



### COMISSÕES / COMITÉS

LISTA DE PARTICIPANTES / LISTADO DE PARTICIPANTES

COMUNICAÇÕES ORAIS / COMUNICACIONES ORALES

COMUNICAÇÕES EM POSTER / COMUNICACIONES EN POSTER

Organização / Organización



### Patrocinadores



FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



SIEMENS



# VI CONGRESSO IBÉRICO de Agro-Engenharia

5 a 7 de Setembro | 2011  
Universidade de Évora | Portugal



## Avaliação da uniformidade de rega nos espaços verdes da cidade de Mirandela

G. Ferreira<sup>1</sup>, A.C. Ribeiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Câmara Municipal de Mirandela, Praça do Município, 5370-288 Mirandela. Portugal. E-mail: gualter.ferreiro@cm-mirandela.pt

<sup>2</sup>Centro de Investigação de Montanha, ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Sta Apolónia, Apt 1172; 5300 – 855 Bragança, Portugal. E-mail: antrib@ipb.pt

### Resumo

O desempenho dos sistemas de rega nos espaços verdes pode ser avaliado através de vários indicadores relativos a uniformidade de distribuição e à eficiência de aplicação. Com o objectivo de avaliar o desempenho dos sistemas de rega nos espaços verdes da cidade de Mirandela, para implementação de um sistema de gestão da rega eficiente, foram realizados ensaios de uniformidade de rega em oito hidrozonas localizadas no perímetro urbano.

Os resultados mostram que os indicadores de desempenho são baixos na maioria das hidrozonas. O valor médio da uniformidade de distribuição no quartil mínimo foi de 25,9 % e do coeficiente de uniformidade 43,9 %. Apresentam-se e discutem-se os vários indicadores de desempenho nas diferentes hidrozonas e sugerem-se medidas para a melhoria do seu desempenho.

**Palavras Chave:** Espaços verdes; Rega; Uniformidade de distribuição, hidrozonas

### Abstract

The performance of the irrigation systems in green spaces can be assessed by several indicators related to uniformity distribution and application efficiency. With the purpose of applying an efficient irrigation management system in Mirandela green spaces, uniformity experiments were conducted in eight hydrozones located on the urban perimeter.

The results show a poor performance for all performance indicators for the majority of the hydrozones. The average value of low quarter uniformity distribution was 25.9 % and uniformity coefficient 43.9 %. The other performance indicators are showed and discussed along with suggestions to improve its performance.

**Keywords:** Green spaces; Irrigation; Uniformity distribution; hydrozones

## 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade do uso da água tem implicações ambientais, tecnológicas, económicas e sociais que implicam conservação e poupança, quer pela necessidade de considerar a convivência com a escassez, quer no que se refere à qualidade da água (Pereira, 2007). A análise do desempenho dos sistemas de rega, relativos quer à parcela quer às redes de condução e distribuição de água, tem vindo a receber atenção continuada devido às implicações económicas e ambientais que lhe estão associadas (Pereira, 2001). O desempenho

da rega na parcela pode ser avaliado através de vários indicadores relativos à uniformidade de rega e à eficiência de aplicação. O conceito de eficiência foi introduzido por Israelsen (1932) para relacionar a quantidade de água consumida na produção de dada cultura com a quantidade de água mobilizada para a rega (Wolters, 1992). A uniformidade de distribuição (UD) de água é um indicador da variação da quantidade de água aplicada pelo sistema de rega. Ou seja, indica-nos quão igual (ou desigual) é a taxa de aplicação de água na parcela. (Molden *et al.*, 1998). Baixas uniformidades traduzem condições de excesso e de défice de infiltração em partes da parcela originando, no caso dos espaços verdes, perdas de água e fertilizantes nas zonas onde a água infiltrada sofre percolação para além da zona radicular, ou stresse hídrico nas zonas de défice de infiltração (Burt *et al.*, 1997).

Entre os principais indicadores de desempenho úteis para definição e comparação de sistemas, e para os quais se conhecem interpretações minimamente válidas em termos de impacto sobre o uso da água e minimização de impactes ambientais, incluem-se (Pereira, 2005):

*Uniformidade da distribuição, UD (%)*

$$UD = 100 \frac{AMQ_{\min}}{AM} \quad (1)$$

em que  $AMQ_{\min}$  representa a altura média de água recolhida no quarto dos colectores que receberam as menores alturas de água (mm) e  $AM$  a altura média de água recolhida no conjunto de colectores (mm);

*Coefficiente de uniformidade, CU (%)*;

$$CU = 100 \left( 1 - \frac{\sum X}{n AM} \right) \quad (2)$$

em que  $X$  representa o desvio absoluto das alturas de água recolhidas em relação à média  $AM$  (mm) e  $n$  o nº de colectores utilizados;

*Uniformidade de distribuição do sistema,  $UD_{sist}$  (%)*,

$$UD_{sist} = UD \frac{1 + 3 \left( \frac{P_{\min}}{P_{med}} \right)}{4} \quad (3)$$

*Coefficiente de uniformidade do sistema,  $CU_{sist}$  (%)*,

$$CU_{sist} = CU \frac{1 + \left( \frac{P_{\min}}{P_{med}} \right)^{0,5}}{2} \quad (4)$$

em que  $P_{\min}$  representa a menor pressão observada no sistema e  $P_{med}$  a pressão média do sistema ( $kPa$ ) e  $UD$  a uniformidade de distribuição (Eq. 1) e  $CU$  o coeficiente de uniformidade (Eq 2);

*Eficiência potencial do quartil mínimo,  $EPQ_{\min}$  (%)*

$$EPQ_{\min} = 100 \frac{TMAQ_{\min}}{I_a} \quad (5)$$

em que  $TMAQ_{\min}$  representa a taxa média de aplicação de água no quartil mínimo (mm/h) e  $I_a$  a taxa de aplicação (mm/h);

*Eficiência potencial do sistema,  $EP_{sist}$  (%)*,

$$EP_{sist} = (1 - ER)EPQ_{min} \quad (6)$$

em que  $ER$  representa a redução de eficiência no sistema devido à variação da pressão:

$$ER = 0,2 \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{med}} \quad (7)$$

sendo  $P_{max}$  a pressão máxima,  $P_{min}$  a pressão mínima, e  $P_{med}$  a pressão média observadas no sistema.

O objectivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dos sistemas de rega nos espaços verdes da cidade de Mirandela através da determinação de indicadores de uniformidade de distribuição e de eficiência de aplicação com vista à implementação de um sistema de gestão da rega mais eficiente para uma melhor conservação e poupança de água.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido nos espaços verdes da cidade de Mirandela (Lat.: 41°31'N; Long.: 7°12' W; Alt.: 250m) que ocupam uma área útil de aproximadamente 12 ha<sup>-1</sup>. O trabalho experimental decorreu durante o Verão de 2010. A selecção das zonas para a realização dos ensaios experimentais teve em consideração as características das hidrozonas (Quadro 1) representativas dos espaços verdes da cidade de Mirandela.

*Quadro 1 Caracterização das hidrozonas, nomenclatura, localização geográfica e área (m<sup>2</sup>).*

Parcela/Hidrozona	Simbologia	Nº Emissores	Área (m <sup>2</sup> )
Auditório/Biblioteca	AB	41*	459,34
Talude Paliçada	TP*	28	920,59
Aromáticas	AR*	48*	376,80
Prado Natural	PN*	14	1495,70
Campo Voleibol/Nora	CV/NO*	60	3436,60
Jardim Praça Mercado	JPM	19	874,78
Parque José Gama	PJG	7	2090,23
Piscina Municipal	PM	26	2219,49

\* hidrozonas localizadas no espaço verde da Margem Direita da Ribeira de Carvalhais.

As hidrozonas TP, AR, PN e CV/NO, fazem parte integrante do espaço verde designado Margem Esquerda da Ribeira de Carvalhais (MDRC). As hidrozonas seleccionadas encontram-se em espaços verdes estabelecidos.

As hidrozonas em estudo são abastecidas de água a partir de dois hidrantes localizados às cotas de 216,52 m (HI 1) e 215,50 (HI 2). A água é originária de uma albufeira do perímetro de rega agrícola (barragem de Cedães), cuja cota máxima é 290,97m. O HI 1 abastece as quatro hidrozonas da MDRC, as hidrozonas JPM e PM. Um reservatório de 100 m<sup>3</sup>, situado na Mata dos Castanheiros à cota de 274,40 m abastece, por gravidade, a hidrozona AB. A hidrozona PJG é abastecida a partir de uma captação no rio Tua, à cota 213,00 m. A pressão de saída dos hidrantes é de 700 kPa. A pressão projectada de funcionamento dos aspersores é de 300 kPa, no bico do aspersor, e dos pulverizadores 20 kPa.

A metodologia adoptada neste estudo baseou-se em Keller e Merriam (1978), Keller e Bliesner (1990) Pereira e Trout (1999) e Pereira (2004). Os dados recolhidos foram utilizados para o cálculo de alguns indicadores de desempenho da uniformidade e de eficiência de

aplicação. Recolheram-se igualmente dados sobre a altura média fornecida, perdas por evaporação e arrastamento pelo vento, entre outros.

Para a avaliação dos sistemas de rega por aspersão foram efectuadas medições da pressão, caudal e recolha de água em colectores uniformemente distribuídos em cada parcela/hidrozona (Fig. 1). Durante a realização dos ensaios foi efectuada no local a medição da velocidade do vento com um anemómetro portátil (Modelo Kestrel, 1000, Nielsen-Kellerman, USA)



Figura 1 Malha de pluviómetros para avaliação da uniformidade distribuição da rega na hidrozona CV/NO.

Os ensaios foram realizados ao início da manhã, em condições de menor evaporação e velocidade do vento, e os volumes dos colectores foram medidos imediatamente após a realização do ensaio. Usaram-se colectores circulares com diâmetro de 180 mm, colocados numa malha de 4,0 x 4,0 m (parcela TP, PN, CV/NO, JPM, PJG e PM), de 2,5 x 2,5 m (parcela AB), e 1,38 x 1,38 m (parcela AR). O tempo de funcionamento dos aspersores foi de 10 minutos e dos pulverizadores de 5 minutos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na rega por aspersão a uniformidade depende essencialmente das variáveis de projecto nomeadamente da pressão de funcionamento, variação da pressão dentro do sistema, espaçamento entre os aspersores, dimensão do bico, forma de distribuição da água pelo aspersor e da velocidade do vento (Pereira *et al.*, 2002). No Quadro 2 estão representados os valores da pressão e caudal medidos em cada uma das hidrozonas onde decorreram os ensaios de uniformidade.

Quadro 2 Velocidade do vento no início e fim do ensaio, caudal e pressão de funcionamento dos aspersores nas várias hidrozonas.

Hidrozona	Nº Emissores	$U$ (ms <sup>-1</sup> )		Pressão (kPa)			Caudal (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )		
		Inicial	Final	Med	Max	Min	Med	Max	Min
AB	41	0,60	1,80	246	290	200	0,37	0,44	0,26
TP	28	0,60	1,20	403	410	400	0,72	0,78	0,67
AR	48	0,50	0,70	481	495	450	0,40	0,62	0,20
PN	14	0,40	1,20	475	490	440	0,83	0,90	0,74
CV/NO	60	1,00	1,00	495	540	390	0,74	0,91	0,42
JPM	19	0,30	0,90	302	500	195	0,75	0,91	0,53
PJG	7	0,10	0,40	150	180	100	2,35	2,70	1,79
PM	26	0,30	0,90	182	200	100	0,76	1,06	0,40

Os resultados mostram, dentro de cada hidrozona, uma variação significativa da pressão originado, conseqüentemente, débitos muito distintos. Esta situação, como se verá adiante tem reflexos importantes na uniformidade de distribuição de água de rega.

Os valores dos vários indicadores de desempenho estão representados no Quadro 3. Relativamente à uniformidade de distribuição, UD, as hidrozonas AR e PM foram as que apresentaram o menor valor para esse indicador (15,55 e 15,59 % respectivamente) enquanto as hidrozonas TP e AB são as que apresentam o valor mais elevado (39,05 e 37,9 % respectivamente). O valor médio da UD para o conjunto das hidrozonas foi de 25,9%. Pitts *et al.*, (1996) num estudo efectuado, na Califórnia, em vários espaços verdes, residenciais e públicos, obtiveram um valor médio de UD de 49% com 40% dos locais estudados a apresentarem valores de UD inferiores a 40%. Neste estudo, os menores valores de UD estão associados aos locais onde se verificou uma maior variação da pressão no sistema.

Estes desempenhos são considerados muito fracos segundo os critérios da Associação de Rega dos Estados Unidos (Quadro 4)

*Quadro 3 Indicadores de desempenho para as várias hidrozonas*

Hidrozona	UD (%)	CU (%)	UD <sub>sist</sub> (%)	CU <sub>sist</sub> (%)	EPQ <sub>min</sub> (%)	EP <sub>sist</sub> (%)	ER (kPa)	TMAQ <sub>min</sub> (mm/h)	Ia (mm/h)
AB	37,90	20,20	63,53	19,21	49,66	46	0,073	16,40	33,03
TP	39,05	56,92	68,23	56,82	48,85	49	0,005	10,72	21,94
AR	15,55	33,94	26,83	33,39	16,36	16	0,019	8,34	50,96
PN	30,33	49,74	52,23	48,81	78,59	77	0,021	6,11	7,77
CV/NO	28,14	46,31	46,87	43,71	54,00	51	0,061	6,98	12,92
JPM	19,41	40,63	31,11	36,65	25,67	20	0,202	4,18	16,29
PJG	20,75	63,82	33,46	57,97	34,71	31	0,107	2,73	7,87
PM	15,79	39,41	24,56	34,31	18,18	16	0,110	1,62	8,90

O coeficiente de uniformidade apresenta, em regra, valores superiores aos de UD pelo facto de a sua determinação se basear nos desvios inferiores e superiores relativamente à média. Neste estudo, os menores valores foram registados na hidrozona AB e AR com valores de 20,2 e 33,94 % respectivamente e os valores superiores nas hidrozonas PJG e TP com coeficientes de uniformidade de 63,82 e 56,92 % respectivamente. A média do coeficiente de uniformidade considerando o conjunto das hidrozonas foi de 43,87 %.

As hidrozonas regadas com aspersores rotativos registaram uma maior uniformidade de distribuição do que as regadas com pulverizadores fixos. Estes resultados confirmam os obtidos por outros autores em estudos idênticos (Pitts *et al.*, 1996; Baum, 2005).

*Quadro 4 Classificação da Uniformidade de Distribuição (UD) para vários tipos de emissores (IA, 2004).*

Tipo	Excelente (%)	Muito Boa (%)	Boa (%)	Fraca (%)	Muito fraca (%)
Pulverizador	75	65	55	50	40
Rotor	80	70	65	60	50
Impacto	80	70	65	60	50

A distribuição espacial das alturas de água em cada hidrozona foi efectuada por interpolação através método da distância inversa (Bartier & Keller, 1996). Na Figura 2 ilustra-se, a título de exemplo, para a hidrozona CV/NO a distribuição da altura de água aplicada durante o ensaio de uniformidade. Os mapas de distribuição assim obtidos permitem detectar e realizar as intervenções no sistema possibilitando a melhoria da uniformidade de distribuição nas várias hidrozonas.

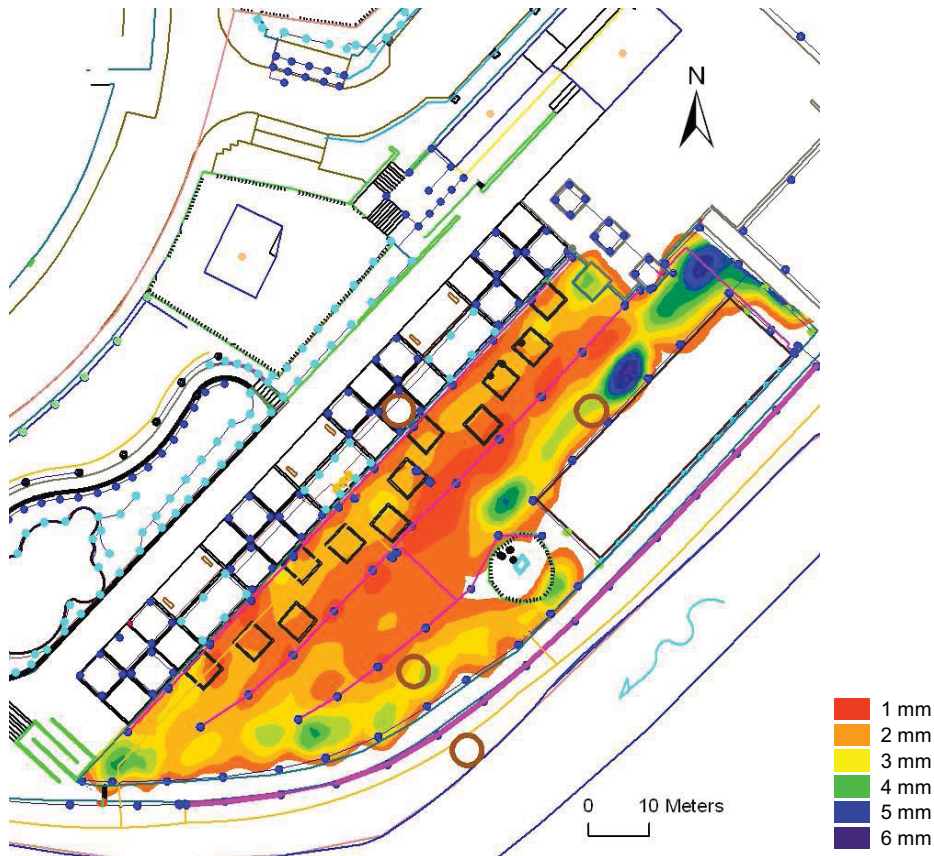


Figura 2 Altura de água, em mm, distribuída na hidrozona durante o ensaio de uniformidade na hidrozona CV/NO.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram constatar que na generalidade dos espaços verdes regados da cidade de Mirandela a uniformidade de distribuição de água é muito baixa limitando desta forma a eficiência de rega. A deficiente uniformidade de distribuição deve-se à grande variação da pressão de funcionamento nos sistemas e aos desadequados espaçamentos entre os emissores. A intervenção nos sistemas de rega, a estes dois níveis, contribuirá decisivamente para o incremento da uniformidade de distribuição de água.

Os indicadores de desempenho obtidos e os mapas elaborados para cada hidrozona permitirão formular recomendações e tomar medidas específicas no sentido de melhorar a uniformidade de distribuição e contribuir assim para uma maior eficiência de rega.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

Bartier, P.M., Keller, C.P. (1996) Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). *Computers & Geosciences*, 22, 795-799.

Baum M.C., Dukes M.D., Miller G.L. (2005) Analysis of Residential Irrigation Distribution Uniformity. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 131(4), 336–341

Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesner, R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A., Eisenhauer, D.E. (1997) Irrigation performance measures: sufficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain. Engng.* 123: 423-442.

- IA (2004) *Irrigation Association Water Management Committee*. Landscape irrigation scheduling and water management: Draft, Falls Church, Va.
- Israelsen, O.W. (1932) *Irrigation Principles and Practices*. John Wiley & Sons, New York.
- Keller, J., Bliesner, R.D. (1990) *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Keller J., Merriam J.L. (1978) *Farm Irrigation System Evaluation: A guide for management* Dept. Agricultural and Irrigation Engineering, Utah St. University, Logan.
- Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, C.J., de Fraiture, C., Kloezen, W.H. (1998) *Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems*. Colombo, Sri Lanka: IWMI. v, 26p.
- Pereira, L.S. (2001) Desempenho de sistemas de rega. *Ingenieria del Agua*, 8, 329-338.
- Pereira, L.S. (2004) *Necessidades de água e métodos de rega*. Europa-América, Lisboa.
- Pereira, L.S. (2007) Uso sustentável da água e convivência com a escassez: revisitando conceitos e indicadores. *Ingenieria del Agua*, 14, 237-252
- Pereira, L.S., Trout, T.J. (1998) *Irrigation Methods*. In: Handbook of Agricultural Engineering, Vol I: Land and Water, CIGR, ASAE, St. Joseph, MI: 297-379.
- Pitts, D., Peterson, K., Gilbert, G., Fastenau, R. (1996) Field assessment of irrigation system performance. *Appl. Eng. Agric.*, 12, 307–313.
- Wolters, W. (1992) Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use. ILRI Public. N° 51, ILRI, Wageningen.