

## **PERDAS DE ÁGUA POR EVAPORAÇÃO E ARRASTE NA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE LAVRAS-MG, UTILIZANDO ASPERSORES DE TAMANHO MÉDIO<sup>1</sup>**

**Samuel Beskow; Alberto Colombo; Geraldo Magela Pereira; José Henrique da Silva Taveira; Célio Moreira Ricardo**

*Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, samuelbeskow@terra.com.br*

### **1 RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi determinar as perdas de água por evaporação e arraste durante ensaios de campo com um único aspersor e também com laterais de aspersores, sob várias condições climáticas, usando quatro modelos de aspersores, operando em três níveis de pressão. Quatro diferentes modelos de aspersores, representando diferentes combinações de diâmetro de bocal e ângulo de jato, foram usados: 1 - Agropolo NY-7 (4,6 mm x 4 mm e 7°); 2 - Agropolo NY-12 (3,5 mm e 12°); 3 - Naan (3,0 mm e 12°); e 4 - Agropolo NY-25 (2,8 mm x 2,5 mm e 25°). Testes de campo mostraram que as perdas observadas em ensaios com um único aspersor (valores médios de 8,5, 36,5, 40,3 e 39,8% para, respectivamente, aspersor 1, 2, 3 e 4) foram maiores do que as perdas observadas em ensaios com laterais de aspersores (valores médios de 4,7, 13,6, 20,2 e 18,9% para, respectivamente, aspersor 1, 2, 3 e 4), e que o diâmetro do bocal exerce grande influência no valor de perdas de água por evaporação e arraste.

**UNITERMOS:** eficiência de irrigação, avaliação de aspersores.

**BESKOW, S.; COLOMBO, A.; PEREIRA, G. M.; TAVEIRA, J. H. S.; RICARDO, C. M. EVAPORATION AND WIND DRIFT LOSSES IN SPRINKLER IRRIGATION UNDER THE CLIMATIC CONDITIONS OF LAVRAS-MG, USING MEDIUM-SIZED SPRINKLERS**

### **2 ABSTRACT**

The objective of this work was to determine evaporation and drift losses during single-sprinkler and block irrigation outdoor tests held at several climatic conditions, by using four sprinkler models operating at different pressure levels. Four different sprinkler models, representing different combinations of nozzle sizes and jet angles, were used: 1 – Agropolo NY-7 (4.6 x 4 mm and 7°); 2 – Agropolo NY-12 (3.5 mm and 12°); 3 – Naan-12 (3.0 mm and 12°), and 4 – Agropolo NY-25 (2.8 mm x 2.5 mm and 25°). Field trials showed that observed losses at single tests (average values of 8.5, 36.5, 40.3, and 39.8% for, respectively, sprinkler 1, 2, 3, and 4) are greater than the ones observed on block irrigation tests (average values of 4.7, 13.6, 20.2, and 18.9% for, respectively, model 1, 2, 3, and 4), and that nozzle size has considerable influence on evaporation and wind drift losses.

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

**KEY WORDS:** sprinkler evaluation, irrigation efficiency.

### 3 INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão é uma prática que tem sido utilizada em grande escala na agricultura irrigada brasileira, porém necessita de recursos limitados como é o caso da água, a qual está cada vez mais escassa e de custo elevado. Com isto, torna-se evidente a necessidade do uso mais eficiente deste recurso natural, com o intuito de utilização para irrigação.

Hoje em dia, muitos profissionais ligados à área de irrigação, freqüentemente projetam e manejam sistemas de irrigação por aspersão, considerando que o sistema vai operar sem ocorrer perdas ou que estas serão mínimas. Entretanto segundo Keller & Bliesner (1990) isto raramente acontece, acarretando na diminuição da eficiência do sistema.

Smajstrla & Zazueta (2003) definem perda de água por evaporação como a parcela de água que evapora das gotas pulverizadas através do ar, e a perda por arraste, como aquela ocorrida quando o vento carrega as gotas para fora da área irrigada. Muitos fatores influenciam diretamente nas perdas de água por evaporação e arraste, mas de acordo com Tarjuelo (1999), os principais são: umidade relativa do ar, temperatura do ar e da água, altura do aspersor, tamanho de gotas e velocidade do vento. Para Playán et al. (20005), a distribuição do tamanho de gotas é de extrema importância, visto que gotas maiores são mais resistentes ao arraste e apresentam menor área por unidade de massa e, como consequência, elas são menos afetadas pelas perdas de água por evaporação.

Conforme Kohl et al. (1987), podem ser utilizados métodos de campo, analíticos e de laboratório, a fim de determinar as perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão. Estas perdas obtidas experimentalmente no campo variam de 2 a 40%, com muitos valores dentro do intervalo 10-20% (Yazar, 1984; Kohl et al., 1987; Kincaid, 1996; Kincaid et al., 1996), enquanto os valores analíticos e de laboratório mostram valores entre 0,5% e 2% (Kohl et al., 1987). Para os mesmos autores, essa grande diferença entre os valores das perdas de água por evaporação e arraste para os diferentes métodos se deve, em parte, pelas diferenças de precisão entre as técnicas experimentais. Ortega et al. (2000) discutem o fato de que no trabalho de Kohl et al. (1987) foram usados bocais grandes (6,4 mm), trabalhando a uma baixa pressão (100 kPa), por consequência gerando baixas proporções de gotas pequenas, justificando os baixos valores obtidos de perdas de água por evaporação e arraste.

Muitos pesquisadores têm considerado as perdas devido à evaporação e arraste como uma única perda, utilizando o termo “spray losses”, isso devido às dificuldades encontradas com as técnicas necessárias de medição para separar tais perdas (Kincaid & Longley, 1989). A estimativa das perdas de água por evaporação e arraste pelo vento foi realizada, segundo Tarjuelo et al. (2000), Edling (1985), Azevedo et al. (1999), Montero et al. (2000) e Dylla & Shull (1983), considerando como igual à diferença entre o volume de água emitido por aspersores e o volume de água armazenado por coletores posicionados equidistantes dentro de uma malha de tamanho conhecido.

Seginer et al. (1991) sugerem eliminar a evaporação que ocorre no coletor durante a irrigação e mesmo durante a leitura dos dados, ou corrigir, por exemplo, com base na evaporação medida em coletores periféricos. Tarjuelo et al. (2000) a fim de determinar, a nível de campo, as perdas de água por evaporação ocorrida nos coletores durante o teste e a leitura dos volumes coletados, utilizaram alguns coletores situados fora da área de teste com um volume médio aproximado esperado de ser coletado pelos coletores.

Os ensaios de campo para determinação de perdas de água por evaporação e arraste podem ser feitos com um único aspersor funcionando ou também com vários aspersores operando simultaneamente. Ortega et al. (2000) relatam que as perdas por evaporação e arraste são maiores em sistemas com um único aspersor quando comparado a sistemas com linhas laterais de aspersores. Estes autores justificam, pois no caso da irrigação com linhas laterais vários aspersores funcionam simultaneamente, ocasionando um microclima diferente ao gerado pelo sistema com somente um aspersor.

Poucos trabalhos, em termos de Brasil, foram realizados a fim de avaliar, de alguma forma as perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão para as condições climáticas brasileiras, podendo citar os trabalhos realizados por pesquisadores como Azevedo et al. (1999) e Pereira (1995). Estudos sobre essas perdas foram realizados em condições climáticas de outros países, entretanto utilizando sempre bocais de tamanho grande, como por exemplo os trabalhos de Frost & Schwalen (1955), Yazar (1984), Tarjuelo et al. (2000) e Playán et al. (2005).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar as perdas de água por evaporação e arraste durante testes de campo com um único aspersor e também com laterais de aspersores, em diversas condições climatológicas do município de Lavras - MG, com diferentes modelos de aspersores (de tamanho médio) operando a diferentes níveis de pressão.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de determinar as perdas de água por evaporação e arraste, foram realizados vários ensaios de campo (durante os meses de março e abril de 2006), em área localizada na Universidade Federal de Lavras (Lavras – MG), tanto com sistema operando com um único aspersor como também com vários aspersores operando simultaneamente.

### 4.1 Aspersores utilizados

Foram usados quatro modelos de aspersores, representando diferentes combinações de diâmetro de bocal e ângulo do jato, a saber: 1 – Agropolo NY-7 (4,6 mm x 4,0 mm e 7°); 2 – Agropolo NY-12 (3,5 mm e 12°); 3 – Naan-12 (3,0 mm e 12°); e 4 – Agropolo NY-25 (2,8 mm x 2,5 mm e 25°). A Tabela 1 relaciona as pressões de operação a que cada modelo de aspersor foi submetido nos ensaios de campo.

**Tabela 1.** Pressões de operação a que cada modelo de aspersor foi submetido

Diâm. do bocal (mm)	Âng. de inclinação (°)	Modelo	Pressão (kPa)			
			196	245	294	343
4,6x4,0	7	NY-7		X	X	X
3,5	12	NY-12	X	X	X	
3,0	12	Naan-12		X	X	X
2,8x2,5	25	NY-25	X	X		

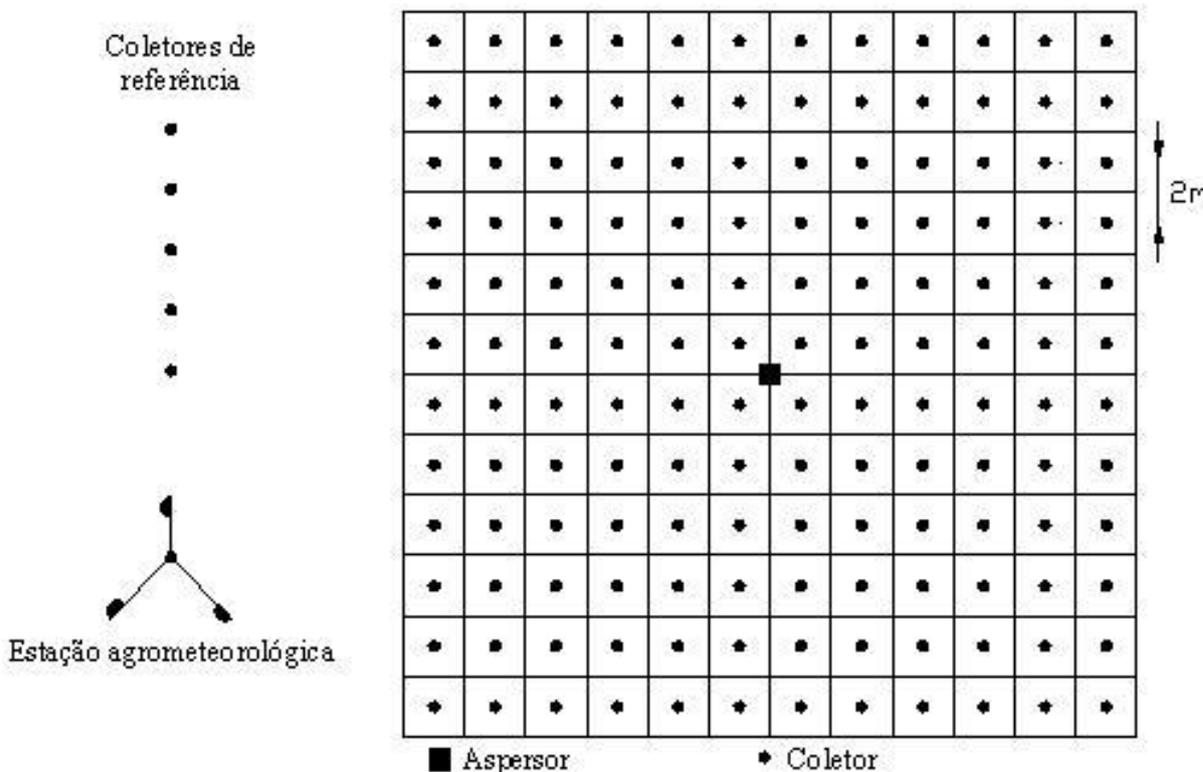
### 4.2 Estação agrometeorológica

Para o monitoramento de variáveis meteorológicas de interesse ao presente estudo, foi utilizada uma estação automática modelo Vantage Pro2, localizada a uma distância de 20 m da área de testes de irrigação. Tal estação registrava as seguintes variáveis meteorológicas: (a) temperatura e umidade relativa do ar a 2 m acima do nível do solo; (b) velocidade e direção

do vento a 2 m de altura acima do nível do solo. Os dados destas variáveis foram registrados de forma manual a cada cinco minutos.

### 4.3 Ensaios de campo com um único aspersor operando

Neste tipo de ensaio, o aspersor foi posicionado no centro de uma malha de coletores composta por 12 linhas e 12 colunas, totalizando 144 coletores (Figura 1). O espaçamento utilizado entre coletores foi de 2 m. O aspersor estava a uma altura de 1,25 m, propiciando uma diferença de altura de 0,75 m do bocal do aspersor em relação à abertura dos coletores.



**Figura 1.** Desenho esquemático da disposição dos coletores, aspersor e estação agrometeorológica, para o teste com um único aspersor.

Para o armazenamento de água proveniente dos aspersores durante os testes, foram utilizadas latas de óleo (de cozinha) como coletores, pintadas na cor branca. O diâmetro interno do coletor era de 83,5 mm e altura igual a 190 mm. A parte superior do coletor estava localizada a 500 mm acima da superfície do solo.

A fim de monitorar a pressão na entrada do bocal do aspersor, durante todo o teste de irrigação, fez-se uso de um manômetro de Bourdon, graduado de 0 kgf cm<sup>-2</sup> a 8,0 kgf cm<sup>-2</sup>, com intervalos de 0,05 kgf cm<sup>-2</sup>. Com o objetivo de aumentar ou diminuir a pressão de operação do aspersor, foi instalada uma válvula de gaveta na derivação da linha lateral para o tubo de subida do aspersor.

A duração de cada avaliação realizada por este tipo de teste (com um único aspersor), foi de 60 minutos. O volume armazenado dentro de cada coletor era medido volumetricamente (por uma proveta graduada) imediatamente após o término da irrigação, e esses valores eram registrados em uma planilha apropriada. O tempo de medição foi entre 20 e 30 minutos. Durante o período de irrigação, a cada cinco minutos, eram registrados por

meio de uma estação agrometeorológica automática, os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade e direção do vento.

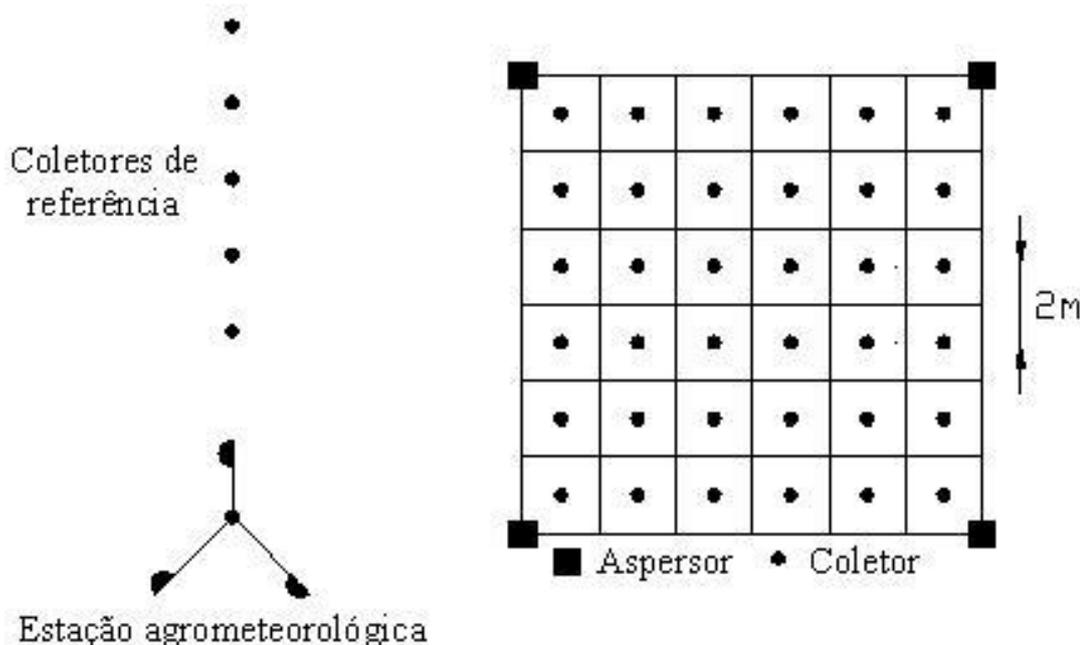
A fim de tentar estimar a evaporação nos coletores, durante o evento de irrigação e de leitura dos volumes, foram dispostos 5 coletores como referência, posicionados 20 m distante da área de testes. Estes coletores continham volumes conhecidos (semelhantes aos esperados de coletar). Os volumes eram medidos novamente após o término da leitura dos volumes contidos nos coletores. Em cada coletor, o volume de água coletado foi corrigido a partir da evaporação ocorrida durante o processo de leitura. A leitura de cada coletor foi aumentada em um valor igual à metade da evaporação ocorrida durante o processo de leitura dos dados, estimada por meio dos coletores de referência, conforme recomenda Tarjuelo et al. (2000).

#### 4.4 Testes com vários aspersores operando simultaneamente

Nestes testes, os aspersores foram dispostos em duas linhas laterais de PVC (diâmetro de 50 mm) com dois aspersores por linha (Figura 2). O espaçamento utilizado foi de 12 m x 12 m. Os coletores foram dispostos de maneira a formarem quadrados de 2 m de lado. Cada teste tinha a duração de 50 minutos, e o processo de leitura dos volumes de água levava em torno de 10 minutos.

Para controlar a pressão no sistema durante o período de irrigação, foram utilizadas duas tomadas de pressão. Uma tomada de pressão estava localizada entre uma válvula de gaveta e o primeiro aspersor, e a outra estava localizada no tubo de subida do último aspersor. Utilizou-se um manômetro de Bourdon, graduado de 0 kgf cm<sup>-2</sup> a 8,0 kgf cm<sup>-2</sup>, com intervalos de 0,05 kgf cm<sup>-2</sup>, para acertar a pressão no início do teste e verificar a pressão durante os 50 minutos de duração do teste.

A operação, a obtenção dos dados meteorológicos e a correção da evaporação dos coletores durante a leitura dos dados foram realizadas da mesma maneira do teste com um único aspersor.



**Figura 2.** Desenho esquemático da disposição dos coletores, aspersores e estação agrometeorológica, para o teste com linhas laterais de aspersores.

#### 4.5 Quantificação das perdas de água por evaporação e arraste

As perdas observadas por evaporação e arraste foram determinadas para cada avaliação, como sendo igual à diferença entre o volume total aplicado pelo aspersor durante o período de irrigação e o volume total registrado nos coletores. As perdas por evaporação da água contida dentro dos coletores, durante o tempo de medição, foram consideradas e, portanto, acrescentadas a cada volume registrado nos coletores. Para os testes com um único aspersor, depois de corrigido o volume, foi realizada a sobreposição para o espaçamento de 12 m x 12 m, de cada malha de dados, com o intuito de possibilitar o cálculo das perdas totais de água. Para os testes com laterais de aspersores não foi necessário realizar o processo de sobreposição. As perdas por evaporação e arraste (EA) foram computadas usando a seguinte equação:

$$EA = \frac{Q_a t - 4 \sum_{i=1}^{i=36} Z_i}{Q_a t} 100 \quad (1)$$

em que:

$Q_a$  = vazão do aspersor ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

$t$  = duração da irrigação (s);

$Z_i$  = lâmina armazenada em cada coletor (m).

O número 4 na equação acima significa que cada coletor representa uma área de 4  $\text{m}^2$ .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são mostrados os resultados de perdas de água por evaporação e arraste referentes aos ensaios de campo (realizados durante os meses de março e abril de 2006) com um único aspersor e também com laterais de aspersores, sob diferentes condições operacionais e climatológicas (Beskow, 2006).

As Tabelas 2 e 3 mostram, de forma resumida, os valores das variáveis quantitativas consideradas no processo e registradas durante, respectivamente, os testes com um único aspersor e os testes com laterais de aspersores.

Com o auxílio das Tabelas 2 e 3, é possível observar a grande variabilidade encontrada nas variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor) durante a realização dos testes, possibilitando analisar a influência de cada uma destas variáveis sobre o valor de perda de água por evaporação e arraste. No entanto, as perdas de água por evaporação e arraste são afetadas por um grande número de fatores (distribuição do tamanho de gotas, condições climáticas, pressão de operação, diâmetro dos bocais, etc.), resultando em uma difícil análise com uma única variável isoladamente.

Também pode-se observar nas Tabelas 2 e 3 a semelhança dos parâmetros estatísticos das variáveis ambientais estudadas, entre os testes com um único aspersor e os testes com laterais de aspersores, concluindo-se que as condições ambientais foram bastante similares para os dois tipos de testes de campo.

**Tabela 2.** Análise descritiva das variáveis, para os testes realizados com um único aspersor

	EA (%)	T (°C)	UR (%)	$\Delta e$ (kPa)	U (m/s)
Número de observações	123	123	123	123	123
Mínimo	1,11	15,00	47,08	0,1231	0,00
Máximo	55,72	31,00	92,77	2,2712	3,20
Intervalo	54,61	16,00	45,69	2,1481	3,20
Média aritmética	30,12	25,16	66,91	1,1285	1,14
Desvio padrão	16,53	3,17	11,15	0,52	0,69
Curtose	-1,33	0,97	-0,62	-0,69	-0,21
CV (%)	54,88	12,61	16,66	45,76	60,43

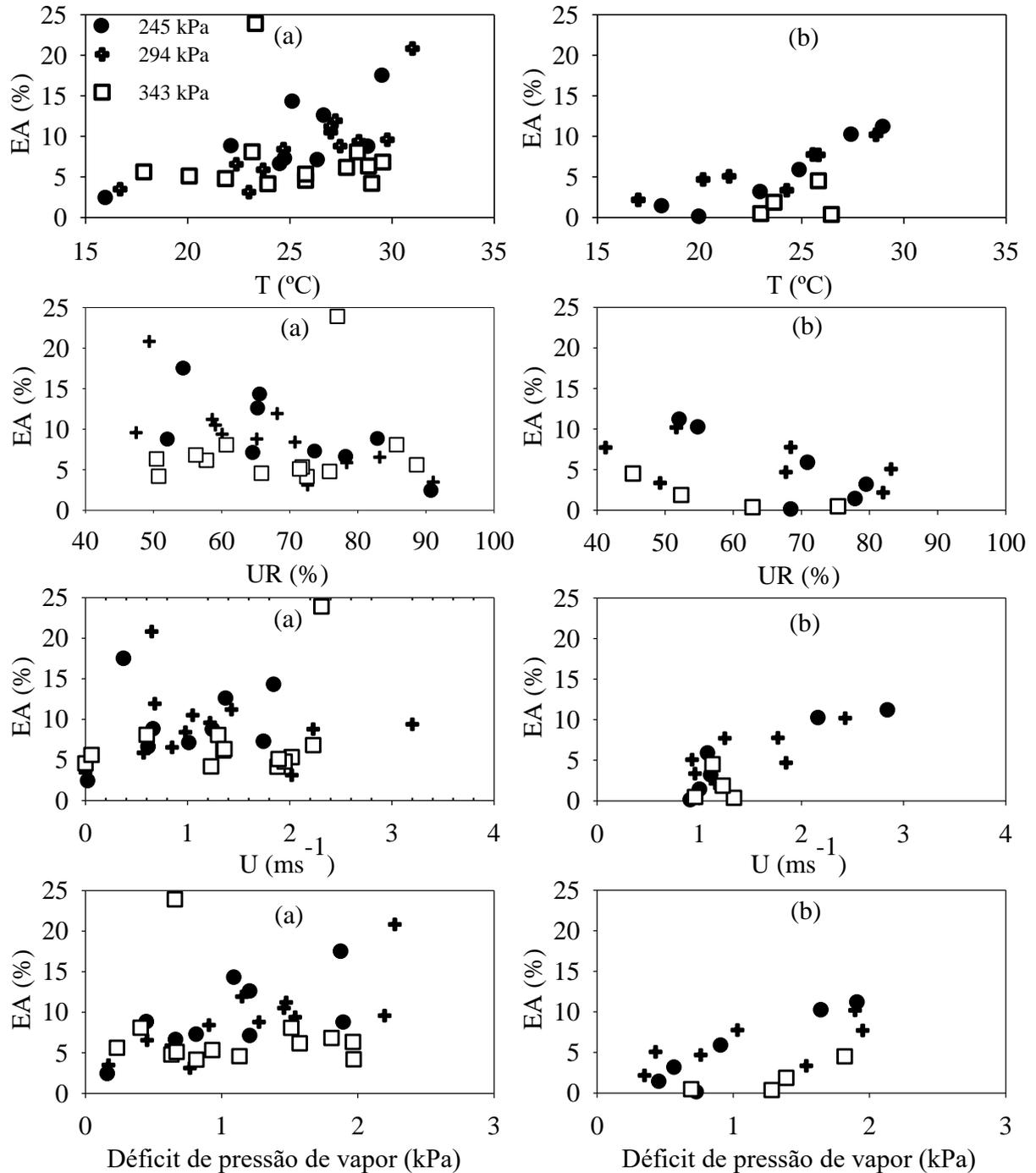
**Tabela 3.** Análise descritiva das variáveis, para testes realizados com laterais de aspersores

	EA (%)	T (°C)	UR (%)	$\Delta e$ (kPa)	U (m/s)
Número de observações	68	68	68	68	68
Mínimo	0,03	16,36	41,27	0,3142	0,15
Máximo	33,30	29,00	83,18	2,1549	3,08
Intervalo	33,27	12,64	41,91	1,8407	2,93
Média aritmética	14,23	23,78	65,50	1,0769	1,33
Desvio padrão	8,56	3,26	10,94	0,50	0,66
Curtose	-0,47	-0,69	-0,79	-0,89	0,23
CV (%)	60,18	13,73	16,70	46,20	49,29

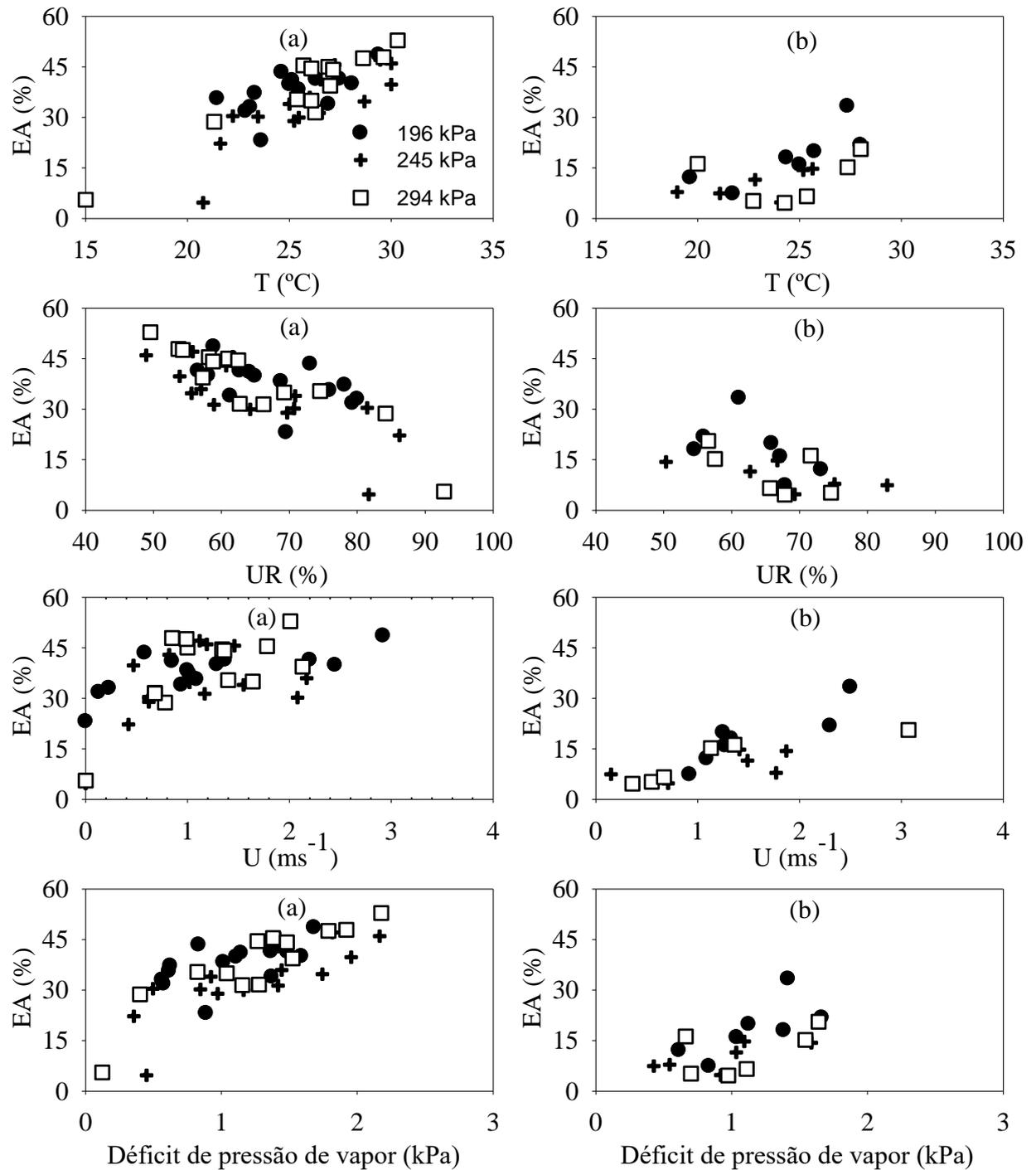
Nas Figuras 3, 4, 5 e 6, é possível fazer, de forma visual, as seguintes análises. As perdas, no geral, aumentaram com o acréscimo da temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento, e com o decréscimo da umidade relativa do ar. Porém, no que diz respeito à velocidade do vento, ocorre certa dificuldade em relacionar de forma individualizada esta variável com as perdas de água por evaporação e arraste, sendo possível atribuir ao fato de que a velocidade do vento, durante os ensaios, apresentou uma grande variabilidade em comparação com outras variáveis ambientais, tornando muitas vezes impróprio o uso de um valor médio, concordando com a análise de Dechmi et al. (2003). Entretanto, torna-se inviável realizar a análise das perdas de água com uma variável ambiental de forma individualizada, em virtude do valor das perdas de água por evaporação e arraste depender de um grande número de fatores, conforme o obtido por Tarjuelo et al. (2000).

A partir dos dados apresentados nas Figuras 3, 4, 5 e 6, foram realizadas análises de regressão das relações existentes entre cada variável climatológica e as perdas decorrentes por evaporação e arraste (Tabela 4), a fim de verificar a influência de cada variável climatológica (de forma individualizada) sobre os valores de perdas de água por evaporação e arraste, para cada modelo de aspersor. Analisando a Tabela 4, foi possível constatar que, de maneira geral, as variáveis climatológicas que melhor se relacionaram com os valores de perdas, em ordem de importância, foram: U, T, UR e  $\Delta e$  para os aspersores NY-7 e NY-12; T, UR, U e  $\Delta e$  para o modelo Naan-12 e; UR, T, DPV e U para o modelo NY-25. Diante destes resultados, é visível que os dois bocais de tamanho menor (Naan-12 e NY-25) foram mais afetados pelas perdas por evaporação (quando comparado às perdas por arraste) que os bocais de tamanho maior (NY-7 e NY-12), visto que apresentaram maior influência de variáveis climatológicas

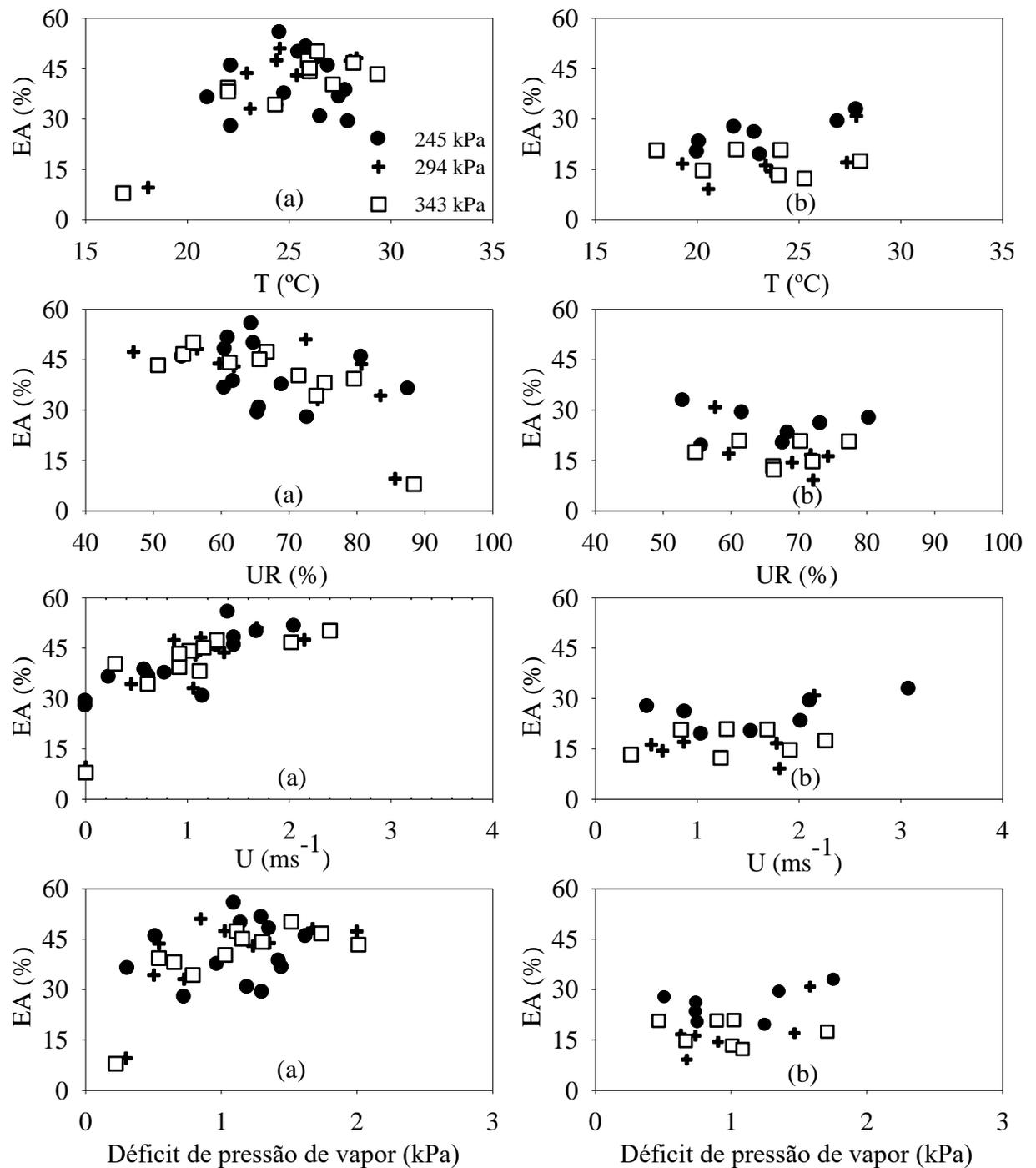
intimamente ligadas ao processo de evaporação (temperatura, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor).



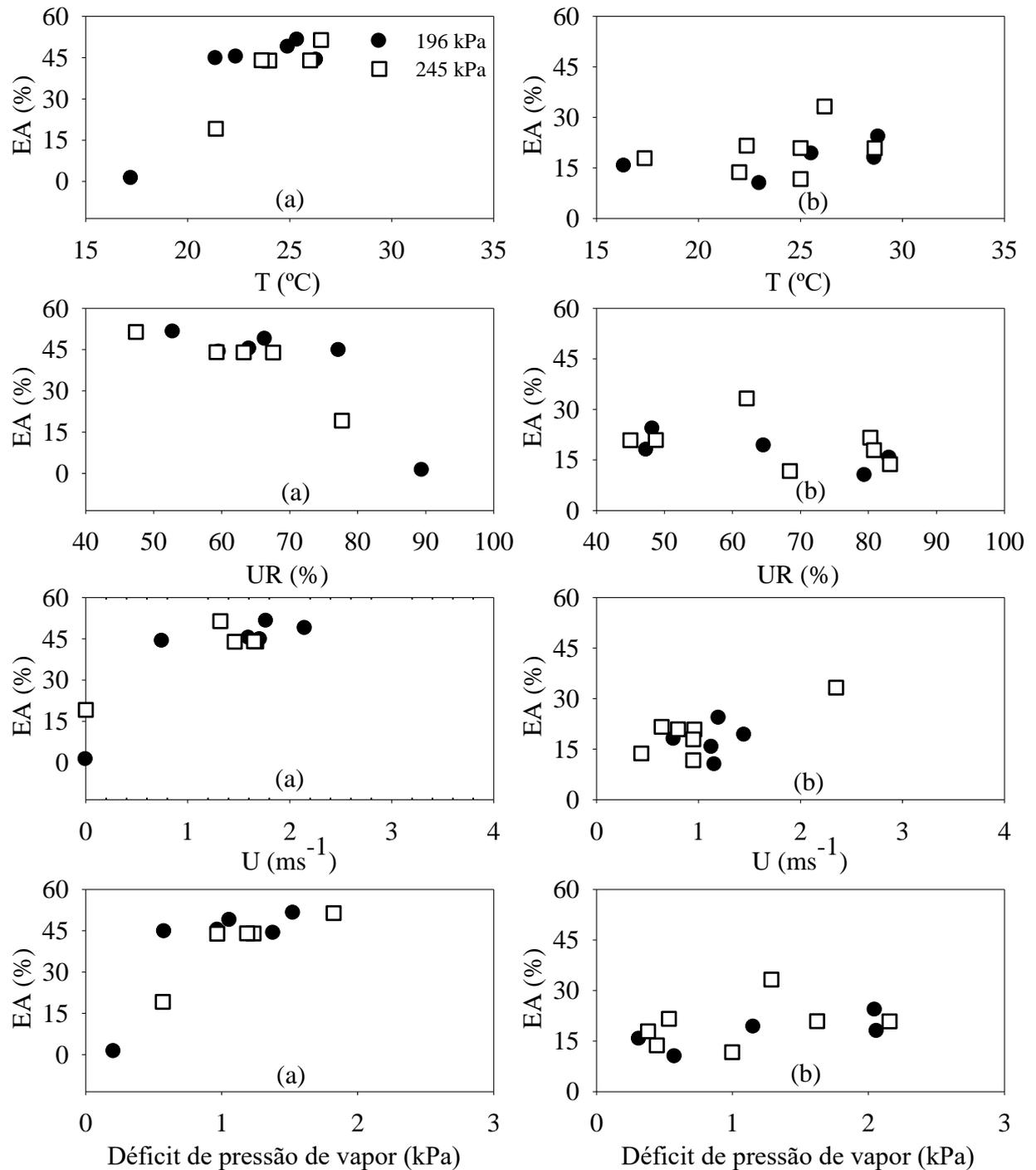
**Figura 3.** Influência de variáveis climatológicas sobre as perdas de água por evaporação e arraste (EA), para os testes realizados com (a) um único aspersor NY-7 e (b) laterais do aspersor NY-7, operado a diferentes pressões.



**Figura 4.** Influência de variáveis climatológicas sobre as perdas de água por evaporação e arraste (EA), para os testes realizados com (a) um único aspersor NY-12 e (b) laterais do aspersor NY-12, operado a diferentes pressões.



**Figura 5.** Influência de variáveis climatológicas sobre as perdas de água por evaporação e arraste (EA), para os testes realizados com (a) um único aspersor Naan-12 e (b) laterais do aspersor Naan-12, operado a diferentes pressões.



**Figura 6.** Influência de variáveis climatológicas sobre as perdas de água por evaporação e arraste (EA), para os testes realizados com (a) um único aspersor NY-25 e (b) laterais do aspersor NY-25, operado a diferentes pressões.

**Tabela 4.** Análise de regressão ( $R^2$ ) da relação existente entre cada variável climatológica e os respectivos valores de perdas de água por evaporação e arraste, para diferentes níveis de pressão e tipos de testes (com um único aspersor e com laterais de aspersores)

Modelo	Variável	Um único aspersor				Laterais de aspersores			
		Pressão de serviço (kPa)							
		196	245	294	343	196	245	294	343
NY-7	T (°C)	-	0,70(P)	0,75(3)	0,23(6)	-	1,00(3)	0,82(3)	1,00(6)
	UR (%)	-	0,76(5)	0,88(6)	0,88(6)	-	0,82(4)	0,28(3)	1,00(3)
	$\Delta e$ (kPa)	-	0,68(P)	0,72(4)	0,19(6)	-	0,91(4)	1,00(6)	0,95(2)
	U (m/s)	-	0,92(6)	0,29(5)	0,91(6)	-	0,94(3)	0,56(3)	1,00(3)
NY-12	T (°C)	0,56(4)	0,88(6)	0,90(P)	-	0,84(4)	0,68(4)	1,00(2)	-
	UR (%)	0,36(6)	0,64(6)	0,92(6)	-	0,89(3)	0,52(4)	1,00(5)	-
	$\Delta e$ (kPa)	0,47(6)	0,66(6)	0,91(6)	-	0,71(4)	0,70(3)	0,80(3)	-
	U (m/s)	0,88(6)	0,74(6)	0,91(6)	-	0,97(4)	0,55(3)	0,97(2)	-
Naan-12	T (°C)	-	0,39(4)	0,84(5)	0,91(4)	-	0,89(4)	0,99(4)	0,62(4)
	UR (%)	-	0,34(6)	0,83(5)	0,98(6)	-	0,95(5)	0,89(4)	0,51(4)
	$\Delta e$ (kPa)	-	0,03(3)	0,85(5)	0,97(6)	-	0,65(3)	0,84(3)	0,13(3)
	U (m/s)	-	0,79(5)	0,89(5)	0,96(6)	-	0,86(5)	0,85(3)	0,23(4)
NY-25	T (°C)	1,00(4)	1,00(3)	-	-	0,64(2)	0,20(3)	-	-
	UR (%)	1,00(3)	1,00(4)	-	-	0,91(3)	0,29(4)	-	-
	$\Delta e$ (kPa)	0,99(4)	1,00(4)	-	-	0,55(1)	0,23(3)	-	-
	U (m/s)	0,98(3)	0,97(2)	-	-	0,08(2)	0,69(2)	-	-

P – potencial; 1 – polinomial de primeiro grau; 2 – polinomial de segundo grau; 3 – polinomial de terceiro grau; 4 – polinomial de quarto grau; 5 – polinomial de quinto grau; 6 – polinomial de sexto grau.

Observando a Tabela 5, é possível notar para todos os modelos de aspersores a diferença de valores obtidos entre os dois tipos de ensaios, sendo que nos ensaios com laterais de aspersores, os valores foram bem abaixo dos obtidos pelos de testes com um único aspersor. A mesma situação ocorreu em trabalho semelhante desenvolvido por Ortega et al. (2000), justificando que no caso de ensaios com linhas laterais de aspersores vários aspersores funcionam simultaneamente, propiciando um microclima diferente ao gerado pelo sistema com um único aspersor e, por isso, as perdas de água por evaporação e arraste são menores.

Comparando as perdas mínimas, máximas e médias mostradas na Tabela 5, é visível que as perdas obtidas para o aspersor Agropolo NY-7 foram sensivelmente menores que as obtidas com os demais aspersores. Este fato pode ser justificado por dois motivos: a diferença entre o diâmetro de bocal e ângulo de inclinação (do jato) dos aspersores. Comparando uma mesma pressão, o bocal de 4,6 mm x 4,0 mm produz gotas menos pulverizadas que o bocal dos outros aspersores utilizados, as quais são mais resistentes ao arraste e apresentam menor área por unidade de massa e, como consequência, elas são menos afetadas pelas perdas de água por evaporação e arraste pelo vento, concordando com o que diz Playán et al. (2005) e Smajstrla & Zazueta (2003). Enquanto à variável ângulo de inclinação do jato, o de 7° faz com que o jato de água fique menos tempo exposto ao vento, e assim menos susceptível às perdas por evaporação e arraste.

Quanto ao diâmetro e inclinação dos bocais, observou-se o mesmo comportamento tanto em testes com um único aspersor como em testes com laterais de aspersores. As perdas aumentaram com o decréscimo do diâmetro dos bocais e com o acréscimo da inclinação do jato. Pode-se justificar o fato por dois motivos: (a) menor diâmetro de bocais acarreta (para uma mesma pressão) em um maior grau de pulverização do jato de água e, por conseqüência em maior perda de água por evaporação e arraste, conforme explicado por Playán et al. (2005) e Smajstrla & Zazueta (2003); e (b) maior ângulo de inclinação propicia um maior tempo de trajeto das gotas, favorecendo a evaporação e arraste das mesmas.

**Tabela 5.** Perdas de água por evaporação e arraste (%) para os diferentes modelos de aspersores utilizados, em testes com um único aspersor e com laterais de aspersores

Modelo do aspersor	Um único aspersor			Laterais de aspersores		
	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
NY-7	2,33	23,91	8,46	0,03	11,11	4,69
NY-12	4,69	52,87	36,54	4,65	33,3	13,55
Naan-12	7,95	55,72	40,34	9,16	32,78	20,15
NY-25	1,11	51,38	39,78	10,41	33,23	18,94

Um aspecto interessante a ser destacado é o pequeno valor de perda de água obtido para o modelo NY-7 (no máximo igual a 4,59%), para qualquer uma das pressões usadas, quando da ausência de vento durante o ensaio, em virtude do tamanho do bocal, conforme já discutido. No caso dos testes com laterais destes aspersores, também se observou baixos valores de perdas de água por evaporação e arraste, mesmo sempre havendo a presença de vento.

Os valores consideráveis obtidos tanto em testes com um único aspersor como também com laterais de aspersores dos modelos NY-12, Naan-12 e NY-25, mostram a grande susceptibilidade destes aspersores às perdas de água por evaporação e arraste, quando da ocorrência de temperaturas e velocidades de vento mais elevadas e menores valores de umidade relativa do ar. Este fato se deve à relação entre o diâmetro de bocal e a pressão de operação, que neste caso geram gotas bastante pulverizadas, apresentando maior área por unidade de massa e maior susceptibilidade ao vento e, conseqüentemente, sendo mais afetadas pela evaporação do ar e arraste, conforme afirmam Playán et al. (2005) e Smajstrla & Zazueta (2003). Também se deve, em parte, ao maior ângulo de inclinação do jato (12° ou 25°), o qual faz com que as gotas levem mais tempo até atingirem o solo, aumentando as perdas de água tanto por evaporação quanto por arraste pelo vento.

## 6 CONCLUSÕES

Com base nos testes de campo, foi possível concluir que: (i) as perdas de água por evaporação e arraste apresentaram tendência geral em aumentar com o acréscimo da temperatura, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento e com o decréscimo da umidade relativa do ar, sendo mais influenciadas pelo diâmetro do bocal do que pela pressão de operação; (ii) nos testes de campo com um único aspersor, as perdas de água por evaporação e arraste foram bastante superiores às perdas obtidas com laterais de aspersores funcionando simultaneamente; e (iii) o diâmetro do bocal do aspersor exerce grande

influência no valor das perdas de água por evaporação e arraste, podendo acarretar em perdas maiores que as apresentadas por muitos autores.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, e à Empresa Agropolo LTDA pela doação dos aspersores NY-7, NY-12 e NY-25.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de elementos do clima no desperdício de energia em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.336-341, 1999.

BESKOW, S. **Avaliação de modelos empíricos para estimativa das perdas de água por evaporação e arraste em sistemas de aspersão convencional**. 2006. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

DYLLA, A. S.; SHULL, H. Estimating losses from a rotating-boom sprinkler. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.26, n.1, p.123-125, 1983.

EDLING, R. J. Kinetic Energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.28, n.5, p.1543-1550, 1985.

FROST, K. R.; SCHWALEN, H. C. Sprinkler evaporation losses. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.36, n.8, p.526-528, 1955.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: AnaviBook, Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

KINCAID, D. C. Spraydrop kinetic energy from irrigation sprinklers. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.39, n.3, p.847-853, 1996.

KINCAID, D. C.; LONGLEY, T. S. A water droplet evaporation and temperature model. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.32, n.2, p.457-463, 1989.

KINCAID, D. C.; SOLOMON, K. H.; OLIPHANT, J. C. Drop size distributions for irrigation sprinklers. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.39, n.3, p.839-845, 1996.

KOHL, K. D.; KOHL, R. A.; DeBoer, D. W. Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.30, n.4, p.1071-1074, 1987.

MONTERO, J.; TARJUELO, J. M.; ORTEGA, J. F. Heterogeneity analysis of the irrigation in fields with medium size sprinklers. **Agricultural Engineering Internacional, the CIGR Ejournal**, v.2, p.1-11, 2000. Disponível em: <<http://cigr-ejournal.tamu.edu>>. Acesso em: 28 jun. 2006.

ORTEGA, J. F.; TARJUELO, J. M.; MONTERO, J.; DE JUAN, J. A. Discharge efficiency in sprinkling irrigation: analysis of the evaporation and drift losses in semi-arid areas. **Agricultural Engineering Internacional, the CIGR Ejournal**, v.2, p.1-21, 2000. Disponível em: <<http://cigr-ejournal.tamu.edu>>. Acesso em: 28 jun. 2006.

PEREIRA, G. M. **Simulação das perdas de água por evaporação e da uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão**. 1995. 125p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

PLAYÀN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J. M.; ZAPATA, N.; MARTÍNEZ-COB, A.; SÁNCHEZ, I. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.76, n.3, p.139-159, 2005.

SEGINER, I.; KANTZ, D.; NIR, D. The distortion by wind of the distribution patterns of single sprinklers. **Agricultural Management Management**, Amsterdam, v.19, n.4, p.341-359, 1991.

SMAJSTRLA, A. G.; ZAZUETA, F. S. **Evaporation loss during sprinkler irrigation**. Florida, Agricultural and Biological Engineering Department, Florida, 2003. 8p.

TARJUELO, J. M. **El riego por aspersión y su tecnología**. 2.ed. Madri: Mundi-Prensa, 1999. 565p.

TARJUELO, J. M.; ORTEGA, J. F.; MONTERO, J.; JUAN, J. A. Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.43, n.3, p.263-284, 2000.

YAZAR, A. Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating condition. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.8, n.4, p.439-449, 1984.