



## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

Fernando Nobre Cunha<sup>1</sup>, Renato Campos de Oliveira<sup>2</sup>, Fabiano José de Campos Bastos<sup>3</sup>, João Paulo Ribeiro Teodoro<sup>4</sup>, Marconi Batista Teixeira<sup>5</sup>, Raimundo Rodrigues Gomes Filho<sup>6</sup>

### RESUMO

A adequada distribuição de água pelo sistema de irrigação é um fator determinante no custo de produção e na produtividade de cultivos. O trabalho foi conduzido na fazenda Cereal Ouro II localizado no município de Rio Verde- GO. Foram analisados três sistemas de irrigação tipo pivô central: pivô central 01 (PC1) - Valmatic 110,08 ha; pivô central 02 (PC2) - Krebsfer 121,48 ha; e pivô central 03 (PC3) - Valmatic 66,00 ha. Foram realizadas 10 avaliações da uniformidade de aplicação de água para cada equipamento utilizando-se diferentes coeficientes de uniformidade (CUC, CUE, CUD, CUA, CUH e UDH) e análise do coeficiente de variação de vazão. Os testes foram conduzidos com o auxílio de 256 coletores (Kit Fabrimar) para obter a lâmina aplicada, sendo os mesmos espaçados de 3,0 m entre si, ao longo de dois raios, com o centro coincidindo com a base do pivô central. A uniformidade de distribuição de água para os três pivôs centrais foi superior a 81% utilizando-se o coeficiente de uniformidade estatístico (CUE), e superior a 84% utilizando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

**Palavras-chave:** variação de vazão, lâmina, uniformidade.

## ANALYSIS OF UNIFORMITY COEFFICIENTS ON CENTER PIVOTS INSTALLED IN THE REGION OF SOUTHWEST GOIÁS

### ABSTRACT

The adequate distribution of water through the irrigation system is a determining factor in the cost of production and productivity of crops. The work was conducted at the farm Cereal Ouro II located in the municipality of Rio Verde-GO. Three systems of center pivot irrigation were analyzed: center pivot 01 (PC1) - Valmatic 110.08 ha; central pivot 02 (PC2) - Krebsfer 121.48 ha, and center pivot 03 (PC3) - Valmatic 66.00 ha. Ten evaluations of uniformity of

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, CEP: 75.901-170, Rio Verde – GO, e-mail: fernandonobrecunha@hotmail.com

<sup>2</sup> Graduando em Agronomia, IFG – Câmpus Rio Verde, e-mail: renatocoagro@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia, IFG – Câmpus Rio Verde, e-mail: fabianojcbastos@gmail.com

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia, IFG – Câmpus Rio Verde, e-mail: jpaulo.001@hotmail.com

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Dr. em Agronomia, IFG – Câmpus Rio Verde, e-mail: marconibt@gmail.com

<sup>6</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Dr. em Agronomia, UFG – Câmpus Jataí, BR 364, Km 193, nº 3800, CEP 75801-615, Jataí – GO, e-mail: rrgomesfilho@hotmail.com

## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

water application were realized for each device using different uniformity coefficients (CUC, CUE, CUD, CUA, CUH and UDH) and analysis of the coefficient of variation of discharge. Tests were conducted with the aid of 256 collectors (Kit Fabrimar) for the water level applied, and they were spaced 3.0 m apart along two radii, with the center coinciding with the base of the central pivot. The uniformity of distribution of water for the three pivots was greater than 81% using the statistical uniformity coefficient (CUE) and greater than 84% using the Christiansen uniformity coefficient (CUC).

**Keywords:** flow variation, water depth, uniformity.

### INTRODUÇÃO

Na maioria das áreas agrícolas irrigadas o volume de água utilizado é superior ao realmente necessário para a produção satisfatória de alimentos. Dessa forma, torna-se importante a utilização de equipamentos projetados adequadamente, que apresentem boa otimização da quantidade de água a ser aplicada e manejo adequado (quando e quanto aplicar) como medidas de uso racional da água (FAGGION et al., 2009).

O manejo racional da irrigação via sistema de irrigação tipo pivô central requer, além do conhecimento de parâmetros climáticos, de características das culturas, dos solos e dos recursos hídricos, o conhecimento da distribuição e quantidade de água aplicada e das eficiências de aplicação e distribuição (MARTÍN-BENITO et al., 1992; FURUKAWA et al., 1994; PINTO et al., 2006).

Bernardo et al. (2006) afirmam que a uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação. A desuniformidade de distribuição de água

gera áreas com déficit e áreas com excesso de umidade, mas a melhoria na uniformidade de aplicação está associada a um aumento nos custos de instalação, operação e manutenção dos sistemas.

Os fatores que afetam a uniformidade de distribuição da água são os climáticos (evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e vento) e os fatores não climáticos, que são relacionados ao equipamento, como tipo de aspersor, pressão de serviço, espaçamento, velocidade de deslocamento, alinhamento da linha lateral e altura do emissor (LI E KAWANO, 1997; HEINEMANN et al., 1998).

A qualidade da irrigação é avaliada por meio da uniformidade com que a água é aplicada. Vários coeficientes foram desenvolvidos com a finalidade de quantificar a uniformidade de aplicação da água (FRIZZONE; DOURADO NETO, 2003).

Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar aspectos referentes à uniformidade de aplicação de água para sistemas de irrigação tipo pivô central instalados na região sudoeste do Estado de Goiás.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na fazenda Cereal Ouro II do proprietário Nilto Schwening localizado no município de Rio Verde- GO, na GO 174 km 30, cujas coordenadas geográficas são:

17°32.303' S e 51°02.501' W.

Foram analisados três sistemas de irrigação tipo pivô central: a) pivô central Valmatic com 110,08 ha (PC1); pivô central Krebsfer com 121,48 ha (PC2); e

## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

pivô central Valmatic com 66,00 ha (PC3). Os três sistemas estão instalados em áreas próximas dentro da propriedade sendo o sistema de bombeamento composto por três motobombas com potência de 175 cv.

Os três equipamentos utilizam aspersores rotativos e reguladores de pressão Fabrimar (14,00 mca).

Na Tabela 1 estão descritos os dados técnicos dos equipamentos.

**Tabela 1.** Caracterização dos pivôs centrais avaliados.

Dados Técnicos	Modelos		
	PC1	PC2	PC3
Comprimento do raio	592 m	621,83 m	458,35 m
Nº de torres	11	12	9
Tempo de revolução 100 %	10 h	11 h	8h
Vazão	426,82 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	437,15 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	281,66 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Pressão no ponto pivô	402,2 kPa	411,9 kPa	265,4 kPa
Área irrigada	110,08 ha	121,48 ha	66,00 ha
Tubulação de recalque	200 mm (8")	200 mm (8")	200 mm (8")
Tubulação de sucção	250 mm (10")	250 mm (10")	250 mm (10")

\*PC1 - Valmatic 110,08 ha; PC2 - Krebsfer 121,48 ha; e PC3 - Valmatic 66 ha.

Na Tabela 2 pode ser observado o consumo de água e energia para cada pivô central.

A lâmina média coletada ponderada ( $L_p$ ) foi calculada pela equação 1.

$$L_p = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i S_i)}{\sum_{i=1}^n (S_i)} \quad (1)$$

em que:  $L_p$  = lâmina média coletada ponderada, em mm;

$L_i$  = lâmina coletada nos coletores, em

mm; e

$S_i$  = distância do centro de rotação do pivô ao coletor, em m.

**Tabela 2.** Informações sobre consumo de água (L seg<sup>-1</sup>) e número de horas consumidas em cada um dos sistemas tipo pivô central.

Modelos	PC1		PC2		PC3	
	Consumo L seg <sup>-1</sup>	Horas Mensal	Consumo L seg <sup>-1</sup>	Horas Mensal	Consumo L seg <sup>-1</sup>	Horas Mensal
Avaliações						
01	121,43	13,17	118,56	13,36	78,24	21,01
02	121,43	26,34	118,56	26,72	78,24	42,02
03	121,43	65,85	118,56	133,60	78,24	21,01
04	121,43	131,70	118,56	267,20	78,24	210,08
05	121,43	197,55	118,56	267,20	78,24	210,08
06	121,43	263,40	118,56	334,00	78,24	262,60
07	121,43	329,25	118,56	334,00	78,24	262,60
08	121,43	329,25	118,56	267,20	78,24	210,08
09	121,43	263,40	118,56	40,08	78,24	157,56
10	121,43	26,40	118,56	13,36	78,24	21,01

Obs.: PC1 - Valmatic 110,08 ha; PC2 - Krebsfer 121,48 ha; e PC3 - Valmatic 66,00 ha.

## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

Para a avaliação da uniformidade de aplicação de água foram realizadas 10 coletas de dados para cada equipamento, com tempo médio entre as avaliações de 30 dias. Os testes foram conduzidos com o auxílio de 256 coletores (Kit Fabrimar),

espaçados de 3,0 m entre si, ao longo de dois raios, com o centro coincidindo com a base do pivô central.

Foram efetuados os cálculos de uniformidade de aplicação de água conforme as equações 2 a 7.

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right\} \quad (2)$$

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (Christiansen, 1942), em %.

$$CUE = 100 \left( 1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

CUE = coeficiente de uniformidade estatístico (Wilcox & Swales, 1947), em %.

$$CUD = 100 \left( \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (4)$$

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição (Criddle et al., 1956), em %.

$$CUA = 50 \left( \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} + \frac{\bar{X}}{X_{12,5\%}} \right) \quad (5)$$

CUA = coeficiente de uniformidade absoluto (Karmeli & Keller, 1975), em %.

$$CUH = 100 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left( \frac{S}{\bar{X}} \right) \right\} \quad (6)$$

CUH = coeficiente de uniformidade de Hart (Hart, 1961), em %.

$$UDH = 100 \left( 1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (7)$$

UDH = eficiência padrão da HSPA (Hart, 1961), em %.

em que:

$X_i$  = vazão de cada emissor, em  $L h^{-1}$ ;

$\bar{X}$  = vazão média dos emissores, em  $L h^{-1}$ ;

$n$  = número de emissores observados;

$S$  = desvio-padrão dos dados de vazão, em  $L h^{-1}$ ;

$X_{25\%}$  = média de 25% do total de emissores, com as menores vazões, em  $L h^{-1}$ ; e

$X_{12,5\%}$  = média de 12,5% do total de emissores, com as menores vazões, em  $L h^{-1}$ .

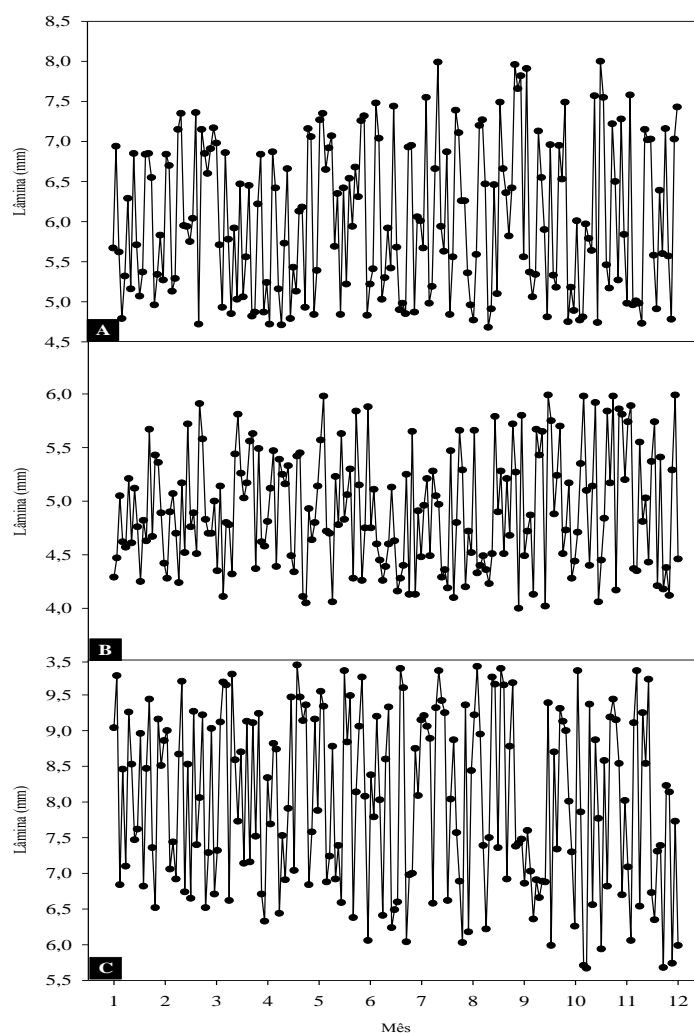
## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que o PC1, obteve um consumo de água anual de 1457,15 L h<sup>-1</sup>, valor 2,36 e 35,56% a mais que o consumo de água do PC2 e PC3, respectivamente. Por outro lado observou-se que as horas consumidas mensais do PC2 superaram as horas consumidas dos sistemas PC1 e PC3 em 50,41 e 278,67 horas.

Na Figura 1 verifica-se que a maior lâmina de água foi aplicada pelo PC3, superando em 47,4 e 52,2% a lâmina

aplicada pelo PC1 e PC2, respectivamente. A vazão não teve uma grande variação ao longo das avaliações para o PC2, entretanto para o PC1 e PC3 esta variação se mostrou bem mais significativa; do ponto de vista prático, a vazão média pode ser considerada bom parâmetro para avaliar alterações quanto ao funcionamento adequado do sistema, ocasionado devido a qualquer problema (SANDRI; CORTEZ, 2009).



**Figura 1.** Vazão dos sistemas de pivô central de acordo com as avaliações realizadas ao longo dos meses. A – PC1; B – PC2; C – PC3.

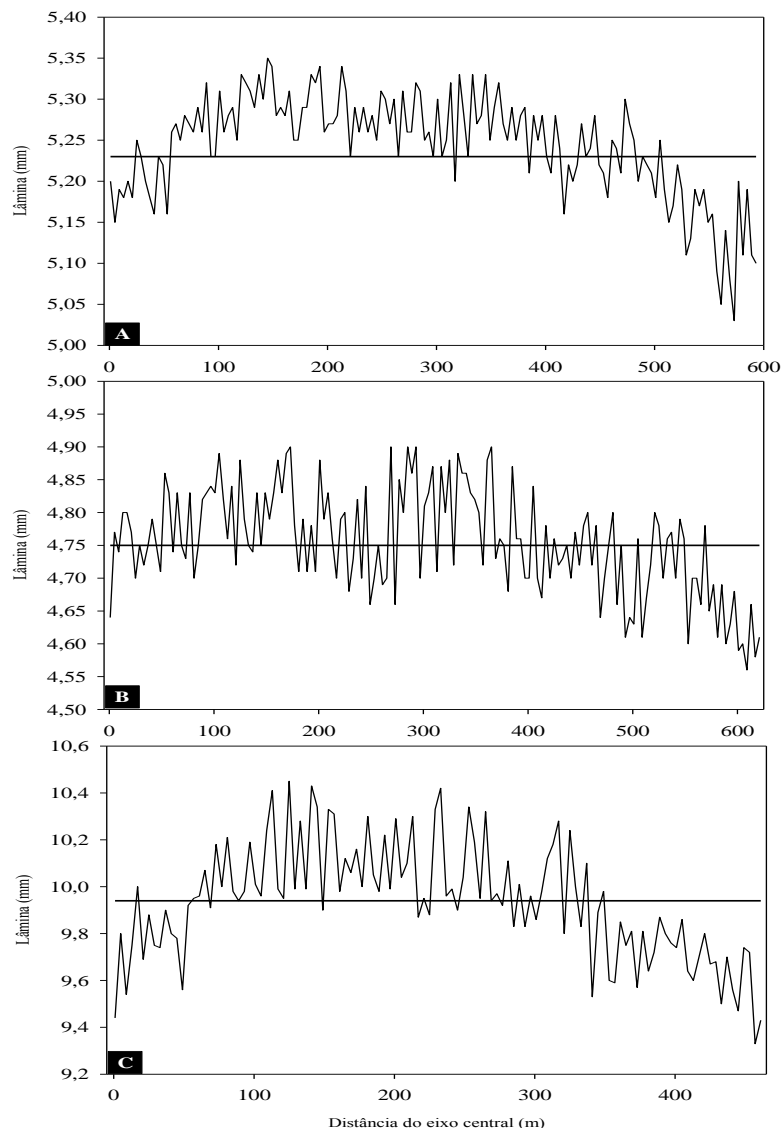
A lâmina média aplicada manteve-se inferior a 10%, conseqüentemente PC1, PC2 e PC3 apresentaram a seguinte variação de lâmina aplicada para mais ou para menos: a) PC1: 3,82 e 2,29% em relação à lâmina média; b) PC2: 3,57 e

3,15% em relação à lâmina média; e c) PC3: 6,13 e 5,13% em relação à lâmina média. De acordo com ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998), se estes valores estiverem acima de 10% devem ser investigadas as causas e providenciadas as

## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

manutenções necessárias. Uma análise mais detalhada ao longo da linha lateral de cada pivô permite detectar com maior

precisão os principais fatores que estão interferindo no seu desempenho (SANDRI; CORTEZ, 2009).



**Figura 2.** Variação da lâmina de água aplicada para o sistema de pivô central em função da distância do eixo central. A – PC1; B – PC2; C – PC3.

A uniformidade de distribuição de água para os três pivôs centrais foi superior a 81% para CUE, e superior a 84% quando se analisou os dados utilizando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). Conforme a classificação proposta por Mantovani (2001), valores de CUC acima de 80% é o aceitável para uma adequada distribuição de lâminas ao longo da linha lateral do sistema tipo pivô central.

O CUD ao longo das avaliações foi o que apresentou a maior diminuição ao longo do período avaliado, sendo as reduções mais expressivas ocorreram principalmente nos últimos meses de avaliação (PC1: 5,20%; PC2: 5,54%; e PC3: 4,84% de redução no valor de CUD). Os valores de CUD (Figura 2) foram classificados como bom (PC1 e PC3) e muito bom (PC2) de acordo com a classificação proposta pela ABNT (1998).

## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

Os coeficientes de uniformidade CUC e CUE foram os que expressaram as menores variabilidades de distribuição de água aplicada, já os coeficientes UDH, CUH e CUA foram os que mostraram maior variabilidade nos seus valores.

Os valores de CUH para os três sistemas não se adequaram aos critérios mínimos considerando culturas com alto valor comercial (>90%) ou cultivos extensivos (>80%).

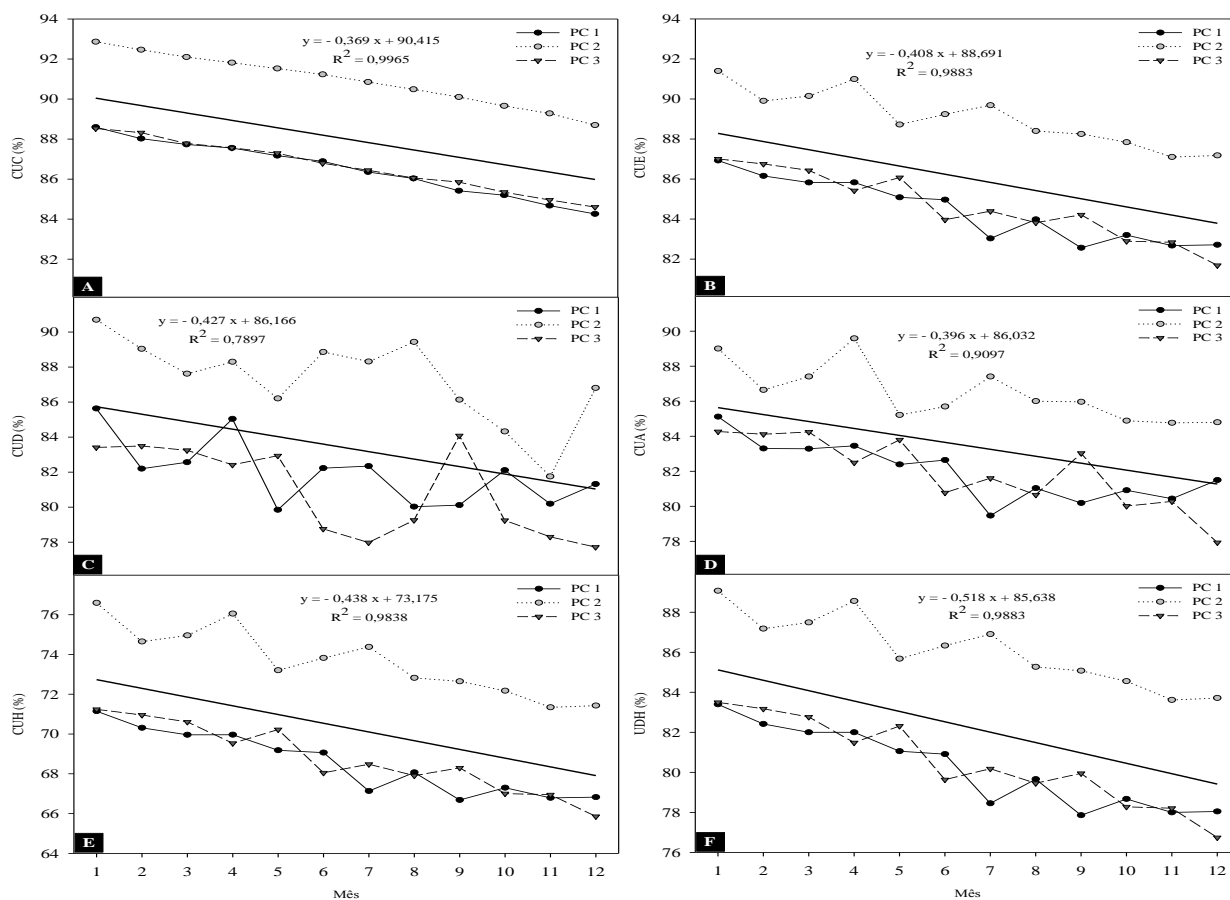
O CUH para os três pivôs variou de 65,85 a 71,43%, sendo classificados como ruim conforme a classificação proposta pela ABNT: NBR 14244 (ABNT, 1998), conseqüentemente estes valores do CUH ficaram consideravelmente abaixo do CUC, indicando que a lâmina aplicada pelo pivô não tem distribuição normal.

A análise dos dados utilizando-se o coeficiente de uniformidade UDH mostrou

para PC3 uma redução de 6,76% entre a primeira avaliação (83,5%) e a última (76,74%), enquanto para os demais sistemas essa redução foi inferior a 5,35% entre a primeira e última avaliação.

O coeficiente de uniformidade absoluto (CUA) indicou qualidade de irrigação baixa para o PC3 (77,9%), sendo considerado como regular. Já para os sistemas tipo pivô central PC1 e PC2 foram observados valores de CUA de 84,8 e 81,5%, respectivamente, sendo considerados bons de acordo com a classificação proposta por Bralts (1986).

Visitas periódicas para investigar possíveis problemas e fazer prováveis mudanças e regulagens favorecem o uso racional da água por diminuir o seu desperdício, reduzindo gastos e logo aumentando a relação custo/benefício (CASTIBLANCO, 2009).



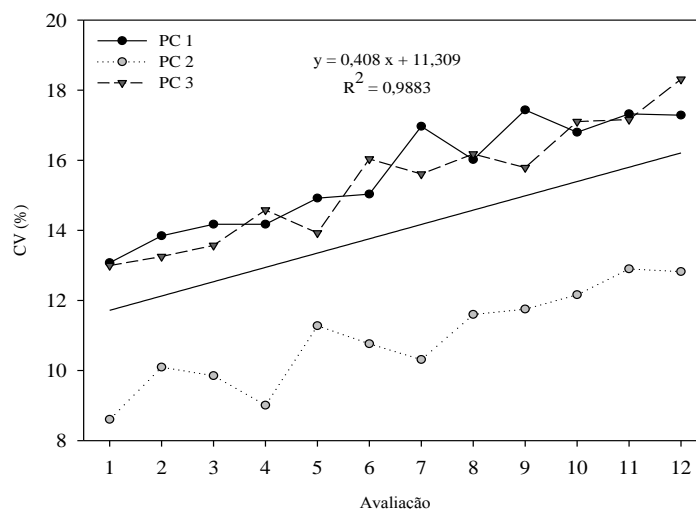
**Figura 3.** Coeficientes de uniformidade de aplicação de água (%) em função das avaliações para os três sistemas tipo pivô central. A – CUC; B – CUE; C – CUD; D – CUA; E – CUH; F – UDH.

## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

Os três sistemas apresentaram coeficientes de variação crescentes conforme o tempo; deste modo as maiores variações foram identificadas nos últimos meses, o PC1 e PC3 apresentaram valores CV igual a 17,29 e 18,31%, respectivamente, recebendo assim, a classificação inaceitável, segundo a norma ASABE EP 405 (ASABE STANDARDS,

2003).

O valor de coeficiente de variação mais próximo do aceitável foi verificado para o sistema PC2 (12,8%). Keller e Karmeli (1975) recomendam que para não prejudicar a uniformidade de aplicação de água a variação da vazão deve ser inferior a 10% em todo o sistema de irrigação.



**Figura 4.** Coeficiente de variação de vazão em função das avaliações para sistema de pivô central.

A definição de uniformidade de distribuição deve ser universal para que possa ser aplicada para todas as culturas, e esta deveria incorporar conceitos de elemento, menor porção de uma área no qual a variação da distribuição não é importante, e elemento de escala (BURT et al., 1997).

### CONCLUSÃO

A uniformidade de distribuição de água para os três pivôs centrais foi superior a 81% para CUE, e superior a 84% quando se analisou os dados utilizando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Os três sistemas de irrigação tipo pivô central apresentaram maior variação da uniformidade de distribuição das

Deste modo, a análise de coeficientes de uniformidade possibilita uma medida mais restrita, evitando incorrer em excesso ou falta de água para a cultura, dando maior peso às plantas que recebem menos água (FRIZZONE; DOURADO NETO, 2003).

lâminas na quinta avaliação dentro do período analisado.

Para a correta avaliação da uniformidade de distribuição das lâminas é importante à utilização de mais de um coeficiente, sendo um deles necessariamente o CUH, por apresentar maior distinção dos resultados.



## ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASABE EP 405. Design and installation of microirrigation systems. **ASAE Standards**, St. Joseph, p.900-905, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14244: equipamentos de irrigação mecanizada: pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos: determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, RJ, 1998. 11 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; UCKS, D. A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9).

BURT, C. M.; CLEMENTS, A.J.; STRELKOFF, T. S.; SOLOMON, K. H.; BLISNER, R. D.; HARDY, L. A.; HOWELL, T. A. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal Irrigation and Drainage**. v. 123, n. 6, p. 423-442, 1997.

CASTIBLANCO, C. J. M. **Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água**. 2009. 70 p. Dissertação (Mestrado), ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; DEMÉTRIOS, C. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa**

**Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 2, n. 1, 2009.

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H de.; PIRES, R. C. de M. **Irrigação (Série Engenharia Agrícola)**. Piracicaba: FUNEP, 2003. p.573-651.

FURUKAWA, M. C.; BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M. Avaliação da irrigação por pivô central na região de Rio Verde - GO. **Ceres**, Viçosa, v.41, n.233, p.36-49, 1994.

HEINEMANN, A. B.; FRIZZONE, J. A.; PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema pivô central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1487-1491, 1998.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. California: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

LI, J.; KAWANO, H. Sprinkler rotation no uniformity and water distribution. **Transaction of the ASAE**, v.39, n.6, p.2027-2031, 1997.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV. 2001.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Sistemas de irrigação e seus componentes. In: COSTA, E. F. da.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-CNPMS-SPI, 1994. p.41-84.

**ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE EM PIVÔS CENTRAIS  
INSTALADOS NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS**

MARTÍN-BENITO, J. M.; GÓMEZ, M. V.; PARDO, J. L. Working conditions of sprinkler to optimize application of water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, New York, v. 118, n. 6, p. 895 – 914. 1992.

PINTO, J. M.; SILVA, C. L. da; OLIVEIRA, C. A. da S. Influência de variáveis climáticas e hidráulicas no

desempenho da irrigação de um pivô central no Oeste Baiano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.76-85, 2006.

SANDRI, D.; CORTEZ, D. de A. Parâmetros de desempenho de dezesseis equipamentos de irrigação por pivô central. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 271-278, 2009.