AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE EMISSÃO E DA UNIFORMIDADE ESTATÍSTICA EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

GILBERTO MANILLI FAVETTA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Abril - 1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

F273g Favetta, Gilberto Manilli
Avaliação da uniformidade de emissão e da uniformidade estatística em irrigação localizada. Piracicaba, 1993.
52p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

Luc
1. Irrigação localizada 2. Vazão - Simulação automatizada I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.7

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE EMISSÃO E DA UNIFORMIDADE
ESTATÍSTICA EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

GILBERTO MANILLI FAVETTA

Aprovado em: 04.06.93

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

ESALQ/USP

Prof. Dr. Décio Barbin

ESALQ/USP

Prof. Dr. José Antonio Frizzone

ESALQ/USP

Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

Orientador

A Leda, Rodrigo e Flávia

A G R A D E C I M E N T O S

Ao professor Tarlei Arriel Botrel pela orientação e estímulo.

Ao professor Amauri de Almeida Machado pelo inestimável apoio e incentivo em todas as fases deste trabalho.

Ao eng. agr. Milton Flávio Moura pelo apoio na realização do experimento.

Ao eng. agr. Francisco Nuevo, pelo apoio e cessão do programa computacional para simulação de vazões.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo para a realização do curso.

Aos demais professores, colegas de curso e funcionários da ESALQ que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

SUMARIO

	Página
COMISSÃO JULGADORA	ii
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
SUMARIO	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xi
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Avaliação da Uniformidade de Distribuição.	4
2.1.1. Avaliação de Campo da Uniformidade de Distribuição nos Sistemas de Irrigação Localizada	6
2.2. Uniformidade de Emissão	8
2.2.1. Variação na Fabricação dos Emissores	11
2.2.2. Número de Emissores por Planta	12
2.3. Uniformidade Estatística	13
3. METODOLOGIA	17
3.1. Descrição dos Métodos Utilizados na Avaliação da Uniformidade	18
3.1.1. Uniformidade de Emissão	18
3.1.2. Uniformidade Estatística	19

3.2. Simulação de Vazões	20
3.3. Avaliação e Comparação dos Métodos Aplicados . .	21
3.4. Procedimento de Avaliação de Campo	23
3.4.1. Descrição do Sistema de Irrigação Avaliado em Campo	23
3.4.2. Metodologia da Coleta de Vazões	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Valores de uniformidade obtidos a partir de simulação	27
4.2. Comparação dos métodos	29
4.2.1. Aspecto metodológico	29
4.2.2. Comportamento em relação a análise do censo	30
4.2.3. Comportamento em relação ao CV	30
4.3. Valores de uniformidade obtidos no levantamento de campo e comparação com os valores estimados por regressão	30
5. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 12 emissores; emissor A.	33
Figura 2 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 18 emissores; emissor A.	33
Figura 3 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 24 emissores; emissor A.	34
Figura 4 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 48 emissores; emissor A.	34
Figura 5 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 64 e 66 emissores; emissor A.	35
Figura 6 - Uniformidade x CV para valores dos censos; emissor A.	35
Figura 7 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 12 emissores; emissor B.	36
Figura 8 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 18 emissores; emissor B.	36
Figura 9 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 24 emissores; emissor B.	37
Figura 10 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 48 emissores; emissor B.	37
Figura 11 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 64 e 66 emissores; emissor B.	38
Figura 12 - Uniformidade x CV para valores dos cen- sos; emissor B.	38

Figura 13 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 4%; emissor A.	39
Figura 14 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 8%; emissor A.	39
Figura 15 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 12%; emissor A.	40
Figura 16 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 16%; emissor A.	40
Figura 17 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 20%; emissor A.	41
Figura 18 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 4%; emissor B.	41
Figura 19 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 8%; emissor B.	42
Figura 20 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 12%; emissor B.	42
Figura 21 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 16%; emissor B.	43

Figura 22 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral. CV = 20%; emissor B.	43
Figura 23 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 4%; emissor A.	44
Figura 24 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 8%; emissor A.	44
Figura 25 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 12%; emissor A.	45
Figura 26 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 16%; emissor A.	45
Figura 27 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 20%; emissor A.	46
Figura 28 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 4%; emissor B.	46
Figura 29 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 8%; emissor B.	47
Figura 30 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 12%; emissor B.	47
Figura 31 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 16%; emissor B.	48
Figura 32 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 20%; emissor B.	48

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Classificação para o coeficiente de variação de fabricação (CV_f).	13
Tabela 2 - Tamanhos de amostra utilizados no cálculo de UE , UE_α e U_s	22
Tabela 3 - Equações obtidas por regressão linear entre UE , UE_α , U_s e CV	29
Tabela 4 - Valores de uniformidade obtidos no levantamento de campo.	31
Tabela 5 - Comparação entre os valores originais de uniformidade e os valores obtidos através das equações propostas.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CUC	coeficiente de uniformidade de Christiansen
CV	coeficiente de variação
CV_f	coeficiente de variação de fabricação
CV_h	coeficiente de variação da pressão
CV_k	coeficiente de variação da constante k do emissor
CV_p	coeficiente de variação de entupimento do emissor
CV_q	coeficiente de variação da vazão do emissor
e	número de emissores por planta
H_{var}	variação da pressão na linha lateral
H_{max}	pressão máxima na linha lateral
H_{min}	pressão mínima na linha lateral
$\bar{q}$	média das vazões observadas
q_n	média das 25% menores vazões observadas
q_x	média das 12,5% maiores vazões observadas
q_{var}	variação da vazão do emissor
Q_{sup}	soma dos 1/6 maiores valores observados
Q_{inf}	soma dos 1/6 menores valores observados
r^2	coeficiente de determinação de regressão linear
S	desvio padrão
S_q	desvio padrão da vazão do emissor
UE	uniformidade de emissão
UE_a	uniformidade de emissão absoluta
U_s	uniformidade estatística
x	expoente da equação característica do emissor

AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE EMISSÃO E DA UNIFORMIDADE ESTATÍSTICA EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Autor: GILBERTO MANILLI FAVETTA

Orientador: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

RESUMO

Visando a avaliação dos principais métodos de estimativa da uniformidade de distribuição de água, foram simulados através de programa computacional conjuntos de valores de vazão de dois microaspersores distintos. Os valores de vazão foram gerados com diferentes graus de variabilidade, obtendo-se coeficientes de variação (CV) de 4% a 20%, em intervalos de 1%. Para cada conjunto foi calculada a uniformidade pelos métodos de uniformidade de emissão (UE), uniformidade de emissão absoluta (UE_a) e uniformidade estatística (U_s) em diferentes tamanhos amostrais e também no censo de cada conjunto (relação completa de todas vazões).

Foram feitas regressões lineares entre os valores de uniformidade de cada método calculados com base nos censos, obtendo-se altos coeficientes de determinação. Foram avaliadas também as uniformidades das vazões de dois sistemas de irrigação por microaspersão obtidas em campo pelos mesmos métodos já citados. Os valores obtidos foram compara-

dos com os valores calculados através das equações propostas geradas por regressão, chegando-se a valores bastante próximos.

A uniformidade estatística (U_s) revelou-se o melhor método para estimativa dos valores de uniformidade. As equações propostas mostraram-se capazes de estimar o valor de uniformidade por qualquer dos três métodos avaliados (U_E , U_{E_a} e U_s) a partir de um valor previamente conhecido de um outro desses mesmos métodos.

EMISSION UNIFORMITY AND STATISTICAL UNIFORMITY EVALUATION IN LOCALIZED IRRIGATION

Author: Gilberto Manilli Favetta

Adviser: Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

SUMMARY

Aiming the evaluation of the main uniformity estimation methods, groups of two flow emitters were simulated through computational program. Such flow groups were generated in different variability levels, resulting coefficients of variation from 4% up to 20%, with intervals of 1%. Uniformity was calculated from each group through the emission uniformity (UE), absolute emission uniformity (UE_a), and statistical uniformity (U_s) methods in different sample sizes and in the census (complete relation of all flows) of each group. Linear regressions were carried out from the uniformity values obtained in the census, giving high coefficients of determination.

It was also evaluated from field data the flow uniformity of two microsprinklers irrigation systems through the same methods already cited. The resulting values were compared to the calculated ones provided by the proposed regression equations, being quite similar.

Statistical uniformity (U_s) was the best method in the estimation of uniformity values. The proposed equations were able to estimate the uniformity by means of the evaluated methods (UE, UE_a e U_s).

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de irrigação localizada têm apresentado uma importância crescente no cenário agrícola brasileiro, com aplicação voltada principalmente à horticultura.

A principal finalidade da irrigação localizada é o suprimento de água e nutrientes para as plantas com uma frequência e volume adequados às suas necessidades. A irrigação localizada é também vastamente reconhecida na bibliografia como uma maneira eficiente de aplicação de fertilizantes às culturas.

O acompanhamento do desempenho do sistema de irrigação ao longo de sua vida útil é importante para a obtenção de informações essenciais às atividades de manutenção e manejo do sistema.

A uniformidade de distribuição dos emissores é o parâmetro que melhor caracteriza o desempenho de um sistema de irrigação localizada, sendo importante para a comparação com a uniformidade do sistema de irrigação prevista em projeto, para aperfeiçoar o manejo da irrigação e da fertirrigação e para a detecção de problemas que estejam ocorrendo com o equipamento.

A uniformidade do sistema de irrigação localizada é basicamente resultante da variação das vazões dos emissores. Existem atualmente diferentes metodologias de avaliação da uniformidade de aplicação nos sistemas de irrigação localizada.

Neste trabalho foram avaliadas metodologias baseadas em duas concepções de avaliação da uniformidade: o conceito de uniformidade de emissão e o conceito de uniformidade estatística. A avaliação dos métodos foi baseada na simulação de vazões através de programa computacional. Foram simulados conjuntos de vazões com 17 diferentes graus de uniformidade, sendo esse processo aplicado em dois sistemas de irrigação distintos. Os conjuntos de vazões simuladas foram analisados também em diferentes níveis amostrais.

Os resultados obtidos a partir dos dados de vazão simulados foram avaliados em dados de vazão obtidas a campo em dois sistemas de irrigação distintos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo JAMES (1988), o desempenho de um sistema de irrigação é determinado por três parâmetros: eficiência de aplicação, uniformidade de distribuição de água e adequacidade da irrigação.

Ainda segundo esse autor, o conceito de eficiência numa área irrigada é definido como a porcentagem de água aplicada que é benéficamente utilizada para irrigação. A uniformidade de aplicação descreve a regularidade com que um sistema de irrigação distribui a água numa determinada área e, finalmente, a adequacidade da irrigação é a porcentagem da área que recebe suficiente quantidade de água para manter a produtividade e a qualidade da produção agrícola em um nível econômico.

Entretanto, conforme relatam BRALTS et al. (1987), apesar da avaliação de um sistema de irrigação localizada envolver outros aspectos além da uniformidade de vazão do emissor, a estimativa precisa da uniformidade do sistema é provavelmente o indicador mais importante do seu desempenho. Segundo NAKAYAMA (1981), informações referentes à vazão dos emissores e sua uniformidade são essenciais para

o dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação localizada.

Nesse mesmo raciocínio, PIZZARRO (1986) observa que a uniformidade é um parâmetro que caracteriza todo sistema de irrigação e que tem efeitos diretos tanto no projeto como no funcionamento dos equipamentos.

2.1. Avaliação da Uniformidade de Distribuição

Segundo VERMEIREN & JOBLING (1984), nos sistemas de irrigação localizada a água é conduzida por uma rede de tubulações até o ponto de infiltração no solo. Por esse motivo, a uniformidade da vazão individual dos emissores do sistema dá uma boa idéia da uniformidade de distribuição.

CHRISTIANSEN (1942) propôs um coeficiente de uniformidade (CUC) como forma de avaliação quantitativa da uniformidade em sistemas de irrigação por aspersão. Este coeficiente é baseado na soma dos desvios absolutos de cada observação a partir da média (SOLOMON & KELLER, 1978).

HART & REYNOLDS (1965) estudaram a relação entre CUC e o desvio padrão, e verificaram que a distribuição dos valores das lâminas observadas na irrigação por aspersão aproxima-se da curva de distribuição de Gauss, para um CV superior a 60%.

Nos sistemas de irrigação localizada a descarga dos emissores é influenciada pelas seguintes variáveis: projeto do emissor, padrões de fabricação, perdas de carga na rede hidráulica, variações topográficas na área irrigada,

quantidade e grau de entupimento de emissores, variação da temperatura da água dentro do sistema, presença de ar na rede hidráulica e ainda de eventuais perfurações na tubulação.

Segundo SOLOMON (1985) o entupimento dos emissores, o número de emissores por planta e a variação de fabricação dos emissores são os fatores mais significantes influenciando a uniformidade dos sistemas de irrigação localizada. Neste mesmo sentido, SAMMIS & WU (1985) citam que a uniformidade de distribuição depende da uniformidade de fabricação, do projeto hidráulico e da manutenção do sistema de irrigação.

Segundo BRALTS (1986), apesar dos sistemas de irrigação localizada apresentarem alto potencial de eficiência, fatores como dimensionamento inadequado, assim como manejo e manutenção deficientes, podem ocasionar baixos índices de eficiência. Para compensação destes baixos índices, o irrigante se vê obrigado a fazer uso intensivo da irrigação, que poderá ocasionar perda de água, nutrientes e energia. SAMMIS & WU (1985) relatam que a manutenção inadequada do sistema de irrigação pode reduzir drasticamente a uniformidade de distribuição, resultando em aumento do volume de água aplicado.

BRALTS (1986) menciona que nenhuma equação para dimensionamento de sistemas de irrigação localizada, que incluísse os diversos fatores que afetam a uniformidade da vazão dos emissores, havia sido proposta até então.

2.1.1. Avaliação de Campo da Uniformidade de Distribuição nos Sistemas de Irrigação Localizada

Segundo BRALTS (1986) E BRALTS et al. (1987) a avaliação de campo nos sistemas de irrigação localizada é importante pelos seguintes motivos:

- i. fornece informações importantes para o manejo do sistema.
- ii. permite determinar com que eficiência o sistema está sendo operado e se as especificações de uniformidade de vazão dos emissores previstas em projeto estão sendo obtidas. A avaliação permite ainda o monitoramento do desempenho do sistema quando realizada periodicamente.
- iii. possibilita a determinação da eficiência com que o sistema pode chegar a operar e se ele pode ser melhorado.
- iv. é uma ferramenta de diagnóstico da operação do sistema e seus componentes, e ainda uma ferramenta para a adoção de medidas corretivas se necessário.
- v. fornece informações que auxiliam os projetistas no dimensionamento de outros sistemas.
- vi. fornece informações que permitem comparar vários métodos, sistemas e procedimentos operacionais como base para decisões econômicas.

MERRIAN et al. (1983) afirmam que as condições em que um sistema de irrigação está sendo operado (eficiência de distribuição atual), as condições em que pode vir a operar (eficiência de distribuição potencial) ou ainda a confirmação da eficiência prevista em projeto, somente podem ser obtidas por avaliação de campo.

Três métodos têm sido empregados na avaliação de sistemas de irrigação localizada:

- Conceito de uniformidade de emissão (KELLER & KARMELI, 1974)
- Conceito da variação da vazão do emissor (WU & GITLIN, 1974)
- Conceito de uniformidade estatística (BRALTS et al., 1981a,b)

Segundo BRALTS (1986), o método de avaliação de campo proposto por WU & GITLIN (1974) para determinação da uniformidade de emissão é uma estimativa da variação da vazão dos emissores baseada na variação de pressão das linhas laterais. Esse método consiste em encontrar as pressões máxima e mínima nas linhas laterais e então calcular a variação da vazão dos emissores pelas eq. 1 e 2.

$$q_{var} = 100 \left[1 - (1 - H_{var})^x \right] \quad (1)$$

$$H_{var} = \frac{H_{max} - H_{min}}{H_{max}} \quad (2)$$

sendo:

- q_{var} - variação da vazão do emissor
- H_{var} - variação da pressão na linha lateral
- H_{max} - pressão máxima na linha lateral
- H_{min} - pressão mínima na linha lateral
- x - expoente da equação característica do emissor ($q = k H^x$)

A maior limitação desse método é não considerar a variação da vazão devido à uniformidade de fabricação e ao grau de entupimento, que podem ser significativos na uniformidade do sistema, conforme menciona BRALTS (1987).

2.2. Uniformidade de Emissão

O conceito de uniformidade de emissão, UE, foi originalmente apresentado por KELLER & KARMELI em 1974, sendo a sua definição baseada na razão entre as vazões mínima e média dos emissores.

MERRIAN et al. (1983) utilizam os termos uniformidade de distribuição e uniformidade de emissão como sinônimos em seu trabalho. JAMES (1988) adota o nome de uniformidade de distribuição para o conceito aqui apresentado de UE.

UE é expressa pela eq. 3.

$$UE = 100 \frac{q_n}{\bar{q}} \quad (3)$$

sendo:

UE - uniformidade de emissão

q_n - média das 25% menores vazões observadas

$\bar{q}$ - média de todas as vazões observadas

Esse conceito foi baseado na premissa de que o objetivo primário de um sistema de irrigação é assegurar a aplicação de uma quantidade mínima de água na área irrigada, conforme observaram SOLOMON & KELLER (1978).

De acordo com PIZARRO (1986), UE pode ser uti-

lizada tanto para fins de dimensionamento do sistema como para sua avaliação de campo. No caso de dimensionamento, ao contrário da avaliação de um sistema já instalado, a uniformidade é uma condição que se impõe.

Segundo CUENCA (1989), para efeito de dimensionamento, q_n passa a ser a vazão mínima do emissor e $\bar{q}$ a média da vazão de projeto do emissor. A vazão mínima do emissor corresponde ao ponto de menor pressão no sistema de distribuição.

PIZARRO (1986) observa ainda que quanto maior o valor de UE mais caro fica o equipamento de irrigação, já que para uma menor dispersão nas vazões, a distribuição de pressões na rede hidráulica precisa ser mais uniforme, o que exige maior diâmetro nas canalizações, laterais mais curtas, maior investimento em reguladores de pressão, etc.

Posteriormente, conforme observou BRALTS (1986), a eq. 3 foi modificada e redefinida de forma a incluir o coeficiente de variação de fabricação (CV_f), e o número de emissores por planta (e). Desta forma, a estimativa da uniformidade de emissão para fins de dimensionamento do sistema pode ser feita pela eq. 4.

KELLER & KARMELI (1974), propuseram uma forma modificada da equação de UE, denominada uniformidade de emissão absoluta, UE_a , que inclui as razões das vazões máxima e mínima dos emissores com a média. UE_a é expressa pela eq. 5.

$$UE = 100 \left[1 - 1,27 \cdot e^{-0,5 \cdot CV_f} \right] \frac{q_n}{\bar{q}} \quad (4)$$

sendo:

UE - uniformidade de emissão

e - número de emissores por planta

q_n - média das 25% menores vazões observadas

$\bar{q}$ - média das vazões observadas

CV_f - coeficiente de variação de fabricação

$$UE_a = 100 \cdot \frac{1}{2} \left[\frac{q_n}{\bar{q}} + \frac{\bar{q}}{q_x} \right] \quad (5)$$

sendo:

UE_a - uniformidade de emissão absoluta, em porcentagem

q_n - média das 25% menores vazões observadas

q_x - média das 12,5% maiores vazões observadas

$\bar{q}$ - média das vazões observadas

A principal desvantagem desse método, segundo BRALTS (1986), é a ausência de fundamentos estatísticos. Por essa razão, os intervalos de confiança e a análise das causas de variação da vazão dos emissores não podem ser obtidos. Ainda segundo BRALTS (1987), o método proposto por KELLER & KARMELI é uma forma modificada do sistema de avaliação do Soil Conservation Service (USDA).

O conceito de uniformidade de emissão é descrito por MERRIAN et al. (1983) como "low quarter concept", tendo sido proposto pelo Soil Conservation Service e recomendado como padrão para comparação entre situações

diferentes.

O procedimento de avaliação de campo desse método consiste em se tomar amostras da vazão dos emissores em 16 pontos simetricamente distribuídos na área de interesse.

BRALTS (1986) apresenta os seguintes critérios para interpretação dos valores de UE e UE_a :

90% ou maior:	excelente
80% a 90% :	bom
70% a 80% :	regular
menor que 70% :	ruim

2.2.1. Variação na Fabricação dos Emissores

De acordo com SOLOMON (1979), a variação na fabricação dos emissores é um fator de grande influência na uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação localizada. Deve ser levada em consideração na seleção do emissor e no dimensionamento do sistema, objetivando atingir níveis predeterminados de eficiência. Ainda segundo este autor, o coeficiente de variação de fabricação (CV_f) é o parâmetro indicado para avaliação das diferenças individuais entre emissores.

Segundo NAKAYAMA et al. (1979) o coeficiente de variação de fabricação descreve a variação na vazão em uma amostra de emissores novos operando em temperatura constante e na pressão de serviço do emissor.

SOLOMON (1979) menciona que o CV_f é influen-

ciado pelo projeto do emissor, pelos materiais usados na sua construção e pelos cuidados aplicados na sua fabricação e controle de qualidade.

Ainda segundo SOLOMON (1979) a variação da vazão do emissor resultante da variação de fabricação é assumida como tendo distribuição normal. Este autor recomenda que o CV_f seja definido pela razão entre o desvio padrão da vazão do emissor e a sua média, conforme descreve a eq. 6.

$$CV_f = \frac{S_q}{\bar{q}} \quad (6)$$

sendo:

- CV_f - coeficiente de variação de fabricação
- S_q - desvio padrão da vazão dos emissores
- $\bar{q}$ - média das vazões observadas

A AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE) recomenda a classificação da Tabela 1 para o CV_f .

2.2.2. Número de Emissores por Planta

De acordo com SOLOMON & KELLER (1978), a variação da vazão total de um conjunto de emissores é menor que a variação individual de vazão dos emissores. Do ponto de vista estatístico, quando há vários emissores por planta as variações nas vazões de cada emissor tendem a se anular mutuamente. O desvio padrão da vazão total destinada a uma planta por um número de emissores (e) é o desvio padrão da vazão individual dos emissores dividido pela raiz quadrada de (e).

Tabela 1 - Classificação para o coeficiente de variação de fabricação (CV).

Fonte de emissão	CV _f	Classificação
Fonte puntual	< 0,05	bom
	0,05 a 0,10	médio
	0,10 a 0,15	marginal
	> 0,15	inaceitável
Fonte linear	< 0,10	bom
	0,10 a 0,20	médio
	> 0,20	marginal a inaceitável

Fonte: ASAE standards EP 405, 1985

2.3. Uniformidade Estatística

O chamado conceito de uniformidade estatística consiste numa abordagem da uniformidade de vazão dos emissores e da eficiência de distribuição baseada no coeficiente de variação da vazão (BRALTS et al., 1987). Esse conceito, aplicado à irrigação localizada, está apresentado, nos trabalhos de BRALTS (1986), BRALTS et al. (1981a,b, 1982, 1987), BRALTS & KESNER (1983) e BENAMI & OFEN (1984). Essa abordagem feita sobre a uniformidade de distribuição permite oferecer metodologias para serem utilizadas tanto no dimensionamento de sistemas de irrigação como na sua avaliação de campo.

A uniformidade estatística foi primeiramente apresentada por WILCOX & SWAILES (1947) na avaliação de equipamentos de irrigação por aspersão, sendo baseada no

coeficiente de variação (CV) da lâmina aplicada. De acordo com BRALTS et al. (1987), uma abordagem estatística idêntica pode ser feita para os sistemas de irrigação localizada, bastando a substituição das lâminas, na conceituação original, pela vazão dos emissores, resultando na eq. 7.

$$U_s = 100 \left[1 - CV_q \right] = 100 \left[1 - \frac{S_q}{\bar{q}} \right] \quad (7)$$

sendo:

U_s - uniformidade estatística

CV_q - coeficiente de variação da vazão do emissor

S_q - desvio padrão da vazão do emissor

$\bar{q}$ - média das vazões observadas

BRALTS & KESNER (1983) propuseram um método de estimativa da uniformidade da vazão dos emissores baseado no CV a partir de dados medidos a campo. As vantagens desse método incluem a simplicidade nos levantamentos de campo e a capacidade de estabelecer intervalos de confiança baseados na estimativa da uniformidade.

Neste método estimam-se o desvio padrão e a média, e a partir desses dois valores o CV. BRALTS & KESNER (1983) avaliaram ainda que uma amostra de 18 vazões observadas aleatoriamente são suficientes para a estimativa do desvio padrão através deste método.

Para estimativa do desvio padrão, BRALTS & KESNER (1983) utilizam o método reportado por LATHROP (1961). Tal método utiliza a diferença entre dois valores retirados das extremidades da curva de distribuição para es-

timar o desvio padrão.

O conceito de uniformidade estatística é baseado no coeficiente de variação da vazão dos emissores e trata a variação dessas vazões como uma combinação probabilística dos fatores que a influenciam, conforme relatam BRALTS et al. (1987).

BRALTS et al. (1981a,b) mostraram que para emissores do tipo orifício, instalados em tubos de câmara simples, os coeficientes de variação hidráulica e de fabricação são independentes e podem ser combinados num coeficiente único de variação. Posteriormente, BRALTS et al. (1987) passaram a apresentar o coeficiente de variação total do emissor como uma função dos coeficientes de variação parciais devidos a hidráulica, processo de fabricação, número de emissores por planta e entupimento, dando origem a eq. 8.

$$CV_q = e^{-1/2} \left[CV_p^2 + CV_k^2 + x^2 CV_h^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

sendo:

CV_q - coeficiente de variação da vazão do emissor

CV_p - coeficiente de variação de entupimento do emissor

CV_k - coeficiente de variação da constante k de emissor

CV_h - coeficiente de variação da pressão

x - expoente da equação característica do emissor

$$(q = k H^x)$$

e - número de emissores por planta

BRALTS et al. (1981a,b) recomendam o uso de U_e na avaliação das linhas laterais de um sistema de irrigação localizada. A justificativa reside em que, nesta abordagem estatística, todos os fatores que influenciam a uniformidade podem ser incluídos na estimativa final da uniformidade. Esses fatores são a perda de carga, desnível topográfico, variação na fabricação dos emissores e entupimento.

O critério geral para interpretação de U_e é:

90% ou mais	excelente
80 a 90%	muito bom
70 a 80%	regular
60 a 70%	ruim
menos de 60%	inaceitável

3. METODOLOGIA

Foram analisadas duas diferentes concepções de avaliação da uniformidade em irrigação localizada: o conceito de uniformidade de emissão e o conceito de uniformidade estatística. A primeira foi estudada ainda sob suas duas versões, uniformidade de emissão e uniformidade de emissão absoluta. As concepções foram avaliadas individualmente e comparadas entre si.

Neste trabalho a metodologia para análise e comparação dos métodos de cada concepção está baseada na sua aplicação em dados simulados de vazão de microaspersores.

Os resultados obtidos nesta avaliação foram comparados através da aplicação dos métodos descritos em duas populações de vazão obtidas em levantamento de campo em dois sistemas de irrigação distintos.

Define-se neste trabalho os seguintes termos:

- parcela hidráulica (ou parcela): menor área de um sistema de irrigação passível de individualização no manejo.
- linha de derivação: tubulação da qual se ramificam as linhas laterais.

- **linha lateral (ou lateral):** tubulação na qual há emissores instalados.
- **unidade hidráulica:** área abrangida pelas linhas laterais derivadas a partir de uma única linha de derivação e não superior a área de uma parcela.

3.1. Descrição dos Métodos Utilizados na Avaliação da Uniformidade

3.1.1. Uniformidade de Emissão

A uniformidade de emissão, UE, é dada pela divisão entre as 25% menores vazões observadas e a média de todas as vazões observadas.

Já a uniformidade de emissão absoluta, UE_a , que é uma variação da uniformidade de emissão, pondera as 25% menores e as 12,5% maiores vazões, ambas relacionadas com a média da vazões observadas.

A amostragem padrão para UE e UE_a prevê que sejam medidas as vazões em 16 emissores tomados em pontos previamente determinados da área avaliada, sendo 4 emissores por lateral, para um total de 4 laterais assim distribuídas: primeira lateral da linha de derivação, lateral a $1/3$ do comprimento da linha de derivação, lateral a $2/3$ do comprimento da linha de derivação e última lateral. Os emissores de cada lateral são escolhidos segundo o mesmo critério de distribuição: primeiro emissor, emissor a $1/3$ do comprimento da lateral, emissor a $2/3$ da lateral e último emissor da lateral. O cálculo de UE e UE_a é feito pelas eq. 3 e 5.

3.1.2. Uniformidade Estatística

O conceito de uniformidade estatística é baseado no CV da vazão dos emissores, lembrando que o CV por sua vez é obtido a partir das estimativas da média e do desvio padrão. Neste trabalho optou-se por estimar o desvio padrão pelo método de LATHROP¹ (1961), sugerido por BRALTS & KESNER (1983), que utiliza valores extraídos das caudas da curva de distribuição. Este método foi utilizado devido a sua capacidade de estimar de forma bastante simples e precisa o desvio padrão a partir das vazões observadas.

A amostragem padrão preconizada por BRALTS & KESNER (1983) prevê que sejam medidas as vazões em 18 emissores tomados aleatoriamente na unidade hidráulica de interesse. A estimativa do coeficiente de variação é dada pela eq. 9.

$$CV_q = 0,667 \frac{(Q_{sup} - Q_{inf})}{(Q_{sup} + Q_{inf})} \quad (9)$$

sendo:

CV_q - coeficiente de variação da vazão do emissor

Q_{sup} - soma dos 1/6 maiores valores observados

Q_{inf} - soma dos 1/6 menores valores observados

Uma vez obtido o coeficiente de variação, calcula-se o valor da uniformidade estatística, U_s , definido pela eq. 7.

¹ LATHROP, R.L. A quick but accurate approximation to the standard deviation of a distribution. *Journal of Experimental Education*. 29(3):319-21, 1961.

3.2. Simulação de Vazões

Como já mencionado, os métodos foram aplicados em conjuntos de vazão de microaspersores obtidos a partir de simulação. Foram simulados conjuntos de vazão de dois emissores distintos, em diferentes graus de uniformidade.

A simulação foi feita através do programa computacional DIMLOC.EXE, elaborado por NUEVO (1992), nas seguintes condições:

- i. As características dos dois microaspersores utilizadas na execução do programa foram obtidas no ensaio realizado por BOTREL (1984). Os microaspersores empregados foram o Irtec rotativo e o Dantas MA 120, que passam a ser aqui identificados respectivamente por A e B.
- ii. Cada modelo de microaspersor teve seus conjuntos de vazão simulados sob condições distintas de espaçamento e número de emissores por parcela hidráulica. Esse procedimento visou obter valores de uniformidade a partir de sistemas de irrigação diferentes.
- iii. Para cada microaspersor foram simulados 17 conjuntos de vazão com CV variando de 4 a 20% em intervalos de 1% (totalizando portanto 34 conjuntos de vazões simuladas para A e B). A alteração do CV foi obtida unicamente através do CV_f , que necessita ser informado ao programa.
- iv. Para cada conjunto de vazões simuladas foram calculados UE , UE_a e U_s . Estes métodos foram ainda aplicados sobre o censo de cada conjunto. Define-se censo neste trabalho como o registro de todas as vazões presentes em um conjunto de

emissores. Os tamanhos de amostras utilizados para cada método estão apresentados na Tabela 2.

v. Para o método de U_g a coleta de vazões foi feita aleatoriamente em todos os níveis amostrais.

vi. Para os métodos de UE e UE_g os diferentes níveis amostrais foram coletados seguindo o mesmo princípio contido na amostra padrão de 16 pontos: foi obedecida a estratégia de coleta da vazão em ponto no início, pontos intermediários e ponto no fim de cada lateral, localizados em intervalos equidistantes. As laterais escolhidas para coleta também seguiram o mesmo critério. Os pontos de coleta estão expostos na Tabela 2. Exemplificando para o nível amostral de 36 pontos de coleta: foram amostradas vazões de 6 laterais localizadas em pontos equidistantes na linha de derivação, incluindo a primeira e a última laterais. Em cada uma dessas 6 laterais foram coletadas as vazões de 6 emissores, seguindo-se o mesmo critério de equidistância entre emissores.

3.3. Avaliação e Comparação dos Métodos Aplicados

Os processos de cálculo de cada método foram aplicados em cada um dos 34 conjuntos de vazão obtidos por simulação. Cada método foi aplicado utilizando-se diferentes tamanhos amostrais, com o objetivo de avaliar como se comportam os valores de uniformidade obtidos em função dessa variável. Foi feita uma coleta distinta de dados para cada tamanho amostral utilizado. A avaliação foi feita, para cada valor de CV, elaborando-se gráficos contendo o número de

Tabela 2 - Tamanhos de amostra utilizados no cálculo de UE,

 UE_a e U_s .

UE e UE_a		U_s
TAMANHO DA AMOSTRA	PONTOS DE COLETA ¹	TAMANHO DA AMOSTRA
09	3x3	06
12	4x3	12
12	3x4	18
16	4x4	24
18	6x3	30
18	3x6	36
24	8x3	42
24	6x4	48
24	4x6	54
24	3x8	60
32	8x4	66
32	4x8	72
36	6x6	censo ²
48	8x6	
48	6x8	
64	8x8	
censo ²		

¹ O primeiro dígito descreve o número de laterais amostradas e o segundo dígito descreve o número de emissores amostrados em cada lateral.

² O censo do microaspersor A engloba 336 emissores e o do microaspersor B engloba 240 emissores.

observações da amostra no eixo das abscissas e os valores de uniformidade no eixo das ordenadas. A comparação entre os dois diferentes métodos foi feita através de estatísticas descritivas.

Os valores de uniformidade obtidos pelos diferentes métodos com base no censo dos conjuntos de vazão serviram como valores de referência para avaliação da sensibilidade do método. A sensibilidade é a capacidade do

método de estimar a uniformidade adequadamente, sendo função do método em si e do tamanho da amostra.

Na avaliação dos métodos foram utilizados gráficos construídos a partir dos valores de uniformidade obtidos, tendo sido construídos gráficos distintos para os emissores A e B. Em um primeiro tipo de gráficos são apresentados os valores de uniformidade (UE , UE_a e U_s) versus CV , mantendo-se fixo o tamanho amostral; em um segundo tipo de gráfico apresenta-se os valores de uniformidade versus tamanho amostral, mantendo-se fixo o CV . Tanto UE como UE_a , por se tratarem de variações da mesma metodologia, são apresentados conjuntamente nos gráficos, enquanto U_s é apresentado individualmente.

Com a finalidade de avaliação do grau de correlação dos métodos entre si, e destes com o CV , foram feitas regressões lineares utilizando-se os valores de uniformidade calculados com base no censo. Foram feitas regressões dos métodos entre si e versus CV , utilizando-se valores de ambos os emissores.

3.4. Procedimento de Avaliação de Campo

3.4.1. Descrição do Sistema de Irrigação Avaliado em Campo

A avaliação foi executada em um sistema de irrigação por microaspersão implantado na Fazenda Umuarama, localizada no município de Itapetininga, Estado de São Paulo, em Novembro de 1991. Foram analisados 2 tipos de mi-

croaspersores: o tipo rotativo, auto-regulável, modelo DAN 2001, com vazão nominal de 20 l/h e o tipo difusor, auto-regulável, modelo DANJET, com vazão nominal de 19 l/h.

Foi adotada para avaliação de cada tipo de microaspersor uma unidade hidráulica de uma das parcelas que compõem o sistema de irrigação.

A cultura irrigada é um pomar de laranjeiras plantadas em espaçamento (7 x 4) m e com um microaspersor por planta. Os microaspersores são espaçados de 4 m, cada um colocado no centro entre duas árvores de uma mesma linha de plantio.

A tubulação das linhas laterais é de polietileno de baixa densidade, com diâmetro externo de 16 mm (13mm interno).

3.4.2. Metodologia da Coleta de Vazões

Descreve-se a seguir a metodologia adotada no levantamento das vazões (censo) de microaspersores das unidades hidráulicas.

i. As unidades hidráulicas escolhidas para análise, que receberam a identificação de 1 e 2, têm as seguintes características:

unidade 1: 336 microaspersores DANJET, distribuídos em 12 laterais de 28 emissores cada uma.

unidade 2: 315 microaspersores DAN 2001 distribuídos em 15 laterais de 21 emissores cada uma.

ii. Procedimento de medida.

- os emissores foram numerados em ordem crescente do início para o fim da linha lateral.

- as linhas laterais foram numeradas em ordem crescente do início para o fim da linha secundária.

- na medida da vazão foram utilizadas provetas de vidro com capacidade de 500 ml, graduadas de 5 em 5 ml, permitindo leituras de 2,5 em 2,5 ml.

- para coleta da vazão o microaspersor foi desconectado do suporte de fixação ao solo.

- o tempo de coleta da vazão foi de 60 segundos, controlado por cronômetro analógico. Durante esse período de 60 segundos o microaspersor foi inserido dentro da proveta, de forma que não houvesse respingos para fora da mesma.

- O sistema de filtragem foi limpo antes do período de coleta, visando evitar flutuações na pressão da rede.

- Foram medidas as pressões inicial e final de cada lateral após o término da coleta de vazões de seus emissores. Para tal foi utilizado um manômetro tipo Bourdon com escala com divisões a cada 20 kPa e calibrado com manômetro padrão com precisão de 0,5%. A leitura da pressão nos pontos iniciais de cada lateral foi feita com auxílio de um adaptador que, ligado ao manômetro por uma das extremidades, era conectado ao corpo do primeiro microaspersor da lateral, previamente desmontado.

- Não foram feitas repetições nas coletas de vazão. Um levantamento preliminar mostrou ser desnecessário tal

procedimento, pois os valores observados se repetiram.

- Em caso de dúvida sobre o valor observado, o procedimento de coleta foi repetido. Sendo o novo valor diferente do primeiro, repetiu-se a leitura uma terceira vez. O valor utilizado para o cálculo da uniformidade passava a ser então a média dos três valores observados.

- Quando visualmente foi observado problema de entupimento (o que só ocorre em caso de entupimento severo), o emissor foi desmontado e limpo e só após foi feita a coleta da vazão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Valores de uniformidade obtidos a partir de simulação

São apresentados a seguir os gráficos contendo os valores de uniformidade obtidos a partir da simulação de vazões. Os gráficos de UE , UE_{α} e U_s versus CV são apresentados nas Figuras 1 a 12, para tamanhos amostrais de 12, 18, 24, 48, 64 e 66 emissores e censo (população completa). Os tamanhos amostrais 64 e 66 referem-se a um único gráfico, sendo o tamanho amostral 64 utilizado para cálculo de UE e UE_{α} e o valor 66 utilizado para cálculo de U_s . Os demais tamanhos amostrais são idênticos para os métodos de estimativa de uniformidade utilizados (UE , UE_{α} e U_s). Os gráficos de UE e UE_{α} versus número de emissores por amostra são apresentados nas Figuras 13 a 22, para CV de 4%, 8%, 12%, 16% e 20%. A título de referência, foram incluídos em cada gráfico os valores correspondentes as uniformidades calculadas com base nos dados do censo. Os gráficos das Figuras 23 a 32 são similares, somente que apresentando U_s no lugar de UE e UE_{α} . Também nestes gráficos são apresentados, a título de

referência, os valores de uniformidade calculados com base nos dados do censo.

Para os diferentes gráficos descritos são apresentados dados dos dois modelos de microaspersores avaliados, A e B. Deve ser notado nos gráficos que a tendência é similar para ambos os modelos de microaspersores analisados, mesmo tendo sido impostas condições diferentes na simulação das respectivas vazões.

Os gráficos mostram que, como já era de se esperar, quanto maior o tamanho da amostra melhor os métodos estimam a uniformidade, tomando-se por base a uniformidade calculada pelo censo.

Analisando-se os gráficos de uniformidade x CV é possível avaliar que U_s é um método com maior sensibilidade do que UE e UE_a , uma vez que, mesmo para diferentes amostras em coleta e tamanho, resultam valores de uniformidade menos dispersos em relação à referência.

Na Tabela 3 são apresentadas as equações obtidas por regressão linear entre UE, UE_a e U_s entre si e com CV, tomando-se por base os dados dos censos dos emissores A e B. Todas as regressões executadas foram baseadas em 34 pontos de observações. Nota-se aí o alto coeficiente de determinação obtido entre os métodos de uniformidade e destes com o CV.

Tabela 3 - Equações obtidas por regressão linear entre UE, UE_a , U_s e CV.

var. dep.	var. indep.	r^2	equação obtida
CV	UE	0,99696	$CV = 75,76819 + UE (-0,75427)$
UE	CV	0,99696	$UE = 100,40385 + CV (-1,32175)$
CV	UE_a	0,99844	$CV = 83,68856 + UE_a (-0,84857)$
UE_a	CV	0,99844	$UE_a = 98,60104 + CV (-1,17661)$
CV	U_s	0,99910	$CV = 104,46142 + U_s (-1,04638)$
U_s	CV	0,99910	$U_s = 99,82086 + CV (-0,95482)$
UE	U_s	0,99815	$UE = -37,79586 + U_s (1,38450)$
U_s	UE	0,99815	$U_s = 27,41242 + UE (0,72094)$
UE	UE_a	0,99746	$UE = -10,30951 + UE_a (1,12276)$
UE_a	UE	0,99746	$UE_a = 9,37365 + UE (0,88840)$
UE_a	U_s	0,99920	$UE_a = -24,40025 + U_s (1,23221)$
U_s	UE_a	0,99920	$U_s = 19,85654 + UE_a (0,81090)$

4.2. Comparação dos métodos

4.2.1. Aspecto metodológico

Para os valores baixos de CV os tamanhos amostrais padrão para UE, UE_a e U_s foram suficientes para a obtenção de um CV confiável. Quando a uniformidade porém é baixa, é desejável que o tamanho amostral seja maior que aquele recomendado pelos citados métodos. Quanto ao processo de amostragem observou-se que a forma aleatória utilizada por U_s conferiu maior sensibilidade ao método que a amostragem dirigida utilizada por UE e UE_a , podendo-se atribuir esse comportamento também à forma de análise dos dados em cada método.

4.2.2. Comportamento em relação a análise do censo

O método da U_s mostrou ser menos variável do que UE e UE_a em relação aos valores obtidos pela análise do dados do censo.

4.2.3. Comportamento em relação ao CV

O método U_s apresentou a capacidade de estimar valores de uniformidade com menor variabilidade em relação ao CV do que UE e UE_a , o que era esperado, uma vez que o cálculo de U_s esta baseado no CV. Observe-se, todavia, que o CV utilizado para cálculo de U_s adota S estimado através do método de Lathrop, enquanto o CV utilizado na comparação com UE e UE_a adota S calculado pela forma tradicional.

4.3. Valores de uniformidade obtidos no levantamento de campo e comparação com os valores estimados por regressão

Os valores de uniformidade obtidos na a valiação de campo estão descritos na Tabela 4. Esses valores foram comparados com os valores de uniformidade estimados através das equações da Tabela 3, para verificação da validade das mesmas. Os altos coeficientes de determinação (r^2) obtidos na regressão entre cada um dos métodos entre si indica a possibilidade de estimativa da uniformidade por um dos três métodos a partir de um dos outros mesmos métodos. O resultado da aplicação desse processo nos dados coletados a

campo confirma a sua validade. A Tabela 5 apresenta os valores de uniformidade obtidos através dessas duas formas, estando apresentado a seguir um exemplo de seu uso:

- Emissor: DAN 2001
- Valor a ser determinado: UE
- Valor conhecido: $U_s = 94,75$ (valor calculado pela forma convencional do método e apresentado na Tabela 4).
- Determinação do valor de UE: a aplicação do valor conhecido de U_s na equação da Tabela 3, que correlaciona UE com U_s ($UE = -37,79586 + U_s(1,38450)$), sendo UE a variável dependente e U_s a variável independente, resulta na uniformidade apresentada na quarta coluna/segunda linha da Tabela 5, ou seja, 93,39. A diferença entre o valor calculado pela equação obtida por regressão e o valor calculado da forma convencional do método estão apresentados, em valores absoluto e porcentual, nas duas últimas colunas da Tabela 5 (neste exemplo, -1,60 e -1,72% respectivamente).

Tabela 4 - Valores de uniformidade obtidos no levantamento de campo

Emissor	Método	Valor Obtido
DAN 2001	UE	90,94
DAN 2001	UE_a	91,60
DAN 2001	U_s	94,75
DAN JET	UE	92,47
DAN JET	UE_a	91,80
DAN JET	U_s	96,19

Tabela 5 - Comparação entre os valores observados de uniformidade e os valores obtidos através das equações propostas.

emis- sor	unifor- midade	origem do valor de uniformidade				diferença (3) - (2)	
		equações propostas		dados observados			
		(1)	(2)	amostra padrão (3)	censo (4)	absoluta	%
DAN 2001	UE	UE _a	92,53	90,94	94,41	-1,60	-1,72
		U _s	93,39			-2,45	-2,62
		CV	91,19			-0,25	-0,28
	UE _a	UE	90,16	91,60	93,91	1,44	1,59
		U _s	92,36			-0,76	-0,82
		CV	90,40			1,20	1,33
	U _s	UE	92,97	94,75	95,59	1,78	1,91
		UE _a	94,14			0,62	0,66
		CV	94,02			0,74	0,79
	CV	UE	7,18	6,08 ⁽⁵⁾	4,59	-1,10	-18,09
		UE _a	5,96			0,12	1,97
		U _s	5,31			-0,77	-12,66
DAN JET	UE	UE _a	92,76	92,47	92,98	-0,29	-0,32
		U _s	95,38			-2,91	-3,05
		CV	92,21			0,26	0,28
	UE _a	UE	91,52	91,80	92,86	0,28	0,31
		U _s	94,13			-2,33	-2,47
		CV	91,31			0,50	0,55
	U _s	UE	94,08	96,19	94,67	2,12	2,25
		UE _a	94,30			1,89	2,01
		CV	96,10			0,10	0,10
	CV	UE	6,02	3,90 ⁽⁵⁾	5,70	-2,12	-54,36
		UE _a	5,79			1,89	48,46
		U _s	3,81			0,09	2,31

(1) parâmetros utilizados nas equações da Tabela 3

(2) valor de uniformidade obtido pelas equações da Tabela 3

(3) valor calculado através da amostra padrão de cada método

(4) valor calculado através dos dados do censo

(5) baseado na amostra padrão de U_s (18 emissores)

Figura 1 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 12 emissores; emissor A.

Figura 2 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 18 emissores; emissor A.

Figura 3 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 24 emissores; emissor A.

Figura 4 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 48 emissores; emissor A.

Figura 5 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 64 e 66 emissores; emissor A.

Figura 6 - Uniformidade x CV para valores dos censos; emissor A.

Figura 7 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 12 emissores; emissor B.

Figura 8 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 18 emissores; emissor B.

Figura 9 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 24 emissores; emissor B.

Figura 10 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 48 emissores; emissor B.

Figura 11 - Uniformidade x CV para tamanho amostral de 64 e 66 emissores; emissor B.

Figura 12 - Uniformidade x CV para valores dos censos; emissor B.

Figura 13 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
CV = 4%; emissor A.

Figura 14 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
CV = 8%; emissor A.

Figura 15 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
CV = 12%; emissor A.

Figura 16 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
CV = 16%; emissor A.

Figura 17 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
 $CV = 20\%$; emissor A.

Figura 18 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
 $CV = 4\%$; emissor B.

Figura 19 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
 $CV = 8\%$; emissor B.

Figura 20 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
 $CV = 12\%$; emissor B.

Figura 21 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
CV = 16%; emissor B.

Figura 22 - Uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UE_a) x tamanho amostral.
CV = 20%; emissor B.

Figura 23 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 4%; emissor A.

Figura 24 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 8%; emissor A.

Figura 25 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 12%; emissor A.

Figura 26 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 16%; emissor A.

Figura 29 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 8%; emissor B.

Figura 30 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 12%; emissor B.

Figura 31 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 16%; emissor B.

Figura 32 - Uniformidade estatística (U_s) x tamanho amostral. CV = 20%; emissor B.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições da metodologia aplicada, chegou-se às seguintes conclusões:

- O coeficiente de uniformidade estatística (U_s) mostrou-se o mais vantajoso dos três métodos avaliados, devido a sua capacidade superior de estimar os valores de uniformidade.
- É possível estimar-se o valor de uniformidade por quaisquer dos três métodos avaliados (UE , UE_a e U_s) a partir de um valor previamente conhecido de um outro desses mesmos métodos.

Sugere-se para outros trabalhos a avaliação da suficiência do tamanho amostral em cada um dos mesmos métodos aqui avaliados, em função do número de emissores da área avaliada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Design, installation and performance of trickle irrigation systems. In: _____. *ASAE standards 1985*. St. Joseph, 1985. p.216-40. (ASAE.EP,405).
- BENAMI, A. & OFEN, A. *Irrigation engineering*. Haifa, Irrigation Engineering Scientific Publications, 1984. 257p.
- BERNUTH, R.D. von & SOLOMON, K.H. Design principles. In: NAKAYAMA, F.S. & BUCKS, D.A.,ed. *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam, Elsevier, 1986. cap.2, p.27-141. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- BOTREL, T.A. Hidráulica de microaspersores e de linhas laterais para irrigação localizada. Piracicaba, 1984. 78p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- BRALTS, V.F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S. & BUCKS, D.A.,ed. *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam, Elsevier, 1986. p.216-40. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- BRALTS, V.F. & KESNER, C.D. Drip irrigation field uniformity estimation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 26: 1369-74, 1983.
- BRALTS, V.F.; EDWARD, D.M.; WU, I.P. Drip irrigation design and evaluation based on statistical uniformity concept. In: HILLEL, D.,ed. *Advances in irrigation*. Orlando, Academic Press, 1987. v.4, p. 67-117.
- BRALTS, V.F.; WU, I.P.; GITLIN, H.M. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 24(5): 1234-40, 1981a.
- BRALTS, V.F.; WU, I.P.; GITLIN, H.M. Manufacturing variations and drip irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 24(1): 113-9, 1981b.

- BRALTS, V.F.; WU, I.P.; GITLIN, H.M. Emitter plugging and drip irrigation lateral line hydraulics. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 25(5): 1274-81, 1982.
- CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley, University of California Agricultural Experiment Station, 1942. 124p. (Bulletin, 670).
- CLEMMENS, A.J. A statistical analysis of trickle irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 30(1): 169-75, 1987.
- CUENCA, R.H. *Irrigation system design; an engineering approach*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1989. 552p.
- HART, W.E. & REYNOLDS, W.N. Analytical design of sprinkler systems. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 8(1): 83-5, 89, 1985.
- HOWELL, T.A.; STEVENSON, D.S.; ALJIBURY, F.K.; GITLIN, H.M.; WU, I.P.; WARRICK, A.W.; RAATS, P.A.C. Design and operation of trickle (drip) systems. In: JENSEN, M.E., ed. *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph, ASAE, 1983. cap. 16, p. 663-720.
- JAMES, L.G. *Principles of farm irrigation system design*. New York, John Wiley, 1988. 543p.
- KELLER, J. & KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 17(4): 678-84, 1974.
- MERRIAN, J.L. & KELLER, J. *Farm irrigation system evaluation; a guide for management*. Logan, Utah State University, 1978. 285p.
- MERRIAN, J.L.; SHEARER, M.N.; BURT, C.M. Evaluating irrigation systems and practices. In: JENSEN, M.E., ed. *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph, ASAE, 1983. cap. 17, p. 721-60.
- NAKAYAMA, F.S. & BUCKS, D.A. Emmitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 24(1): 77-80, 1981.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; CLEMMENS, A.J. Assessing trickle emitter application uniformity. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 22(4): 816-21, 1979.
- NUEVO, F.A.S. *Modelo computacional para dimensionamento da rede hidráulica em sistemas de irrigação localizada*. São Carlos, 1992. 139p. (Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).

PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid, Artes Gráficas Palermo, 1986. 460p.

SAMMIS, T.W. & WU, I.P. Effect of drip irrigation design and management on crop yield. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 28(3): 832-8, 1985.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 22(5): 1034-8, 1979.

SOLOMON, K. Global uniformity of trickle irrigation systems. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 28(4): 1151-6, 1985.

SOLOMON, K. & KELLER, J. Trickle irrigation uniformity and efficiency. *Journal of Irrigation Drainage Division American Society of Civil Engineers*, New York, 104(IR3): 293-306, 1978.

VERMEIREN, L. & JOBLING, G. A. *Localized irrigation*. Roma, FAO, 1984. 203p. (FAO exIrrigation and Drainage Paper, 36).

WILCOX, J.C. & SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. *Scientific Agricultural*, Ottawa, 27(11): 565-83, 1947.

WU, I.P. & GITLIN, H.M. Drip irrigation design based on uniformity. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 17(3): 429-32, 1974.