

EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DA ÁGUA POR PIVÔ CENTRAL EM DIFERENTES REGIÕES DE MINAS GERAIS.

CRISTIAN EPIFÂNIO TOLEDO¹; PAULO EMILIO PEREIRA DE ALBUQUERQUE² E CLÁUDIO MÁRCIO PEREIRA DE SOUZA³

¹*Departamento de Agronomia, UEG – Universidade Estadual de Goiás, Campus Palmeira de Goiás, Go. Rua 7, s/n, CEP 76.190-000. Email: cristian.toledo@ueg.br*

²*Departamento de Núcleos Temáticos, EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Sete Lagoas, MG. Email: paulo.albuquerque@embrapa.br*

³*Departamento de Agronomia, UFVJM – Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, Campus Diamantina, MG. Email: souzacmp@yahoo.com*

1 RESUMO

A prática da irrigação garante o suprimento da água onde há demanda, sendo imprescindível o uso eficiente desse recurso. Objetivou-se avaliar o desempenho de sistemas de pivôs centrais de propriedades rurais em diferentes regiões de Minas Gerais (MG). Foram realizados testes de campo para determinação dos coeficientes de uniformidade de distribuição de água, permitindo assim avaliar as eficiências dos pivôs centrais. Os parâmetros estudados foram: uniformidade de aplicação de água (CUC e CUD), eficiência de irrigação e percentagem de área adequadamente irrigada. Os pivôs centrais testados apresentaram em geral, níveis aceitáveis de uniformidade de aplicação de água. Os CUCs e CUDs em 82% dos sistemas avaliados apresentaram valores acima de 80% e 70%, respectivamente. A eficiência de aplicação de água também apresentou valores dentro do admissível e do normal, obtendo-se uma média de 91%, também caracterizando uma boa eficiência de aplicação de água. A percentagem de área adequadamente irrigada apresentou uma média de 49%, considerada regular. Assim, pode-se caracterizar os sistemas avaliados como de bom funcionamento.

Palavras-chave: Pivô central; uniformidade de irrigação; coeficiente de uniformidade

TOLEDO, C. E.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; SOUZA, C. M. P.
EFFICIENCY OF WATER APPLICATION BY A CENTRAL PIVOT IN DIFFERENT REGIONS OF MINAS GERAIS

2 ABSTRACT

The practice of irrigation guarantees water supply where there is demand, and the efficient use of this resource is essential. The objective of this study was to evaluate the performance of central pivot systems of rural properties in different regions of Minas Gerais (MG). Field tests were performed to determine the coefficients of water distribution, thus allowing the evaluation of the efficiency of the central pivots. The parameters studied were: uniformity of water application (CUC and CUD), irrigation efficiency, and percentage of adequately irrigated area. The central pivots tested showed, in general, acceptable levels of water application uniformity. The CUCs and CUDs are 82% of the environmental systems

Recebido em 29/01/2017 e aprovado para publicação em 08/02/2018

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n4p821-831>

presented values above 80% and 70%, respectively. The efficiency of water application also presented values within the allowable and normal limits, obtaining an average of 91%, also characterizing a good efficiency of water application. A percentage of adequately irrigated area reached an average of 49%, being considered regular. Thus, control systems can be characterized as being functional systems.

Keywords: Central pivot; irrigation uniformity; uniformity coefficient

3 INTRODUÇÃO

A água é um fator indispensável à vida em geral, quer seja animal ou vegetal. A prática da agricultura irrigada garante o suprimento da água onde há demanda. Assim, fica imprescindível a adoção de práticas que possibilitem o uso adequado dos recursos hídricos disponíveis para irrigação.

Uma prática básica para a implantação de qualquer estratégia de manejo de irrigação, consiste em determinar a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação. Com esses resultados torna-se possível avaliar e adequar o equipamento a sua utilização, em relação à necessidade de água das culturas irrigadas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009; JUSTI et al., 2010). Faria et al (2009), ainda salienta que em sistemas de irrigação por aspersão com baixa uniformidade, ocorre um menor retorno econômico e um aumento no impacto ambiental da irrigação, devido à redução na produtividade das culturas irrigadas e do desperdício de água, energia e fertilizantes.

Vários fatores podem influenciar a uniformidade de distribuição, desde o projeto do sistema até os fatores climáticos, sendo que, na irrigação por aspersão os principais são a velocidade do vento, pressão de serviço e a altura e espaçamento do emissor (HEINEMANN et al., 1998; GUERRA et al., 2004). Entretanto, a prática da avaliação do desempenho de sistemas de irrigação é pouco utilizada, mesmo sendo uma metodologia simples de ser realizada, por falta de orientação e conhecimento (SILVA e SILVA, 2005; MARTINS et al., 2013).

A uniformidade de distribuição de água é quantificada pelo cálculo dos coeficientes de uniformidade. Segundo Bernardo; Soares; Mantovani (2006), para sistemas de irrigação por pivô central, os coeficientes mais recomendados são o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

Para o produtor, é de grande importância o conhecimento do desempenho do seu sistema de irrigação para garantir maior eficiência do uso da água e um bom manejo. Assim, o objetivo foi avaliar o desempenho de sistemas de pivôs centrais em diferentes regiões de Minas Gerais: Triângulo, Alto Paranaíba, Norte de Minas e Zona Central Mineira.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em quatro regiões mineiras: Região Central, Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Norte de Minas. Após um pré-cadastro dos produtores, foram definidas 11 propriedades, totalizando 21 sistemas de irrigação tipo pivô central (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização dos pivôs centrais avaliados nas diferentes regiões de Minas Gerais

Municípios	Pivô	Marca	Instalação	Cultura
	1	Valley	2003	Capim
Esmeralda	2	Valley	2003	Capim
	3	Valley	2002	Feijão
Inhaúma	4	Valley	2005	Feijão
	5	Valley	2001	Milho
Paraopeba	6	Valley	2006	Milho
	7	Asbrasil	1988	Milho
Pirapora	8	Valley	1997	Milho
	9	Asbrasil	1988	Milho
	10	Carborundum	1989	Feijão
Paracatu	11	Asbrasil	1992	Feijão
	12	Asbrasil	1990	Feijão
Unai	13	Asbrasil	1990	Feijão
	14	Valley	1998	Milho
Morada Nova de Minas	15	Valley	2000	Feijão
	16	Valley	2008	Trigo
São Gotardo	17	Valley	1995	Trigo
	18	Valley	1995	Milho
Irai de Minas	19	Asbrasil	1989	Milho
	20	Asbrasil	1992	Milho
Planura	21	Asbrasil	1992	Milho
Capitão Enéas				

4.1 Uniformidade de distribuição de água

O teste de avaliação da uniformidade de distribuição de água pelos pivôs foi baseado nas normas da NBR 14244 da ABNT (1998), sobre “Equipamento de irrigação mecanizada – Pivô central e lateral móvel, providos de emissores fixos ou rotativos - Determinação da Uniformidade de Distribuição de Água”.

Foi distribuída uma linha radial de coletores uniformes, com espaçamento regular e constante de 3,0 m, do centro do pivô ao extremo da área irrigada, sendo que os mesmos foram fixados em hastes a 30 cm do solo. Nos testes foram utilizados os kits de avaliação fornecidos pela Embrapa Milho e Sorgo, que se adequavam as especificações da norma NBR 14244 da ABNT (1998).

O teste foi realizado sempre observando as condições climáticas, principalmente a velocidade do vento, que quando excedia 3 m s^{-1} o teste era cancelado. Visando minimizar os efeitos da evaporação nos coletores durante o ensaio, o volume de água em cada coletor foi medido com proveta e transcrito assim que os coletores estivessem fora do alcance dos jatos d'água dos emissores, evitando-se realizar ajustes relativos as perdas por evaporação. Foi utilizada em todos os testes a velocidade máxima do sistema, ou seja, percentímetro a 100%.

O desempenho da irrigação foi monitorado pelos seguintes parâmetros: Lâmina média coletada – LMC (mm – Equação 1), Eficiência de aplicação – EA (% – Equação 2), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen – CUC (% – Equação 3), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD (% – Equação 4), Porcentagem de área adequadamente irrigada – Pad (% – Equação 5), Eficiência em potencial de aplicação de água – Epa_{Bernardo} (% – Equação 6), e Eficiência em potencial de aplicação de água – Epa_{Keller} (% – Equação 7),

conforme Costa (2006), Bernardo; Soares; Mantovani (2006), Keller & Bliesner (2000), Albuquerque et al. (2010) e Ramos et al. (2014). A interpretação dos valores dos coeficientes de uniformidade (CUC, e CUD) foi baseada na classificação apresentada na Tabela 2.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=l}^n LiSi}{\sum_{i=l}^n Si} \quad (1)$$

Em que:

\bar{X} – lâmina média coletada, em mm;

Li – lâmina coletada no i-ésimo coletor, em mm;

Si – distância do centro do pivô ao ponto i, em m.

$$Ea = 100 \text{Larm Lapl}^{-1} \quad (2)$$

Em que:

Ea – eficiência de aplicação, em %;

Larm – lâmina armazenada na zona radicular, em mm, e;

Lapl – lâmina aplicada, em mm.

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Xi - \bar{X}|}{N\bar{X}} \right] \quad (3)$$

Em que:

CUC – Coeficiente de distribuição de Christiansen, em %;

Xi – lâmina coletada no i-ésimo coletor, em mm;

\bar{X} – lâmina média coletada, em mm;

N – número de coletores.

$$CUD = 100 \left[\frac{\frac{q}{\sum_{i=p}^q LiSi}}{n}}{\frac{q}{\sum_{i=p}^q LiSi}}{\frac{n}{\sum_{i=p}^q Si}}} \right] \quad (4)$$

Em que:

CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%)

p – primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas;

q – elemento da série crescente correspondente à soma de ¼ da área total.

Si – distância do centro do pivô ao ponto i, em m;

Li – lâmina coletada no ponto i, em mm;

n – número total de pontos coletados.

$$Pad = \frac{N^{\circ}Col \geq Lam_{media}}{Total_{Coletores}} \quad (5)$$

Em que:

Pad – Porcentagem de área adequadamente irrigada, em %;

Nº Col.> Lam média – Numero de Coletores com valor igual ou superior a Lâmina média aplicada, em decimal;

Total_{coletores} – Número total de coletores, em decimal.

$$Epa_{Bernardo} = 100 \frac{\bar{X}}{Lapli} \quad (6)$$

Em que:

Epa Bernardo – Eficiência em Potencial de Aplicação de água, em %;

\bar{X} – Lâmina média coletada, em mm;

Lapli – Lâmina aplicada, em mm.

$$Epa_{Kellier} = 0,976 + 0,005ETo - 0,00017ETo^2 + 0,0012Vv - CI(0,00043ETo + 0,00018Vv + 0,000016EToVv) \quad (7)$$

Em que:

$E_{pa\ Keller}$ – Eficiência em potencial de aplicação de água, em %;
 E_{To} – Evapotranspiração de referência ou real, em mm dia⁻¹;
 V_v – Velocidade do vento, em km h⁻¹;
 Cl – Coeficiente adimensional que caracteriza o potencial de evaporação e arraste

Tabela 2. Classificação dos coeficientes uniformidade de distribuição (CUC e CUD) de água em pivô central de acordo com a norma NBR 14244 da ABNT (1998) e com Bernardo; Soares; Mantovani (2006)

CUC (%)	Classificação
<80	Ruim
80 a 84	Regular
85 a 89	Boa
>90	Muito Boa

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, são apresentados os valores dos parâmetros LMC, EA, CUC, CUD, classificação da uniformidade (CUC e CUD), Pad, $E_{pa\ Bernardo}$ e $E_{pa\ Keller}$, usados para caracterizar a avaliação do desempenho dos pivôs centrais, de acordo com a norma NBR 14244 da ABNT (1998). Nota-se ainda que a Lâmina média coletada (LMC) variou de 2,12 a 6,56 mm e a média foi de 4,27 mm.

O menor valor foi obtido no pivô 3, instalado no município de Inhaúma e a maior lâmina foi do pivô 13, no município de Unaí. Segundo Dourado Neto et al. (1994), a determinação da lâmina média é de suma importância devido a sua ampla utilização na avaliação do sistema de irrigação, pois a mesma é utilizada no cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen e de distribuição, eficiência de aplicação e na determinação da lâmina de irrigação.

Tabela 3. Dados da uniformidade dos pivôs centrais das propriedades de diferentes regiões de Minas Gerais

N° Pivô Central	LMC (mm)	EA (%)	CUC (%)	CUD (%)	Classificação*		Pad (%)	EpaBernardo (%)	EpaKeller (%)
					CUC	CUD			
1	2,19	91,13	80,74	76,51	Rg	R	51,44	91,13	99,28
2	2,66	90,53	85,10	72,77	B	R	38,75	90,53	99,18
3	2,12	89,16	76,12	65,39	R	R	43,90	89,16	99,36
4	6,05	92,88	84,71	76,29	B	R	47,58	92,88	99,45
5	2,16	89,85	81,76	70,85	Rg	R	51,11	89,85	99,66
6	2,28	91,27	85,16	73,86	B	R	63,64	91,27	99,54
7	3,68	94,91	88,24	80,80	B	Rg	44,33	94,91	99,45
8	5,49	91,22	87,69	75,26	B	R	56,82	91,22	99,94
9	5,71	94,09	87,62	83,71	B	Rg	41,62	94,09	99,76
10	6,01	93,66	84,66	71,58	B	R	55,03	93,66	99,70
11	5,63	92,24	90,77	86,35	M B	B	50,00	92,24	99,87
12	5,33	91,50	90,79	85,42	M B	B	48,69	91,50	99,85
13	6,56	90,34	90,05	83,92	M B	Rg	43,45	90,34	99,86
14	3,62	89,03	74,47	62,50	R	R	46,96	89,03	99,61
15	4,56	92,19	88,36	79,08	B	R	30,13	92,19	99,87
16	3,50	88,78	93,97	87,66	M B	B	64,22	88,78	99,61
17	3,11	88,40	86,46	80,12	B	Rg	45,65	88,40	99,40
18	3,09	93,08	87,69	76,74	B	R	43,75	93,08	99,33
19	4,88	91,45	90,25	83,64	M B	B	58,73	91,45	98,97
20	5,60	89,59	88,92	82,82	B	B	40,46	89,59	99,41
21	5,46	92,16	89,93	83,79	B	B	43,56	92,16	99,48

Lâmina media coletada (LMC), Eficiência de Aplicação (EA), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), classificação da uniformidade (Classif.CUC), porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), eficiência potencial de aplicação de Bernardo (Epa Bernardo) e de Keller (Epa Keller).

* Classificação da uniformidade de distribuição de água em pivô central de acordo com Tabela 2.

A Eficiência de aplicação (EA) ficou entre 88,40 a 94,91% e a média foi de 91,30%, que é considerada normal, conforme Lima et al. (1999). Os autores *op. cit.* estabeleceram que EA para sistema de irrigação por aspersão deve estar no mínimo em torno de 90%, ou seja, admite-se uma perda de aproximadamente 10% da água aplicada. O pivô 7 foi o que obteve a maior eficiência de aplicação, com apenas 5,1% de água perdida, seja por evaporação ou deriva. Os pivôs 16 e 17 foram os que demonstraram as menores eficiências, chegando a perder 11,2 e 11,6% da água aplicada, respectivamente. Os demais pivôs obtiveram EA bem próximo de 90%, podendo ser considerado como de eficiência normal.

Em países em desenvolvimento de clima semiárido e árido, a melhora de 1% na eficiência da aplicação da água de irrigação produziria uma economia de 200 mil litros de água, por hectare/ano irrigado. Já irrigações em sistemas eficientes e realizadas de forma racional, a economia de água e energia pode ser de 20 e 30% respectivamente. Considerando o valor relativo à energia, a economia de 20 % seria devido à não aplicação excessiva da água e 10 % devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados (LIMA et al., 1999).

Com relação ao Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), vê-se que os valores encontrados variaram de 74,47 a 93,97%, resultando em 2 pivôs com classificação

ruim (CUC < 80%), 2 regulares (CUC 80 a 84%), 12 bons (CUC 84 a 89%) e 5 muito bons (CUC > 90%). Desse modo, apenas 23,8% dos pivôs avaliados obtiveram o valor mínimo (CUC > 90%) recomendado por Bernardo; Soares; Mantovani (2006) para pivô central, principalmente, quando a cultura apresenta alto valor comercial e sistema radicular pouco desenvolvido. Se considerarmos a classificação proposta por Mantovani (2001), onde pivôs com valores de CUC acima de 80% são considerados eficientes, teríamos 80,95 % dos sistemas avaliados com a distribuição de água ao longo da linha lateral satisfatório.

Nesse sentido, Mantovani (1995) observaram que quanto maior o valor do CUC em sistema de pivô, menor é a lâmina de irrigação necessária para alcançar a produtividade máxima do milho (12000 kg ha⁻¹). Em condições de alta uniformidade, CUC de 95%, essa mesma produtividade foi obtida com lâmina de 500 mm; com CUC de 75% necessitou-se de 650 – 700 mm; e em condições de baixa uniformidade, CUC de 55%, a lâmina de irrigação foi superior a 1.100 mm. No cultivo de feijão em aspersão convencional, Mantovani et al. (2012), também observaram que valores de CUC acima de 90% promoveram a máxima produtividade de grãos (2946 kg ha⁻¹). Já com o CUC a 80 e 70%, a produtividade reduziu 5 e 17%, respectivamente e com o CUC a 65% ocorreu a menor produtividade, de 1975 kg ha⁻¹.

Resultados como de Mantovani (1995) e Mantovani et al. (2012) confirmam a importância do CUC como referência na avaliação da eficiência dos equipamentos de irrigação, bem como sua importância no rendimento das culturas. Isso ocorre porque, quanto menor a uniformidade de irrigação, maior será o excedente de irrigação nas áreas superirrigadas, promovendo então o encharcamento do solo, ou ainda, maior será o déficit de água para a cultura nas áreas subirrigadas, causando estresse hídrico (MANTOVANI et al., 2012).

Verificando o CUD, observa-se que em todos os pivôs este parâmetro obteve valores menores do que os valores obtidos pelo CUC, resultados semelhantes aos encontrados por Mantovani et al. (2007), já que o método considera a média dos 25% menores valores de precipitação em relação à média total. O CUD é o coeficiente mais rigoroso relacionado aos problemas de distribuição que ocorrem ao longo da linha do pivô e possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso os pontos (plantas) que recebem menos água (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Os valores de CUD ficaram entre 62,50 e 87,66%, com os extremos observados nos pivôs 14 e 16, respectivamente. O CUD média dos pivôs foi de 78,24%, valor este bem menor que o encontrado por Cunha et al. (2013), que avaliando 3 pivôs centrais no município de Rio Verde – GO, observou valores médios variando de 81 a 86% ao longo de um ano de avaliação. Merriam & Keller (1978) afirmam que para as culturas de alto rendimento econômico e com sistema radicular raso, o CUD mínimo deve ser de 80%, o que ocorreu em 47,62 % dos pivôs avaliados. Para culturas com sistema radicular médio, o CUD deve ser superior a 70%, valor esse não superado apenas pelos pivôs 3 e 14.

De acordo com a norma NBR 14244 da ABNT (1998) e com Bernardo; Soares; Mantovani (2006), 53,38% dos pivôs avaliados foram classificados com uniformidade de distribuição como ruim (< 80%). Quando os valores de CUD estão abaixo do mínimo recomendado, deve-se verificar os possíveis problemas que afetam o sistema, como a ordem de colocação dos aspersores ou difusores, a ocorrência de entupimentos ou desgaste dos bocais, o correto funcionamento dos reguladores de pressão, entre outras partes do sistema (STONE et al., 2007; GUERRA, 2004).

A percentagem de área adequadamente irrigada (Pad) variou de 30,13 a 64,22%, sendo que a média geral foi de 48,7%, o que significa que em uma área de 100 ha, por exemplo, apenas 48,70 ha estão recebendo a irrigação desejada ou superior, ou seja, 51,30 ha estão

recebendo uma irrigação deficitária. Assim o menor valor encontrado para Pad, do pivô 15, mostra que apenas 20,76 ha estão recebendo uma lâmina igual ou superior à lâmina média encontrada e 48,14 ha recebem uma irrigação deficitária. Pode-se ver que todos os pivôs avaliados possuem um Pad baixo, pois seus valores estão longe do ideal, que é 80%, podendo variar com o valor econômico da cultura.

A Eficiência em potencial de aplicação de água, proposta por Bernardo ($E_{pa\text{Bernardo}}$), forneceu resultados iguais aqueles encontrados para a Eficiência de aplicação (EA). Na Eficiência em potencial de aplicação de água, proposta por Keller ($E_{pa\text{Keller}}$), os valores variaram de 99,18 a 99,94%.

6 CONCLUSÕES

Os sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central testados apresentaram em geral níveis aceitáveis de uniformidade de aplicação de água. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) geraram bons resultados, a eficiência de aplicação de água também apresentou valores dentro do admissível e/ou normal e a percentagem de área adequadamente irrigada foi considerada como regular. Desse modo, os sistemas de irrigação por pivô central nas principais regiões mineiras de agricultura irrigada, possuem bom funcionamento.

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P.E.P.; COUTINHO, A.C.; GONÇALVES, P.P.; AGOSTINHO, E. M. Uso Eficiente da Água de Irrigação e da Energia Elétrica em Cultura de Milho sob Pivô Central num Plantio Comercial em Várzea da Palma, MG. **Anais do XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Goiânia, 2010: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **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, 1998. 11 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 611 p.

COSTA, M.B. **Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros – ES**. 2005. 89 p. Tese (Doutorado Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 2006.

CUNHA, F.N.; OLIVEIRA, R.C.; BASTOS, F.J.C.; TEODORO, J.P.R.; TEIXEIRA, M.B.; GOMES FILHO, R.R. Análise de coeficientes de uniformidade em pivôs centrais instalados na região Sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v.7, nº. 3, p. 181-190, 2013.

DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q. de; FRIZZONE, J.A. Determinação da lâmina média de irrigação em pivô central. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 188-190. 1994.

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. R.; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.19-27, 2009.

GUERRA, A.F. **Adequação e manejo das irrigações por aspersão por pivô central no cerrado**. 2004. Disponível em: <http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=141>. Acesso em: 11 de janeiro de 2016.

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. 1487-1493, 1998.

JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.264-270, 2010.

KELLER, J. & BLIESNER, R.D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. New York, Van Nostrand Reinhold. 2000. 652p.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. 1999. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/irrigacao_000fl7vsa7f02wyiv80ispccr5frx0q4.pdf. Acesso em: 12 de janeiro de 2016.

MANTOVANI, E.C.; MONTES, D.R.P.; VIEIRA, G.H.S.; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.110-120, 2012.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. Ed., Editora UFV. Viçosa. 2009. 355 p.

MANTOVANI, E.C.; TEXEIRA, M.B.; RAMOS, M.M.; OLIVEIRA, R.A.de; SOUZA, D.O. Densidade de coleta de dados e sua influência na caracterização da uniformidade em pivô central lepa. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.3, p. 297-306, 2007.

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

MANTOVANI, E.C.; VILLALOBOS, F.J; ORGAN, F.; FERERESA, E. Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity in crop yield. **Agricultural Water Management**, Amesterdam v.27, p.243-257, 1995

MARTINS, C. L.; BUSATO, C.; SILVA, S. F.; RODRIGUES, W. N.; REIS, E. F. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação no sul do Estado do Espírito Santo. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 236-241, 2013.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271

RAMOS, D.D.; PEREIRA, S.B.; ARAI, F.K.; SANTOS, E.C. Desempenho de nove equipamentos de irrigação por pivô central. **Anais do XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA**, Campo Grande - MS. 2014.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 4, n. 8, p. 12-16, 2005.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da; MOREIRA, J.A.A. **Eficiência de irrigação: conceitos e avaliação**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 83 p. 2007.