (2007) – As árvores da cidade de Lisboa. *Floresta e Sociedade. Uma história em comum*. Ed. Público/FLAD: 289-333.