

Inês Marafuz¹

Delimitação de perímetros de inundação através de Métodos Convencionais e de Modelos Hidrológico-Hidráulicos (Hec-Ras).

Resumo

As cheias são um risco natural recorrente e de difícil previsão, implicando, por isso, que se realizem estudos rigorosos com aplicabilidade ao ordenamento do território, no sentido de prevenir e mitigar os seus efeitos danosos. Este trabalho reflete uma abordagem essencialmente metodológica, expressa pelo estudo comparativo de duas metodologias para a delimitação de perímetros de inundação: uma convencional, apoiada no levantamento topográfico rigoroso em campo e na aplicação de fórmulas matemáticas, e um método hidrológico-hidráulico, efetuado com base em softwares como o *Hec-Ras* e o *Hec-GeoRas*, uma extensão do *ArcGis*. Pretende-se com esta análise, estabelecer um quadro com as vantagens e limitações na aplicação de cada método assim como comparar os requisitos que exigem, ou seja, os equipamentos e dados de base necessários. Os resultados obtidos com estas metodologias serão tão mais rigorosos e realistas, quanto

¹ Doutoranda do Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

mais precisos forem os equipamentos e materiais utilizados e quanto melhor for a qualidade da informação de base.

Palavras-chave: perímetro de inundação, método convencional, Hec-Ras. SIG, fórmula de Loureiro

Abstract

Floods are a recurrent natural hazard and difficult to predict, that involves there will be rigorous studies with applicability for planning, in order to prevent and mitigate them. This work reflects an essentially methodological approach, expressed by a comparative study of two methods for the estimation of flood-prone areas: a conventional method, based on the rigorous field survey and application of mathematical formulas and a hydrologic-hydraulic modeling, made using in software such as Hec-Hec-Ras and GeoRas, an extension to ArcGIS. The aim of this analysis is to provide a table showing the advantages and limitations of the application of each method as well as compare the requirements, ie, equipment's and baseline data needed. The results obtained with these methods will only become more rigorous and realistic, depending on the accurate of the equipment and materials used and quality of the bases information.

Key-words: flooded areas, conventional method, Hec-Ras, GIS, Loureiro's formula

1. Introdução

As cheias são um processo natural recorrente, com manifestos impactos em termos de perdas humanas e prejuízos económicos (Pereira, C., 1995; Jonkman & Vrijling, 2008).

Dadas as alterações climáticas registadas nas últimas décadas, a Agência Europeia do Ambiente (AEA), prevê que estes eventos se tornem cada vez mais frequentes (AEA, 2005), razão pela qual se devem desenvolver estudos que contribuam para a definição rigorosa dos perímetros de inundação. Por outro lado, a pressão/ocupação exercida pela humanidade sobre as planícies de inundação, altera a dinâmica natural destas áreas, o que, por sua vez, reforça o processo destrutivo destes episódios (Velhas, 1991). Estas situações implicam que se reúnam esforços no sentido de avaliar, gerir e prevenir riscos de inundação. A Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 23 Outubro de 2007, a par do que foi exposto na Diretiva 2000/60/CE, estabelece um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundação, com a finalidade de minimizar as suas consequências para o homem, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas. Assim, prevê-se, entre outros, a realização de uma descrição dos episódios que ocorreram no passado e que tenham acarretado impactos negativos sobre a população, bens e ambiente, e com probabilidade significativa de voltarem a suceder; a elaboração de cartas de zonas inundáveis, cartas de risco de inundação e de planos de gestão dos riscos de inundações, tal como preconiza o Decreto-lei 115/2010.

O trabalho que se apresenta, diz assim respeito a uma abordagem essencialmente metodológica, que se baseia na análise comparativa de dois métodos usados na delimitação de perímetros de inundação: o método convencional e o método hidráulico-hidrológico (fig. 1). O primeiro exige um árduo e exaustivo trabalho de campo, uma vez que é necessário realizar um levantamento topográfico rigoroso, com recurso a equipamentos de elevada precisão e a aplicação de fórmulas matemáticas. Já o método hidrológico-hidráulico pode ser realizado com recurso a uma aplicação informática, o *Hec-Ras* (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>), que funciona, praticamente, como base de toda a metodologia (Santos, 2009). Pretende-se, com esta análise, estabelecer um quadro com as vantagens e as limitações na aplicação de cada método e o tipo de aparelhos e dados de base requeridos. Ressalva-se, no entanto, que não foi possível

utilizar as duas metodologias na mesma área de estudo, pela falta de dados de base detalhados o suficiente para se obterem resultados rigorosos.

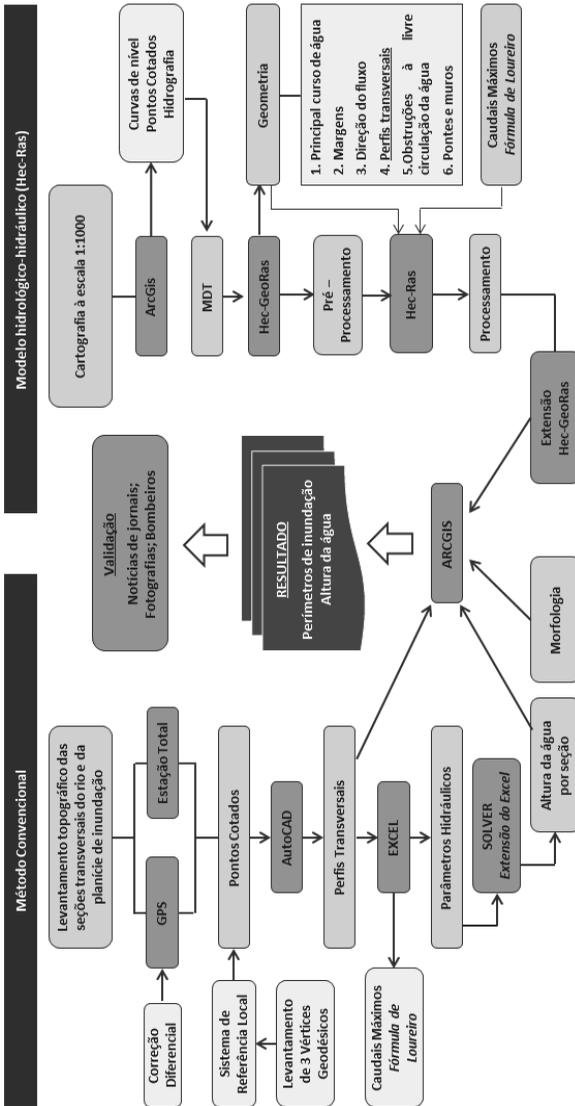


Figura 1. Comparação metodológica entre o método convencional e o método hidrológico-hidráulico.

2. O Método convencional e o método hidrológico-hidráulico

No presente trabalho descrevem-se dois métodos utilizados na delimitação de perímetros de inundação (fig. 1), com a finalidade de estabelecer diferenças entre os processos, as exigências em termos de equipamentos e dados necessários, bem como dos resultados que permitem alcançar.

Ao método convencional está normalmente associado a modelação matemática, englobando diversos métodos e fórmulas para a predeterminação dos caudais de ponta de cheia (Lencastre & Franco, 1984). Nas fórmulas empíricas apenas se considera a área da bacia e os caudais máximos são deduzidos a partir da experiência; as fórmulas cinemáticas têm em consideração o tempo de concentração e a duração da precipitação, abrangendo então as características do movimento da água; os métodos estatísticos permitem analisar os valores referentes a uma secção, a extensão da amostra desses valores através da correlação com a precipitação e a regionalização dos valores alcançados para algumas secções; e o cálculo da cheia máxima provável pode ser estimado, por exemplo, pela precipitação máxima provável (Lencastre & Franco, 1984, Costa & Lança, 2001). O quadro 1 apresenta exemplos de fórmulas empíricas, cinemáticas e métodos estatísticos e os requisitos necessários para a sua aplicação em diferentes bacias hidrográficas.

	Fórmula	Descrição da bacia hidrográfica	Bibliografia
Empíricas	Pagliaro	Áreas <1000 km ²	Lencastre & Franco, 1984; Martins, 2000; Costa & Lança, 2001
	Forti		
	Whistler	Áreas de 1000 a 12000 km ²	
	Iskowski	---	
Cinemáticas	Racional	Áreas ≤ 25 km ²	
	SCS	Áreas <8 km ²	
	Giandotti	---	
	MOCKUS	Tempo de concentração <4 horas	
	DAVID	Áreas <25 km ²	
	Temez	Áreas <75 km ²	
Estatísticos	Loureiro	---	

Quadro 1. Síntese das fórmulas matemáticas e dos requisitos necessários à sua aplicação (adaptado de Marafuz, 2011 p. 78).

Para além da modelação matemática, este método é fortemente dependente de trabalho de campo, na medida em que exige o levantamento topográfico das seções transversais do rio e da planície de inundação. Estes dados são cruciais para que se possam traçar os perfis transversais (por exemplo, recorrendo ao software *AutoCad*) e, deste modo, definir os parâmetros hidráulicos que servirão de base para a determinação da superfície livre de escoamento.

No caso do método hidrológico-hidráulico é necessário ter informação de base, como a altimetria e a planimetria, a uma escala muito pormenorizada, de modo a que se obtenha um bom modelo digital de terreno (MDT). Desta forma, é possível criar facilmente, através da extensão *Hec-GeoRas*, dados de geometria referentes ao principal curso de água, às margens, à direção do fluxo, às obstruções à livre circulação da água, à presença de pontes e muros e ainda traçar perfis transversais. Tal como no método convencional, é de

extrema importância determinar perfis uma vez que o software *Hec-Ras* não entra com o MDT global, mas sim com os pontos “cotados” extraídos do mesmo. Aliado a esta informação é necessário introduzir os valores dos caudais máximos de cheia que foram obtidos, aplicando uma das fórmulas matemáticas anteriormente referidas – no caso, a fórmula de Loureiro (Loureiro, 1984) – que não tem em consideração os movimentos da água. Quer isto dizer que existe uma certa ligação entre ambas as metodologias. Processado o modelo e exportado para o software *ArcGis*, utiliza-se novamente a extensão *Hec-GeoRas* para se obter então a altura da coluna de água e a sua velocidade. O modelo hidrológico-hidráulico pode ainda ser refinado com trabalho de campo, no sentido de se incorporarem elementos do terreno que, porventura, não estejam incluídos na cartografia. Por outro lado, é uma etapa importante pela necessidade de se validarem os resultados finais.

Como podemos observar pela figura 1, há ainda uma fase comum às duas metodologias que diz respeito à validação dos resultados, quer pelo reconhecimento das condições geomorfológicas da área em estudo, nomeadamente pela inventariação de pontos/alturas de inundação (marcas de cheia), quer pela consulta de jornais locais e dos registos das autoridades de proteção civil.

3. Considerações gerais

As cheias, como episódios naturais recorrentes e de difícil previsão, carecem de estudos aprofundados e rigorosos que constituam um instrumento de trabalho para o ordenamento do território, sobretudo pela sua aplicabilidade à prevenção e mitigação destes eventos. Neste contexto, têm sido desenvolvidos em Portugal trabalhos que envolvem o uso de métodos convencionais e de modelos hidrológico-hidráulicos. Evidenciando alguns desses estudos, assinalamos o trabalho de Velhas (1991) que consistiu na aplicação de um método convencional – a fórmula de Giandotti - para a

determinação dos caudais máximos de cheia. Para obter as cotas atingidas por estes caudais num período de retorno de 10, 20 e 100 anos, recorreu à fórmula de Manning-Strickler composta, entre outros, por parâmetros hidráulicos. Estes, foram calculados com base nos perfis transversais traçados. Por fim, a delimitação das áreas inundáveis teve por base as observações locais que possibilitaram uma visão da topografia e dos parâmetros geométricos do leito e da planície aluvial. Já Ramos (1994), aplicou o método estatístico de Loureiro, por se adaptar especificamente a Portugal, com uma finalidade meramente comparativa dos caudais máximos de cheia que se podiam produzir em quatro sub-bacias. Reis (2006) traçou perfis transversais em várias seções do vale de cada sub-bacia que se propôs a estudar (ribeiras com as cabeceiras localizadas na Serra de Grândola), e, estimou apenas o tempo de concentração das mesmas, com recurso às fórmulas de Giandotti e de Temez.

A modelação hidrológica e hidráulica tem-se vindo a revelar uma mais-valia em estudos de cheias, por permitir, de forma automática, delimitar perímetros de inundação, ainda que apresente limitações sobretudo por requerer cartografia adequada. Refere-se o trabalho de Santos (2009) que utilizou duas metodologias para obter cartografia de áreas inundáveis. Por um lado, aplicou o que designou de “método de reconstituição hidrogeomorfológica” que consistiu no uso combinado de métodos históricos, paleogeográficos, geológicos e geomorfológicos. No entanto, apontou como principal limitação deste método *a dificuldade em estabelecer relações entre a frequência de determinada cheia/inundação e a respetiva área inundável identificável na morfologia do terreno* (Santos, 2009). A segunda metodologia estava, então, relacionada com as técnicas hidrológicas e hidráulicas, realizadas com base num *software amplamente divulgado e utilizado internacionalmente – o Hec-Ras*. A modelação foi feita para alguns setores do Rio Arunca, tendo por base informação altimétrica à escala 1/2000 e 1/10000, e os resultados obtidos foram comparados com os resultados do primeiro método. Calçada *et al.* (2004) também delimitaram perímetros de inundação para alguns setores de cursos de água em

Timor-Leste, com recurso ao *Hec-Ras*. Neste estudo, integraram modelos hidrológicos executados nos programas *Hec-HMS*, *HEC-Ras* e nos Sistemas de Informação Geográfica.

4. Casos práticos: Rio Arda - setor de Várzea (Arouca) e Rio Caima - setor Macinhata de Seixa/Ossela (Oliveira de Azeméis)

A aplicação das metodologias em análise não foi possível numa mesma área de estudo, de modo a facilitar a sua comparação visto que, como foi referido anteriormente, não tivemos acesso a dados de base pormenorizados no setor da Várzea que permitissem obter bons resultados. O método convencional foi utilizado como metodologia na Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, tendo como área de estudo o setor do Rio Arda que compreendia parte da freguesia de Várzea, em Arouca (Marafuz, 2011). Pela ausência de cartografia de grande escala neste setor e informação altimétrica de fraca qualidade, tivemos de selecionar uma nova área de estudo com disponibilidade de informação que precisávamos para aplicar o método hidrológico – hidráulico. Essa área localiza-se no setor Macinhata de Seixa-Ossela (Oliveira de Azeméis), atravessado pelo Rio Caima e cuja cartografia e a altimetria são à escala 1/2000 (equidistância de 2 metros).

Os dois métodos foram utilizados com o intuito de delimitar perímetros de inundação para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos. Na figura 2 exemplificamos os resultados obtidos para o período de retorno de 100 anos, segundo o resultado obtido por cada método empregue. Comparando os mapas, observa-se que o resultado alcançado pelo método hidrológico-hidráulico (fig. 2B) é mais detalhado do que pelo método convencional (fig. 2A). Isto deve-se ao facto da delimitação dos perímetros através da segunda metodologia ser efetuada de forma expedita, e, como Velhas (1991) refere, por ser uma fase *“complexa, uma vez que os níveis alcançados pelas águas do rio em regime de cheia dependem de factores topográficos e parâmetros geométricos do leito aparente e*

da planície de inundação”. No entanto, para aumentar o rigor deste processo, foram consultadas algumas fotografias e notícias de jornais locais - Arouca. Pela figura 3 pode-se verificar os limites atingidos pela água na cheia de 12 de Janeiro de 2001, que corresponde ao setor mais a jusante visível na figura 2A.

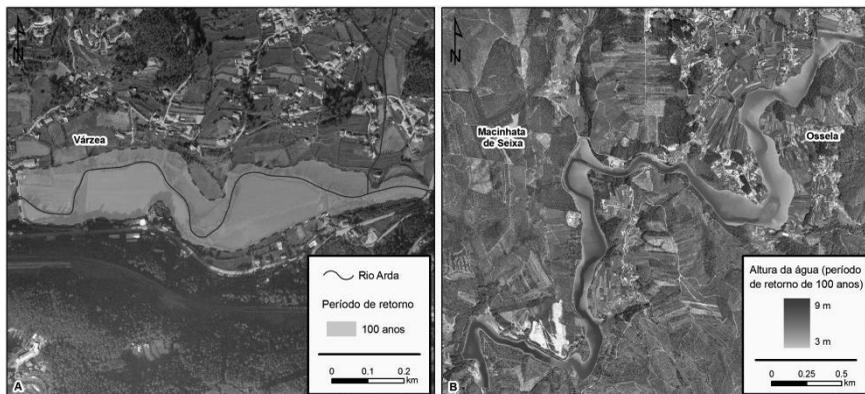


Figura 2. Perímetros de inundação para o período de retorno de 100 anos: A – Método convencional aplicado no setor de Várzea (Arouca); B – Método hidrológico-hidráulico utilizado no setor Macinhata de Seixa/Ossela (Oliveira de Azeméis).



Figura 3. Perímetro de inundação para um período de retorno de 100 anos (12/01/2001).
Fonte: Jornal Defesa de Arouca

O objetivo a que nos propusemos inicialmente tinha como finalidade uma análise comparativa na aplicação das duas metodologias em questão. Deste modo, apresentamos um quadro síntese que mostra as principais vantagens e limitações da utilização de cada método bem como os materiais e dados de base exigidos (quadro 2). Tal como se pode observar pelo quadro 2, a modelação automática conseguida pelo *Hec-Ras* possibilita obter resultados rigorosos e de forma rápida, ao contrário do que se passa com o método convencional. Na metodologia convencional conseguimos obter a cota atingida pela água em cada setor mas a sua representação é mais complexa. Os perímetros são, assim, delimitados tendo em conta os fatores topográficos, as características geométricas da planície de inundação e do curso de água, e pela consulta de notícias e fotografias sobre ocorrências de inundações nesta área, que introduzem uma visão mais realista das áreas afetadas. No que respeita aos materiais e dados de base necessários, a metodologia convencional exige mais equipamentos do que propriamente informação de base, uma vez que esta é recolhida por nós através do levantamento topográfico com a estação total e o GPS para os locais em que a visibilidade seja reduzida. Por outro lado, a segunda metodologia exige essencialmente que se tenha cartografia muito detalhada e atualizada. De referir ainda que, em ambos os métodos, é muito importante a realização de perfis transversais uma vez que, no caso do modelo convencional é a partir dos perfis traçados com a informação altimétrica levantada que se calculam os parâmetros hidráulicos necessários neste tipo de estudos. No caso do método hidrológico-hidráulico, é através dos perfis que se extraem os pontos altimétricos ao longo do seu tracejado com a respetiva cota retirada do modelo digital de terreno. Neste sentido, a morfologia do terreno que determinará a subida da água, em caso de cheia, é expressa pelos pontos “cotados” que compõem os perfis transversais e que são obtidos pelo MDT.

	Método Convencional	Método Hidrológico-Hidráulico
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informação altimétrica mais precisa; ▪ Possibilidade de selecionar as fórmulas matemáticas mais indicadas para determinada bacia hidrográfica; ▪ Cotas atingidas pela água que permitem delimitar os perímetros, em função da geometria do vale (Velhas, 1991). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelação automática: obtenção dos perímetros de inundação bem como a coluna de água e a sua velocidade; ▪ A morfologia é expressa pelo MDT; ▪ Obtenção automática da geometria; ▪ Processo rápido.
Limitações/Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Delimitação dos perímetros de inundação de forma expedita, muito dependente da morfologia do terreno; ▪ Exige um levantamento topográfico moroso; ▪ Longas séries de precipitação contínua; ▪ Subjetividade na atribuição de coeficientes de rugosidade. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exige cartografia muito detalhada e atualizada (mínimo à escala 1/10000); ▪ Medições no terreno para se obter a altura dos obstáculos à circulação da água; ▪ Insuficiência de dados hidrométricos (Santos, 2009) e de precipitação horária para o cálculo automático dos caudais de ponta de cheia.

Equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Levantamento topográfico: Estação total, GPS, bússola e fita métrica; ▪ Softwares: Pathfinder Office da Trimble, AutoCad, ArcGis, Excel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Softwares: Hec-Ras, Hec-GeoRas e ArcGis.
Dados de base	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dados udométricos; ▪ Ortofotomapas para o reconhecimento do terreno; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altimetria (equidistância máxima de 5m); ▪ Planimetria; ▪ Ortofotomapas

Quadro 2. Análise comparativa entre o método convencional e o método hidrológico-hidráulico.

5. Conclusões

Embora o método hidrológico-hidráulico tenha de ser mais explorado, pode-se à partida concluir que as metodologias apresentadas podem ser utilizadas de forma integrada e complementar (Santos, 2009). Por um lado, o tempo despendido no levantamento de campo, no caso do método convencional, pode ser colmatado com a aplicação do modelo hidrológico-hidráulico, desde que haja cartografia adequada. Porém, um dos requisitos no processo desenvolvido no *Hec-Ras* é a determinação dos caudais de ponta de cheia para diferentes períodos de retorno. Pela exiguidade de dados de precipitação horária ou de longas séries contínuas de precipitação diária é difícil calcular automaticamente os valores dos caudais máximos pelo software, o que implica o recurso a fórmulas matemáticas. De salientar também que o método hidrológico-hidráulico carece de validação da cartografia e, muitas vezes, de atualizações da mesma, exigindo que se faça algum trabalho de campo.

A abordagem metodológica apresentada reflete alguns desafios que os municípios portugueses terão que enfrentar para que se obtenham os resultados estipulados pelo

Decreto-lei 115/2010, nomeadamente, os perímetros de inundação e a altura das colunas de água (cartas de zonas inundáveis). Ainda neste contexto, refere-se a falta de registo sistemático e contínuo dos episódios de cheia por parte das entidades de proteção civil, informação muito importante em estudos desta índole uma vez que há probabilidade destes eventos voltarem a ocorrer nesses locais. Com este trabalho, pretendeu-se assim, transmitir as vantagens e limitações na utilização de cada metodologia bem como os materiais necessários à sua aplicação. No futuro seria interessante aprofundar estes conhecimentos e aplicar uma “metodologia mista”, isto é, que combinasse os métodos explorados neste trabalho.

Referências Bibliográficas

- AEA (2005) – *Alterações climáticas e cheias fluviais na Europa*, Briefing n°2005-01. Agência Europeia do Ambiente. 4 pp.
- Calçada, M.; Portela, M.; Matos, J. (2004) – *Análise de cheias e delimitação de zonas inundáveis em Timor Leste – Abordagem por modelação hidrológica*. 7º Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. 17 pp.
- Conselho, Parlamento Europeu e do (2000) – *Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água*. 72 pp.
- Conselho, Parlamento Europeu e do (2007) - *Directiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações*. 8 pp.
- Costa, da Teixeira & Lança, R. (2001) - *Hidrologia de Superfície*. Departamento de Engenharia Civil, Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve. 303 pp.
- Decreto-Lei n.º 115/2010 de 22 de Outubro. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. DR 1.ª série - N.º 206.
- Jonkman, S.N. and Vrijling, J.K. 2008. *Loss of life due to floods*. Journal of Flood Risk Management. vol. 1, pp. 43-56.
- Lencastre, A.& Franco, F. M. (1984) - *Lições de Hidrologia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. pp. 284-325
- Loureiro, J. M. (1984) - *Expressão para o cálculo do caudal máximo de cheia em cursos de água de Portugal*. Recursos Hídricos, 5. Lisboa. pp. 53-78
- Marafuz, I. (2011) – *Inundações urbanas e cheias progressivas em Arouca: casos de estudo, metodologias de análise e ordenamento do território*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 136 pp.

Martins, F. (2000) - *Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais*. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. 276 pp.

Pereira, C. (1995) – *Análise de precipitações intensas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. 72 pp.

Ramos, C. (1994) - *Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (bacia hidrográfica do Tejo)*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. 520 pp.

Reis, E. (2006) - *As bacias hidrográficas das ribeiras da serra de Grândola: dinâmica hidrológica e factores condicionantes*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. 703 pp.

Santos, P. (2009) - *Cartografia de áreas inundáveis a partir do método de reconstrução hidrogeomorfológica e do método hidrológico-hidráulico. Estudo comparativo na bacia hidrográfica do rio Arunca*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. 145 pp.

Velhas, Edite (1991) - *A Bacia Hidrográfica do Rio Leça - Estudo Hidroclimatológico*. Revista da Faculdade de Letras - Geografia. Vol. VII, 1ª Serie. pp. 139 - 251.

