

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E HIDRÁULICAS NO
DESEMPENHO DE UM PIVÔ CENTRAL, EM CRISTALINA, GOIÁS.**

WILLIAM EVANGELISTA

ORIENTADOR: Prof. Ph. D., CARLOS ALBERTO DA SILVA OLIVEIRA.

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr., CÍCERO LOPES DA SILVA.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PUBLICAÇÃO: 227/2006

BRASÍLIA/DF

JUNHO/2006

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E HIDRÁULICAS NO
DESEMPENHO DE UM PIVÔ CENTRAL, EM CRISTALINA, GOIÁS.**

WILLIAM EVANGELISTA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO À FACULDADE DE AGRONOMIA
E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE DISCIPLINAS DE
GESTÃO DE SOLO E ÁGUA.**

APROVADA POR:

CARLOS ALBERTO DA SILVA OLIVEIRA, Ph. D. (UnB).
(ORIENTADOR), CPF: 244.516.067-72, e-mail: dasilvao@unb.br

CÍCERO LOPES DA SILVA, D. Sc. (UnB)
(CO-ORIENTADOR), CPF: 261.510.306-72, e-mail: cicero@unb.br

OSMAR CARRIJO, Ph.D. (EMBRAPA-CNPH).
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 092.353.611-68, e-mail: carrijo@cnph.embrapa.br

ANTÔNIO FERNANDO GUERRA, Ph.D. (EMBRAPA-CERRADOS)
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 281.449.296-91, e-mail: guerra@cpac.embrapa.br

BRASÍLIA/DF, 09 de junho de 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

Evangelista, William

Influência de variáveis climáticas e hidráulicas no desempenho de um pivô central, em Cristalina, Goiás/ William Evangelista; orientação de Carlos Alberto da Silva Oliveira – Brasília, 2006.

37p.:il

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2006.

1. Coeficiente de uniformidade. 2. Eficiência de distribuição. 3. Eficiência de aplicação. 4. Eficiência de irrigação. I. Oliveira, C.A.S., II.Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

EVANGELISTA, W. **Influência de variáveis climáticas e hidráulicas no desempenho de um pivô central, em Cristalina, Goiás.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2006, 37p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: William Evangelista

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Influência de variáveis climáticas e hidráulicas no desempenho de um pivô central, em Cristalina, Goiás.

GRAU: Mestre

ANO: 2006

É concedida a Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópia desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias, somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

William Evangelista

CPF: 576.969.776-87

SQSW 301 bl. B apto. 506

Brasília-DF, CEP 70 673-102

Tel: (61) 9649-4967

E-mail: williamura@uol.com.br

A meu filho Matheus pelo amor e por ser a razão de tudo

A meus pais Fernando e Roselis pelo confiança e amor

A minha mulher, pela compreensão e paciência

As minhas sobrinhas pelo carinho

A meu irmão pela amizade

Dedico

A meus amigos Leonardo, Etelvold, Luis Cláudio, Luciano, Paulinho, Gilberto, Marcos
Vinícius e Haroldo, pela

Amizade

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais uma conquista

A UnB pela oportunidade

A Agrícola Werhmann, na pessoa do Sr. Verni Kitzmann Werhmann, pela estrutura

Aos funcionários da Agrícola Werhmann, pela inestimável ajuda

Ao meu professor Oliveira pela orientação, ensinamentos e paciência

Ao meu professor Cícero pela co-orientação e apoio aos ensinamentos

Aos pesquisadores Antônio Fernando Guerra e Osmar Carrijo Mestrado pelas sugestões na ocasião da defesa

Ao engenheiro Wellington Paiva Almeida pelos ensinamentos

Aos professores pela compreensão e ensinamentos

Aos novos colegas da Pós-graduação Helon, Paulo, Rodrigo, Gustavo e Anderson pelas ótimas horas de convivência.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho

ÍNDICE

RESUMO	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO ÚNICO	23
RESUMO GERAL	24
ABSTRACT	25
INTRODUÇÃO	26
MATERIAL E MÉTODOS	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABELA

Tabela		Página
1	Valores médios das variáveis independentes: velocidade do vento (Vv), temperatura (T), umidade relativa (UR); e das variáveis dependentes: lâmina média (Lm), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), eficiência de distribuição (Ed), eficiência de aplicação (Ea) e eficiência de irrigação (Ei), em função de velocidades de deslocamento (50 e 100%), períodos do dia (manhã e tarde) nas épocas 12 e 13/08; 22 e 23/09; e 27 e 28/10/2005, observados em pivô central, Cristalina, GO.	32
2	Resumo da análise de variância para umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), temperatura do ar (T), lâmina média (Lm), coef. de uniformidade (CUC), eficiência de distribuição (Ed), eficiência de aplicação de água (Ea) e eficiência de irrigação (Ei).	33
3	Distância do centro, número de ordem e pressão de serviço dos emissores com o regulador e sem regulador de pressão ao longo da linha lateral do pivô.	35
4	Análise de variância da regressão múltipla para a variável dependente eficiência de aplicação de água em função das variáveis: velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar.	37
5	Valores dos coeficientes das variáveis independentes: velocidade do vento (Vv), temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR); do teste T de Student e de probabilidade obtidos através da análise de regressão múltipla, para a variável dependente eficiência de aplicação.	37
6	Valores de eficiência de aplicação observados e calculados usando a equação de regressão múltipla e respectivos resíduos para as duas velocidades de deslocamento do pivô.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribuição da lâmina de água em três épocas: 12 e 13/08; 22 e 23/09; e 27 e 28/10/2005 (a), (b) e (c) em função de dois períodos do dia (manhã e tarde) e duas velocidades de deslocamento (50% e 100%) e lâmina média do pivô, observadas em Cristalina, GO.	34
2	Frequências acumuladas da lâmina de água a 100% de velocidade de deslocamento, obtidas de manhã (a) e de tarde (b) e frequências acumuladas a 50% velocidade de deslocamento, obtidas de manhã (c) e tarde (d), em três épocas do ano.	36
3	Dispersão entre valores das eficiências de aplicação de água observada e ajustada.	39

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E HIDRÁULICAS NO DESEMPENHO DE UM PIVÔ CENTRAL, EM CRISTALINA, GOIÁS.

Resumo Geral

Este trabalho foi conduzido na empresa Agrícola Werhmann, localizada no município de Cristalina GO, com o objetivo de avaliar o desempenho de um pivô central em função da velocidade do vento (V_v), umidade relativa do ar (UR) e temperatura média do ar (T) e estabelecer um modelo estatístico para estimativa da eficiência de aplicação de água em função destas variáveis independentes. Dados foram coletados, no período da manhã e da tarde, em três épocas do ano, considerando duas velocidades de deslocamento do equipamento. As três épocas de coletas dos dados foram: 12 e 13/08/05; 22 e 23/09/05 e 27 e 28/10/05. As duas velocidades de deslocamento do pivô foram 50 e 100%. Os dados foram analisados usando um delineamento experimental em blocos ao acaso para o fator velocidade do pivô com o fator época do ano em subparcela e considerando os dois períodos do dia como repetição. A análise dos resultados permitiu verificar que a pressão média no final da linha lateral foi de 137,3 kPa e próxima ao valor previsto pelo fabricante de 127,5 kPa. A lâmina média aplicada foi de 12,0 mm e de 5,7 mm para as velocidades de 50 e 100% respectivamente. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) calculados resultaram em valores que a literatura considera como aceitáveis. As lâminas médias coletadas no período da manhã foram maiores que as coletadas no período da tarde. A velocidade do vento, a umidade relativa e a temperatura do ar influenciaram significativamente no valor da eficiência de aplicação. A equação ajustada para estimar a eficiência de aplicação foi: $E_a = 77,519 - 6,429 \cdot 10^{-1} V_v + 1,218 V_v UR + 2,363 V_v T + 1,700 \cdot 10^{-2} T UR - 5,446 \cdot 10^{-2} V_v T UR$, com r^2 de 0,933.

PALAVRAS-CHAVES: Coeficiente de uniformidade de Christiansen, eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de irrigação.

HYDRAULIC AND CLIMATIC VARIABLES INFLUENCE ON CENTER PIVOT PERFORMANCE AT CRISTALINA, GOIÁS, BRAZIL

ABSTRACT. This research work was carried out at “Agrícola Werhmann” located in Cristalina City, Goiás state of Brazil, aiming to evaluate center pivot performance as a function of wind speed (V_v), air relative humidity (UR) and mean air temperature (T) and establish an stochastic model to estimate application efficiency as a function of these independent variables. Data were collected, during the morning and the afternoon period, and during three times of the year, considering two speed of outer driver unit. The three times of the year were: August 12 and 13, 2005; September 22 and 23, 2005; and October, 27 and 28, 2005. The two speed of the outer driver unit were 50 and 100%. Data were analyzed considering a randomized complete block design for factor speed of outer driver with factor time of the year as a split plot on factor speed, and considering the two period of the day as replication. Data analysis showed that the mean pressure head at the end of lateral was 137.3 kPa and close to the value predicted by the dealer of 127,5 kPa. The average water depth was 12.0 mm and 5.7 mm for 50 and 100% speed, respectively. Calculated Christiansen’s uniformity coefficient (CUC) provided values that the literature considers as up to standard. Average water depths collected in the morning period were greater than the ones collected in the afternoon. Wind speed, air relative humidity influenced significantly water application efficiency values. The adjusted equation to estimate application efficiency was: $E_a = 77,519 - 6,429.10^{-1} V_v + 1,218 V_v UR + 2,363 V_v T + 1,700.10^{-2} T UR - 5,446.10^{-2} V_v T UR$, with r^2 equals 0,933.

Key words: Christiansen uniformity coefficient, distribution efficiency, application efficiency, irrigation efficiency.

INTRODUÇÃO GERAL

O aumento de produtividade na agricultura é um dos maiores desafios para o Brasil nos próximos anos. A necessidade de aumentar a produção de alimentos vem naturalmente devido ao crescimento da população mundial e a necessidade de aumentar as exportações, haja vista, que a manutenção da balança comercial favorável é primordial para o crescimento e desenvolvimento do país.

A inserção da irrigação no processo de produção agrícola é uma decisão tomada com base na probabilidade de se atingir um nível de eficácia na aplicação desta técnica. A eficácia da irrigação é algo que se identifica pela relação custo-benefício e cuja maximização é função de uma série de fatores que vão desde as condições de mercado para os produtos agrícolas, até as características de desempenho dos emissores de água (LIMA et al 2003).

Na agricultura, é essencial a aplicação de água em doses corretas, pois o desenvolvimento está ligado a esta condição. A irrigação destaca-se como uma das principais técnicas, hoje disponível a serem implantadas, para elevar os níveis de produtividade no país. LIMA (2003) também afirma que no dimensionamento e no manejo da irrigação, faz-se necessário o conhecimento de parâmetros que expressem e quantifiquem a qualidade da operação.

Segundo CHRISTOFIDIS (2002) a área agrícola mundial, submetida à colheita no ano de 2000, correspondeu aproximadamente 1,5 bilhões de hectares (ha), dos quais cerca de 275 milhões (18%) foram irrigados. A superfície produtiva agrícola sob sequeiro, em torno de 1,225 bilhões de hectares, é responsável por 58% do total colhido, enquanto a superfície agrícola irrigada, embora correspondendo apenas a 18% da área total sob produção agrícola, respondeu por 42% do total colhido em 2000. No Brasil em 2001, a área irrigada era de 3.149.217 ha, enquanto a área potencial para irrigação sustentável estava em torno de 29,5

milhões de hectares. Dentre os métodos de irrigação utilizados no país destaca-se o sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central ocupando a área de 651.548 ha.

Na irrigação por aspersão a água é aplicada ao solo sob a forma de chuva artificial. Isso ocorre devido ao fracionamento do jato de água, em grande número de gotas que se dispersam no ar e caem sobre a superfície do solo ou sobre a cultura. Destacam-se nesse grupo os sistemas convencionais, montagem direta, autopropelido, pivô central e sistemas de movimentação linear (RAMOS & MANTOVANI, 1994). No Brasil, o pivô central tem sido utilizado principalmente para irrigação de cereais, porém desde a década passada tem havido um crescente aumento da sua utilização em fruticultura e pastagem (FOLEGATTI et al. 1998).

O sistema de irrigação por pivô central foi inventado no Colorado (EUA), em 1952, mas, até 1960, seu uso ainda não estava consolidado. BERNARDO (1995) afirma que dentre as razões que justificam o uso do equipamento estão a economia de mão-de-obra e a obtenção de altas produtividades. Entretanto, para que isto aconteça é preciso irrigar com frequência adequada e boa uniformidade. Uma característica do pivô central é que cada unidade de comprimento (lances) irriga uma área maior, à medida que se afasta do centro do pivô. Assim, para se ter uma aplicação uniforme, é necessário que a vazão aplicada por unidade de comprimento aumente à medida que se afaste do centro do pivô.

LIMA et al. (2003) afirma que os equipamentos precisam ser bem projetados, principalmente em áreas de topografia bem acidentada, onde ocorre uma variação acentuada na pressão do sistema, causando significativas diferenças de vazão, reduzindo a uniformidade de distribuição de água com conseqüente diminuição da eficiência de aplicação, além de aumentar as perdas de água por escoamento superficial.

As irregularidades do relevo na direção radial do equipamento podem provocar avarias à estrutura do pivô, e nestes casos os sistemas com lances curtos se adaptam melhor

do que os de lances longos. Com relação às declividades do terreno na direção tangencial da linha de distribuição de água os equipamentos, podem funcionar com desníveis de até 20%. Entretanto, de uma maneira geral, se recomenda que a declividade da superfície a irrigar não ultrapasse 15% para evitar escoamentos sobre o terreno (RODRIGUES et al. 1992).

O processo ou metodologia de controle da irrigação é a garantia de sucesso do empreendimento. Nesse contexto, é necessário conhecer a lâmina de água realmente aplicada e a sua uniformidade de distribuição, o que é realizado por avaliação a nível de campo. Segundo VIEIRA (1989), tal avaliação consiste na análise das condições operacionais da instalação, por meio de medições do desempenho do equipamento no campo.

MARRIAM & KELLER (1978) descreveram um método de avaliação de um sistema pivô central o qual se baseia na uniformidade de distribuição de água ao longo da linha lateral. Esse método consiste na coleta das precipitações por meio de coletores (pluviômetros) instalados ao longo de uma linha radial, partindo do ponto do pivô e numerados em ordem crescente, utilizando espaçamentos inferiores a 9 m, sendo de preferência entre 4 e 6 m.

Segundo a norma da ABNT (1985), a distância entre coletores não deve ser múltiplo da distância entre emissores na linha lateral. Também devem ser deslocados para evitar as trilhas de caminhamento do equipamento. Todos coletores utilizados para o teste de campo devem ser idênticos de maneira tal que a água não respingue para fora e nem para dentro. A borda do coletor deve ser simétrica e sem depressões. O diâmetro de entrada do coletor deve ser entre a metade ou uma vez sua altura, porém não menos que 60 mm.

Em sistemas de irrigação por aspersão do tipo pivô central, o conhecimento da lâmina média aplicada e da uniformidade de distribuição é imprescindível para o manejo econômico do sistema (DUKE et al, 1992). A lâmina de irrigação média na área efetivamente irrigada é estimada através das lâminas coletadas durante o teste do pivô utilizando um fator de ponderação proporcional à área representada pelo coletor.

DOURADO et al. (1994) assumem que a lâmina coletada é a própria lâmina média da faixa que o coletor representa o que, a rigor, não é recomendável, pois faz com que a transição de duas lâminas consideradas em faixas adjacentes seja descontínua além de resultar numa determinação conceitualmente incorreta da lâmina média de irrigação da faixa.

A determinação da lâmina média é de suma importância em razão da sua ampla utilização na avaliação do sistema de irrigação. É utilizada no cálculo do coeficiente de uniformidade (CHRISTIANSEN 1942), na uniformidade de distribuição, na área deficientemente irrigada, na eficiência de aplicação e na de armazenagem média em relação ao procedimento usual, que inclusive considera a transição abrupta da lâmina coletada entre as faixas de abrangência dos coletores.

RING & HEERMANN (1978) afirmam que é necessário determinar o desempenho de um sistema de irrigação para poder avaliar a uniformidade de distribuição da água, que é uma característica útil para comparar sistemas. Uniformidade deficiente resulta em área super ou subirrigada, de modo que um sistema com baixa uniformidade de distribuição teria que aplicar mais água para a obtenção do mesmo nível de produção e, paralelamente, se dois sistemas distribuem o mesmo volume, tem maior eficiência de irrigação o sistema que melhor distribuí água na área.

Estudando a avaliação da uniformidade e eficiência de irrigação em pivô central, por meio de modelos linear e normal, LEME (1989) e COTRIM et al. (1989) citam que o uso de apenas uma linha radial de coletores mostrou ser viável e adequada em termos técnicos e de utilização de mão-de-obra para elaboração dos testes.

Finalmente, GENOVEZ & BORRI GENOVEZ (1990) avaliando o desempenho de pivô concluíram que a utilização de linha individual ou de duas linhas radiais, defasadas de três graus, apresentaram diferenças nos resultados. Em geral essa diferença foi no máximo

10%, sendo iguais em vários testes, favorecendo o uso de uma linha individual para facilitar o trabalho de campo. PINTO (2003), também utilizou apenas uma linha individual de coletores.

O pivô central é um sistema que permite alta frequência de irrigação, sendo que as aplicações de água em geral podem ser feitas diariamente, aplicando pequenas lâminas de água que, praticamente, recolocam no solo a água evapotranspirada pela cultura. Como a evapotranspiração das culturas varia muito em função das oscilações climáticas, é fundamental dispor de um adequado processo de controle de irrigação, para evitar irrigação em excesso ou deficiente, ambas muito prejudiciais à cultura além de propiciar maiores gastos para o irrigante (GENOVEZ et al., 1991).

Segundo SAAD & LIBARDI (1994) a qualidade da irrigação depende conseqüentemente, tanto dos fatores que envolvem o desempenho do equipamento de irrigação, como dos fatores associados ao controle da irrigação, estes últimos diretamente relacionados com as características genéticas das plantas, às propriedades físico-hídricas do solo e às condições climáticas locais.

KELLER & BLIESNER (1990) definem a eficiência de distribuição em função do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e da área adequadamente irrigada (AAI). Também definem a eficiência de aplicação pela relação entre a lâmina média coletada e a lâmina média emitida pelos aspersores. A eficiência de irrigação definida pelos mesmos autores é obtida pelo produto de três eficiências: eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de condução, considerada igual a 1 (um), quando o equipamento não apresenta nenhum vazamento no sistema de condução.

Os fatores que afetam a uniformidade de distribuição podem ser classificados em climáticos e não climáticos. Os fatores climáticos são: a evaporação, temperatura e umidade relativa do ar e condições do vento. Os fatores não climáticos são aqueles relacionados ao equipamento e metodologia de avaliação. Em relação ao equipamento, os fatores são

diâmetros dos bocais, tipo de defletor e pressão de operação do emissor, velocidade, alinhamento da linha lateral do equipamento e altura do emissor em relação à cultura. A diminuição da altura do emissor, em relação à cultura, é uma técnica muito utilizada para reduzir as perdas de água por evaporação e por deriva pelo vento. MIRANDA et al. (1994), afirmam que a utilização de tubos de descida prejudica a sobreposição dos jatos, ocorrendo decréscimo na uniformidade de distribuição de água.

Dentre as variáveis climáticas o vento tem influência severa na irrigação por aspersão. Pesquisas têm demonstrado que o aumento da velocidade do vento provoca a diminuição da uniformidade de distribuição de água, como resultado da distorção do perfil de aplicação de água e da redução da área coberta pelo aspersor e, conseqüentemente, da diminuição da sobreposição dos jatos de água (RIBEIRO 1982).

A influência da direção do vento sobre a distribuição de água do aspersor em sistemas convencionais de irrigação por aspersão é bastante controversa na literatura. Trabalhos têm relatado que o efeito encontrado no CUC (Coeficiente de Uniformidade Christiansen) foi muito pequeno ou nulo (WIERMA 1995). MOYNAHAN (1972), afirma não existir orientação única na linha lateral em relação ao vento que possa resultar em maior Coeficiente de Uniformidade de Christiansen; Por outro lado, autores afirmaram que o melhor posicionamento da linha lateral é perpendicular à direção do vento, e finalmente, o melhor posicionamento da linha lateral é o paralelo à direção do vento, afirma SHULL & DYLLA, (1976).

COLOMBO et al. (1988) citado por SANTANA (2000), estudaram a influência da evaporação sobre os valores das lâminas coletadas, em ensaios noturnos e diurnos realizados em dois pivôs distintos, ambos de baixa pressão, concluíram que são pequenas as diferenças entre lâminas aplicadas pelo equipamento nos dois períodos, indicando que as perdas por evaporação são inferiores a 2%, para as lâminas aplicadas entre 7 e 20 mm por revolução.

Segundo BERNUTH & GILLEY (1984), os difusores de baixa pressão apresentam maior sensibilidade às variações de pressão, especialmente em terrenos declivosos, o que acarreta um custo adicional por dispositivos capazes de uniformizar a pressão ao longo da linha lateral, esses dispositivos são chamados de reguladores de pressão. STREETER & WYLIE (1982), afirma que, para a verificação e controle da pressão do sistema pivô central, na prática se emprega normalmente manômetros metálicos do tipo Bourbon.

De acordo com FURUKAWA et al (1994), o manejo racional de um sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central, requer, além dos conhecimentos de parâmetros climáticos, características do solo e do recurso hídrico; o conhecimento da uniformidade de distribuição de água e da eficiência de aplicação.

Para o bom funcionamento de um sistema de irrigação pressurizada, a alta uniformidade de distribuição de água entre os emissores é de grande importância. Podendo ser influenciada pela combinação de diversos fatores, entre eles a variação de vazão dos emissores de água ao longo da linha lateral, em decorrência da variação de pressão e da própria variabilidade dos emissores e, também pelas condições de vento e da altura do emissor em relação ao solo (FRIZZONE, 1992). A variação de pressão ao longo da lateral é consequência da perda de carga e da variação de nível, que podem ser elevadas em sistemas de irrigação do tipo pivô central, pela sua grande extensão.

O conceito de uniformidade de distribuição da água em irrigação por aspersão tem tido um grande avanço. De acordo com HEINEMANN et al. (1998), devido à crescente necessidade de conservação e alternativas de uso do recurso água, a competitividade pela água, ao custo da energia, ao custo dos insumos, e à estabilidade dos preços dos produtos agrícolas, os sistemas de irrigação devem proporcionar uma aplicação uniforme e eficiente.

Segundo PENAFORTE et al. (1993), a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão são importantes parâmetros que

expressam a qualidade da irrigação. A determinação desses parâmetros permite verificar se o sistema atende as características de projeto, possibilitando assim, estabelecer correções que possam melhorar o seu desempenho.

A melhora da uniformidade de um sistema de irrigação é uma das decisões mais importantes para o manejo adequado da água aplicada. De acordo com DUKE et al. (1992), o aumento do coeficiente de uniformidade de Christiansen de 81,8% para 96,8% equivale ao aumento da lâmina para uma determinada adequação em 27%, quando se usa a estratégia de manejo com um grau de adequação de 75% (75% da área irrigada recebendo no mínimo a lâmina média). HEINEMANN E FRIZZONE (1995) concluíram que em um sistema pivô central, o aumento do coeficiente de uniformidade de 81,2% para um nível 94,0%, para os graus de adequação de 75, 8 e 85%, foi responsável por uma economia no volume de água aplicada correspondente a 11,8, 14,2 e 16,6%, respectivamente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de irrigação tipo pivô central, em Cristalina, GO, em função das variáveis climáticas e hidráulicas e estabelecer um modelo estatístico que leve em conta o efeito destas variáveis sobre o desempenho do equipamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. *Sistema de irrigação por aspersão pivô central*: caracterização de desempenho / método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985. 22p (Projeto de norma, 12:02.08-005).

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6.ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária., 1995. 657p.

BERNUTH, R.D.; GILLEY, J.R. *Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test data*. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 5, n.27, p. 1435-1441, 1984.

COTRIM, C.E.; BERNARDO, S.; SEDIYAMA, G.C.; SOARES, A.A.; DENICULI, W. *Desempenho de um sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão*. Revista ITEM. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), Brasília-DF, nº 33 – junho 1989, p.21-30.

CHRISTOFIDIS, D. *Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos*. ITEM – Irrigação e Tecnologia moderna, Brasília-DF, n. 54, p.46-55, 2002.

CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: University of California, 1942. 142p. (Bulletin 670)

DOURADO, N. D.; VAN LIER, Q.J.; FRIZZONE, J.A. *Determinação da lâmina média de irrigação em pivô central*. Scientia. Agricola. (Piracicaba, Braz.), jan./abr. 1994, vol.51, no.1, p.188-190. ISSN 0103-9016.

DUKE, H.R.; HEERMANN, D.F.; DAWSON, L.J. *Appropriate depths of application for scheduling center pivot irrigations*. Transactions of the ASAE, v.35, n.5, p.1457-1464, 1992.

FOLEGATTI, M.V.; PESSOA, P.C.S.; PAZ, V.P.S. *Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão*. Scientia Agricola, Piracicaba, v.55, n.1, p.119-127, 1998.

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-MG, v.41, n.233, p.36-49, 1994.

FRIZZONE, J.A. *Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência*. Piracicaba: ESALQ, Dept. Eng. Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3.

GENOVEZ, A.M.; VIEIRA, D.B.; GENOVEZ, A.I.B. *Metodologia expedida para avaliações do pivô central*. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1991, Fortaleza, v.1, n.3, p.1583-1599.

GENOVEZ, A.M. e BORRI GENOVEZ, A. *Uniformidade de distribuição e Eficiência da Aplicação em um sistema de Aspersão tipo Pivô Central*. In Memórias do XIV Congresso Latino Americano de Hidráulica. Associação Internacional de Investigações Hidráulicas (AIH). Montevideo-Uruguai. 1990 Vol II p.1021-1031.

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

HEINEMANN, A.B.; FRIZZONE, J.A.. *Custo da melhora da uniformidade de distribuição de água por um pivô central vs. Economia de energia*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA, 24., 1995, Viçosa Anais... Jaboticabal, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p.189.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York, 1990. 280p.

LEME, E.J.A. *Avaliação da uniformidade e eficiência da irrigação dos modelos normal e linear*. Revista ITEM. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), Brasília-DF, nº 27, dezembro 1989, p.11-14.

LIMA, A.S. *Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central móvel*. 2003. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LIMA, S.C.R.V.; FRIZZONE, J.A.; COSTA, R.N.T. *Curvas de desempenho de válvulas reguladoras de pressão novas e com diferentes tempos de utilização*. Revista brasileira de engenharia. Agrícola e ambiental, maio/ago. 2003, v.7, n.2, p.201-209. ISSN 1415-4366.

MERRIAM, J.L.; KELLER, J. *Farm irrigation system evaluation: (a guide for management)*. 2. Ed. Logan, Utah State University, 1978. 652 p.

MIRANDA, F.R.; RAMOS, M.M.; DENÍCULI, W.; SOARES, A.A. *Uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação, do tipo linear e de baixa pressão, em função da altura de instalação e do tipo de placa defletora*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. Anais... Jaboticabal: SBEA, 1994. p. 119.

MOYNAHAN, M.D. *The use of sprinkler profiles to predict field performance*. 1972. 79 f. Masters Dissertation. Logan Utah.

PENAFORTE, A.B.; SILVA, A.M.; FARIA, M.A.; LIME, L.A.; OLIVEIRA, M.S. *Análise de performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional, acima e abaixo da superfície do solo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus, Anais ...Ilhéus, 1993.

PINTO, J. M. *Influência de parâmetros climáticos e hidráulicos no desempenho da irrigação por aspersão, em um pivô central no oeste baiano*. 2003. 29p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Solo e Água) Universidade de Brasília, Brasília.

RAMOS, M.M.; MANTOVANI, E.C. *Sistemas de irrigação e seus componentes*. In: *Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação*. 1. Ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Milho e Sorgo. Brasília. EMBRAPA-SPI, 1994. 315 p.

RIBEIRO, A.F.L. *Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear*. 1982. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RING, L.; HEERMANN, J.F. *Determining center-pivot sprinkler uniformities*. Logan: USDA, 1978.n.p. (USDA. Paper, 78-2001).

RODRIGUES, B.H.N.; SILVA, W.L.C.; FIETZ, C.R. *Desempenho de um pivô central sob condições dos tabuleiros litorâneos do Piauí*. In CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1992, Fortaleza, Anais... Fortaleza, 1992. p.997-1018.

SAAD, A.M. & LIBARDI, P.L. *Qualidade da irrigação controlada por tensiômetros em pivô central*. Scientia. Agricola. (Piracicaba, Braz.), Dez 1994, vol.51, no.3, p.549-555. ISSN 0103-9016

SANTANA, R.C. *Influência do redimensionamento hidráulico de precisão na uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação do tipo pivô central*. 2000. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SHULL, H.; DYLLA, A.S. *Wind effects on water application*. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v. 19, n. 3, p. 501-504, 1976.

STREETER, V.L; WYLIE, E.B. *Mecânica dos fluidos*. 7. ed. São Paulo: McGraw-hill do Brasil, 1982 575p.

VIEIRA, D.B. *As técnicas de irrigação*, Editora Globo S. A. São Paulo-SP, 1989, 263 p.

WIERMA, J.L. *Effects of Wind variation of Water distribution from rotating sprinkler*. Brookling. South Dakota agricultural Experiment Station. 1995 180p.

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E HIDRÁULICAS NO
DESEMPENHO DE UM PIVÔ CENTRAL, EM CRISTALINA, GOIÁS.**

Trabalho a ser enviado para publicação na Revista Brasileira de Engenharia agrícola e
Ambiental

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E HIDRÁULICAS NO DESEMPENHO DE UM PIVÔ CENTRAL, EM CRISTALINA, GOIÁS¹.

² WILLIAM EVANGELISTA, ³ CARLOS ALBERTO DA SILVA OLIVEIRA, ⁴ CÍCERO LOPES DA SILVA

RESUMO: Este trabalho foi conduzido na empresa Agrícola Werhmann, localizada no município de Cristalina GO, com o objetivo de avaliar o desempenho de um pivô central em função da velocidade do vento (V_v), umidade relativa do ar (UR) e temperatura média do ar (T) e estabelecer um modelo estatístico para estimativa da eficiência de aplicação de água em função destas variáveis independentes. Dados foram coletados, no período da manhã e da tarde, em três épocas do ano, considerando duas velocidades de deslocamento do equipamento. As três épocas de coletas dos dados foram: 12 e 13/08/05; 22 e 23/09/05 e 27 e 28/10/05. As duas velocidades de deslocamento do pivô foram 50 e 100%. Os dados foram analisados usando um delineamento experimental em blocos ao acaso para o fator velocidade do pivô com o fator época do ano em subparcelas e considerando os dois períodos do dia como repetição. A análise dos resultados permitiu verificar que a pressão média no final da linha lateral foi de 137,3 kPa e próxima ao valor previsto pelo fabricante de 127,5 kPa. A lâmina média aplicada foi de 12,0 mm e de 5,7 mm para as velocidades de 50 e 100% respectivamente. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) calculados resultaram em valores que a literatura considera como aceitáveis. As lâminas médias coletadas no período da manhã foram maiores que as coletadas no período da tarde. A velocidade do vento, a umidade relativa e a temperatura do ar influenciaram significativamente no valor da eficiência de aplicação. A equação ajustada para estimar a eficiência de aplicação foi: $E_a = 77,519 - 6,429 \cdot 10^{-1} V_v + 1,218 V_v UR + 2,363 V_v T + 1,700 \cdot 10^{-2} T UR - 5,446 \cdot 10^{-2} V_v T UR$, com r^2 de 0,933.

PALAVRAS-CHAVES: Coeficiente de uniformidade de Christiansen, eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de irrigação.

¹ Trabalho apresentado a Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias

² Eng. Agrícola – M.Sc. Faculdade de Agronomia e Veterinária – Aluno.

³ Eng. Agrônomo – Ph.D. Faculdade de agronomia e Veterinária – Professor Titular.

⁴ Eng. Agrícola – D.Sc. Faculdade de Agronomia e Veterinária – Professor Adjunto IV.

HYDRAULIC AND CLIMATIC VARIABLES INFLUENCE ON CENTER PIVOT PERFORMANCE AT CRISTALINA, GOIÁS, BRAZIL

ABSTRACT. This research work was carried out at “Agrícola Werhmann” located in Cristalina City, Goiás state of Brazil, aiming to evaluate center pivot performance as a function of wind speed (V_v), air relative humidity (UR) and mean air temperature (T) and establish an stochastic model to estimate application efficiency as a function of this independent variables. Data were collected, during the morning and the afternoon period, and during three times of the year, considering two speed of outer driver unit. The three times of the year were: August 12 and 13, 2005; September 22 and 23, 2005; and October, 27 and 28, 2005. The two speed of the outer driver unit were 50 and 100%. Data were analyzed considering a randomized complete block design for factor speed of outer driver with factor time of the year as a split plot on factor speed, and considering the two period of the day as replication. Data analysis allowed to conclude that the mean pressure head at the end of lateral was 137.3 kPa and close to the value predicted by the dealer of 127,5 kPa. The average water depth was 12.0 mm and 5.7 mm for 50 and 100% speed, respectively. Calculated Christiansen’s uniformity coefficient (CUC) provided values that the literature considers as up to standard. Average water depths collected in the morning period were greater than the ones collected in the afternoon. Wind speed, air relative humidity influenced significantly water application efficiency values. The adjusted equation to estimate application efficiency was: $E_a = 77,519 - 6,429.10^{-1} V_v + 1,218V_v UR + 2,363 V_v T + 1,700.10^{-2} T UR - 5,446.10^{-2} V_v T UR$, with r^2 equals 0,933.

Key words: Christiansen uniformity coefficient, distribution efficiency, application efficiency, irrigation efficiency.

INTRODUÇÃO

Dentre os métodos de irrigação utilizados no país destacam-se os sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central irrigando uma área estimada em 651.548 ha.

BERNARDO (1995) afirma que as razões que justificam o uso do pivô central são a economia de mão-de-obra e as altas produtividades, mas para que isto aconteça é preciso irrigar com adequada frequência e boa uniformidade. Assim, para se ter uma aplicação uniforme, é necessário que a vazão aplicada por unidade de comprimento aumente à medida que se afaste do centro do pivô.

Para conhecer a lâmina de água realmente aplicada e a sua uniformidade de distribuição, é necessário uma avaliação do equipamento realizado no campo, recebendo o nome de avaliação. Segundo VIEIRA (1989), tal avaliação consiste na análise das condições operacionais do equipamento, por meio de medições que permite estabelecer o desempenho do equipamento no campo.

RING & HEERMANN (1978) afirmam que uma uniformidade deficiente resulta em área super ou subirrigada, de modo que um sistema com baixa uniformidade de distribuição teria que aplicar mais água para a obtenção do mesmo nível de produção e, paralelamente, se dois sistemas distribuem o mesmo volume, maior a eficiência no uso da água tem aquele que melhor distribuí a água na área.

MERRIAM & KELLER (1978) descreveram um método de avaliação de um pivô central que se baseia na uniformidade de distribuição de água ao longo da linha lateral, consistindo da coleta das precipitações por meio de coletores (pluviômetros) instalados ao longo de uma linha radial, partindo do ponto do pivô e numerados em ordem crescente, utilizando espaçamentos inferiores a 9 m, sendo de preferência entre 4 e 6 m.

Testes de avaliação da uniformidade e eficiência de irrigação em pivô central (LEME, 1989; COTRIM et al. 1989; GENOVEZ & BORRI GENOVEZ, 1990) concluíram ser

adequado, em termos técnicos e de utilização de mão-de-obra para elaboração dos testes, o uso de apenas uma linha radial de coletores.

KELLER & BLIESNER (1990) definem a eficiência de distribuição em função do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e da área adequadamente irrigada (AAI). Também definem a eficiência de aplicação pela relação entre a lâmina média coletada e a lâmina média emitida pelos aspersores. A eficiência de irrigação definida pelos mesmos autores é obtida pelo produto de três eficiências; eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de condução, considerada igual a 1 (um), quando o equipamento não apresenta nenhum vazamento no sistema de condução.

HEERMANN & HEIN (1968) propuseram uma modificação na equação de Christiansen, para o cálculo do CUC por considerarem que a uniformidade da lâmina aplicada não é somente função da diferença de pressão, mas também do aumento do diâmetro dos bocais dos aspersores à medida que se afasta em relação ao centro da área irrigada.

A alta uniformidade de distribuição de água entre os emissores é de grande importância. Ela pode ser influenciada pela combinação de diversos fatores climáticos e hidráulicos, como as condições de vento, a variação de vazão dos emissores ao longo da linha lateral, em decorrência da variação de pressão e da própria variabilidade dos emissores, das condições de vento e da altura do emissor em relação ao solo (FRIZZONE, 1992). A variação de pressão ao longo da lateral é consequência da perda de carga e da variação de nível, que são significativas nos sistemas de irrigação tipo pivô central, pela sua grande extensão, daí a necessidade de se usar reguladores de pressão antecedendo os emissores.

Segundo BERNUTH & GILLEY (1984), os difusores de baixa pressão apresentam maior sensibilidade às variações de pressão, especialmente em terrenos declivosos, o que acarreta um custo adicional dada à necessidade de se usar reguladores de pressão ao longo da linha lateral.

O conceito de uniformidade de distribuição da água em irrigação por aspersão tem tido um grande avanço. De acordo com HEINEMANN et al. (1998), devido à crescente necessidade de conservação e usos alternativos do recurso água; ao custo da energia; ao custo dos insumos, e à estabilidade dos preços dos produtos agrícolas, os sistemas de irrigação proporcionar uma aplicação uniforme e eficiente.

Segundo PENAFORTE et al. (1993), a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão são importantes parâmetros que expressam a qualidade da irrigação.

De acordo com DUKE et al. (1992), o aumento do coeficiente de uniformidade de Christiansen de 81,8% para 96,8% equivale ao aumento da lâmina para uma determinada adequação em 27%, quando se usa a estratégia de manejo com um grau de adequação de 75% (75% da área irrigada recebendo no mínimo a lâmina média). HEINEMANN E FRIZZONE (1995) concluíram que em um sistema pivô central, o aumento do coeficiente de uniformidade de 81,21% para um nível 94,00%, para os graus de adequação de 75, 80 e 85%, foi responsável por uma economia no volume de água aplicada correspondente a 11,8, 14,2 e 16,6%, respectivamente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de irrigação tipo pivô central, em Cristalina, Goiás, e em função das variáveis climáticas, e estabelecer um modelo estatístico que leve em conta o efeito destas variáveis sobre o desempenho do equipamento.

MATERIAL E MÈTODOS

Foi utilizado um pivô central instalado na empresa Agrícola Wehrmann, município de Cristalina-GO, com coordenadas geográficas 17° 02' 45" de latitude sul e 47° 45'24" de longitude oeste e 980 m de altitude. Os solos do local são do tipo Latossolo Vermelho-amarelo de textura média. O relevo é suavemente ondulado a plano. A precipitação e a temperatura médias anuais são, respectivamente, 1300 mm e 20,9° C.

O pivô central é composto com 12 torres, sendo 3 lances com o diâmetro de 8 5/8", 6 lances de 8", 3 lances de 6 5/8" e um balanço com 25,50 m, totalizando um raio efetivo de 588,10 m abrangendo uma área circular irrigada de 108,65 ha. O equipamento foi projetado para operar com uma pressão de 418,74 kPa na entrada da torre central e 127,48 kPa no final da linha lateral. O sistema também apresenta tubos de descida de PVC flexível espaçados de 2,20 m entre si. Os emissores, da marca Senninger do tipo "super spray", são constituídos com bocais que variam de 1,59 a 10,32 mm, defletores com 36 estrias com ranhuras e placa plana, e estão a uma altura de 2,74 m do solo e montados com regulador de pressão de 103,42 kPa.

A água é bombeada por meio de uma adutora com 300 mm de diâmetro com 1300 m de comprimento. Por meio de um motor elétrico da marca WEG de 250 cv com 1750 rpm, acoplado a uma bomba centrífuga marca KSB mod. 150-50, com o diâmetro do rotor de 480 mm. A vazão prevista de 452,67m³ h⁻¹ para uma altura manométrica total de 100,12 mca. O equipamento tem a capacidade nominal de aplicar uma lâmina bruta de 10,00 mm dia⁻¹ em um tempo de rotação de 24 h, com o relé percentual ajustado para 58% de velocidade máxima de deslocamento.

Foram utilizados 180 pluviômetros, da marca Fabrimar, fixados radialmente, distanciados entre si de 3 m, a 0,70 m de altura do solo e direcionados para a parte de maior aclave da área. As lâminas de água foram coletadas em duas velocidades 100% e 50% de

deslocamento. Para cada velocidade foram realizados dois testes, um às 6 horas e o outro às 12 horas, visando quantificar o efeito da variação de fatores climáticos, ao longo do dia. Em cada teste foram registradas a velocidade do vento (V_v), a umidade relativa (UR) e a temperatura do ar (T).

Objetivando estimar a vazão média do emissor (Q_e), mediu-se a vazão de três emissores em cinco pontos da linha lateral: no início da parte aérea do equipamento, na metade do primeiro terço, na metade do segundo terço, na metade do terceiro terço e no final linha lateral do pivô. Nos mesmos pontos onde foi efetuadas as medidas de vazão, foram medido também a pressão.

Os testes foram realizados em três épocas do período seco do ano: 12 e 13/08; 22 e 23/09; e 27 e 28/10/2005, sendo o primeiro dia da data para velocidade de deslocamento máxima 100% e o segundo dia para a velocidade de 50%.

A eficiência de distribuição de água de irrigação de acordo com KELLER e BLIESNER (1990) foi estimada pela equação:

$$Ed = \left[100 + (606 - 24,9AAI + 0,349AAI^2 - 0,00186AAI^3) \frac{(1 - CUC)}{100} \right] \quad (1)$$

em que:

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, %.

No presente trabalho foi adotado o valor de 80% para a área adequadamente irrigada (AAI) o qual substituído na equação anterior, resultou em:

$$Ed = 100 - 104,7 \left(\frac{1 - CUC}{100} \right) \quad (2)$$

Para calcular o coeficiente de uniformidade de Christiansen utilizou-se uma equação modificada por HEERMANN & HEIN (1968) sob a forma:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |Y_i - Y_p|}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot Y_i} \right] \quad (3)$$

em que:

Y_i = Lâmina coletada no pluviômetro i , mm;

n = Número de coletores;

S_i = Distância do ponto do pivô ao ponto i , ou número do coletor;

A lâmina média ponderada (Y_p) foi calculada por:

$$Y_p = \left[\frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right] \quad (4)$$

Outro parâmetro estimado foi eficiência de aplicação da água, obtida pela relação entre a lâmina média coletada e a lâmina média emitida pelos emissores. E expressa por:

$$Ea = \frac{Lm}{La} \quad (5)$$

em que,

Lm = Lâmina média de água coletada a 70 cm do solo, mm;

La = Lâmina média de água emitida pelos emissores, mm.

O cálculo de La foi calculado em função da vazão média dos emissores (Q_e) em m^3/s^{-1} .

$$La = \frac{Ne \cdot Q_e \cdot t}{A} \times 1000 \quad (6)$$

em que,

Ne = número de emissores;

t = Tempo de rotação, s;

A = Área irrigada, m^2 .

A eficiência da irrigação foi obtida pelo produto das três eficiências; eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de condução, considerada igual a 1 (um), pois o equipamento não apresentou nenhum vazamento no sistema de condução da água.

E foi obtida através da seguinte equação:

$$E_i = E_d \cdot E_a \cdot E_c \quad (7)$$

O delineamento utilizado foi em blocos completos casualizados para o fator velocidade do pivô na parcela, o fator época em subparcela e período do dia constituindo as repetições.

Análises de regressão foram realizadas para estabelecer um modelo considerando como variáveis independentes a velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os valores médios de todas as variáveis independentes e dependentes analisadas podem ser observados na Tabela 1.

TABELA 1. Valores médios das variáveis independentes: velocidade do vento (Vv), temperatura (T), umidade relativa (UR); e das variáveis dependentes: lâmina média (Lm), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), eficiência de distribuição (Ed), eficiência de aplicação (Ea) e eficiência de irrigação (Ei), em função de velocidades de deslocamento (50 e 100%), períodos do dia (Manhã e Tarde) nas épocas 12 e 13/08; 22 e 23/09; e 27 e 28/10/2005, observados em pivô central, Cristalina, GO.

Vel.pivô (%)	Período	Época	Vv (m s ⁻¹)	Temp. (°C)	UR (%)	Lm (mm)	CUC	Ed	Ea	Ei
100%	M	1	1,1	15,3	69	5,9	91	91	94	86
	T	1	1,8	27,9	38	4,9	85	85	77	66
	M	2	0,3	19,3	57	6,1	90	89	97	87
	T	2	1,1	34,8	28	6,1	91	90	96	87
	M	3	0,4	18,2	65	5,8	83	82	93	76
	T	3	0,9	35,0	24	5,7	91	90	90	82
50%	M	1	0,5	16,5	55	12,2	91	90	89	80
	T	1	2,8	31,0	20	12,0	93	92	87	80
	M	2	1,9	20,4	71	11,9	90	90	86	78
	T	2	3,5	31,2	30	10,5	91	90	76	69
	M	3	0,3	20,7	71	13,7	90	89	99	89
	T	3	1,3	31,3	41	11,8	90	90	86	77

Para a velocidade de deslocamento do pivô de 100% e as três épocas estudadas foram observadas lâminas médias de: 5,9, 6,1 e 5,8 mm, no período da manhã e 4,9, 6,1 e 5,7 mm no período da tarde. Portanto, próxima da média de 5,7 mm, projetada pelo fabricante. Para a velocidade de deslocamento de 50%, as lâminas médias foram 12,2, 11,9 e 13,7 mm para o período da manhã e 12,0, 10,5 e 11,8 mm para o período da tarde. Os menores valores de CUC, Ed, Ea e Ei foram 83, 82, 76 e 69%, respectivamente.

Os valores médios de Lm, CUC, Ed, Ea e Ei observados no período da manhã não diferiram significativamente daqueles observados à tarde (Tabela 2), exceto para a variável lâmina média que diferiu em função da velocidade de deslocamento. Entretanto, houve diferenças entre as variáveis independentes UR, Vv e T, em função do período do dia e do ano, sugerindo que estas variáveis podem ser responsáveis pela variação das variáveis dependentes analisadas, em especial a Ea, que apesar de não ter sido significativa a 5% foi a 5,5% de probabilidade.

TABELA 2. Resumo da análise de variância para umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), temperatura do ar (T), lâmina média (Lm), coef. de uniformidade (CUC), Eficiência de distribuição (Ed), eficiência de aplicação de água (Ea) e Eficiência de irrigação (Ei).

Causa de variação	UR	Vv	T	Lm	CUC	Ed	Ea	Ei
Repetição (M/T)	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Vel (50 e 100%)	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
Época	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS
Vel. X Época	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; NS - não significativo a 5% de probabilidade.

Os perfis médios de distribuição de água ao longo do pivô encontram-se na Figura 1. Analisando a aplicação de água do pivô central, pode-se observar que houve uma diferença entre a lâmina coletada no período da manhã com a lâmina coletada no período da tarde, nas três épocas. A Lâmina coletada no período da manhã tende a ser maior do que a coletada no

período da tarde. Esta diferença é devido a maior demanda evaporativa da atmosfera no período da tarde, o que causou maior perda por evaporação (Tabela 1).

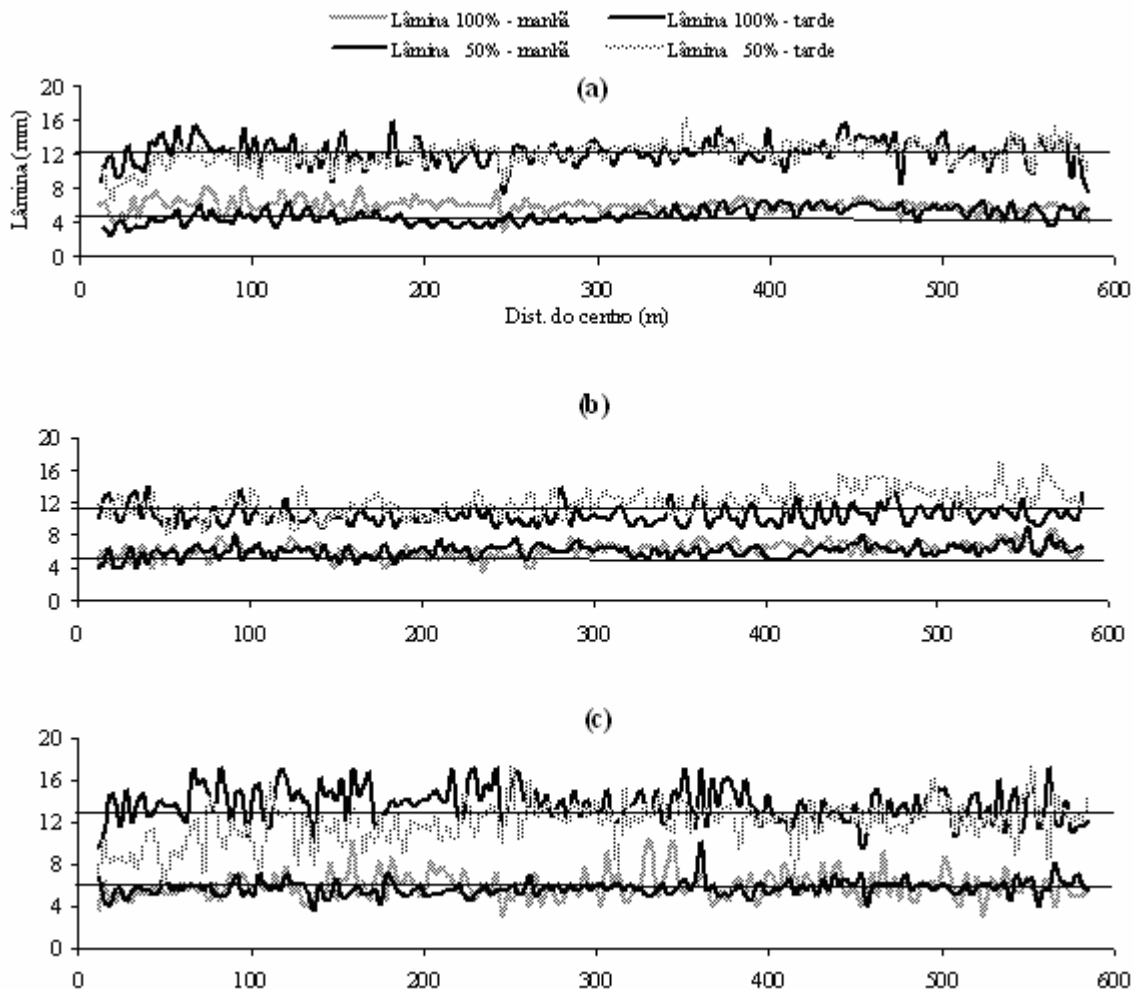


FIGURA 1. Distribuição da lâmina de água em três épocas: 12 e 13/08; 22 e 23/09; e 27 e 28/10/2005 (a), (b) e (c) em função de dois períodos do dia (manhã e tarde) e duas velocidades de deslocamento (50% e 100%) e lâmina média do pivô, observadas em Cristalina, GO.

Com o auxílio da Tabela 3, pode se observar que o equipamento estudado não apresentou nenhum problema de pressão de serviço ao longo da linha lateral. O último emissor posicionado no ponto crítico da linha lateral apresentou uma pressão de serviço adequada. Tal fato pode ter decorrido do dimensionamento adequado e do equipamento ser relativamente novo, com uso em apenas duas safras.

TABELA 3. Distância do centro, número de ordem e pressão de serviço dos emissores com o regulador e sem regulador de pressão ao longo da linha lateral do pivô.

Distância do centro (m)	Nº de ordem do emissor	Pressão c/ regulador (kPa)	Pressão s/ regulador (kPa)
11	5°	362,85	441,30
88	40°	343,23	402,07
275	125°	274,59	274,58
468,6	213°	196,13	205,94
588,1	267°	137,29	186,33

As frequências acumuladas das lâminas coletadas em função do período do dia, época do ano e velocidade de rotação estão resumidas na Figura 2. As menores frequências acumuladas foram observadas com a velocidade de deslocamento máxima do pivô e no período da tarde (Figuras 2a e 2b). As maiores frequências foram observadas na velocidade de deslocamento de 50% (Figuras 2c e 2d). Para uma melhor visualização das frequências com que as lâminas coletadas foram aplicadas na área irrigada, foi definida uma L_{80} que é a lâmina mínima coletada em 80% dos coletores. Para o pivô em sua velocidade máxima, a L_{80} na primeira, segunda e terceira épocas foram respectivamente 5,52, 5,53 e 5,03 mm no período da manhã e 4,10, 5,61 e 5,13 mm no período da tarde. Já a 50% da velocidade máxima de deslocamento do equipamento as L_{80} foram 11,01, 9,58 e 12,15 mm no período da manhã e 11,01, 10,90 e 10,49 mm para o período da tarde. Entretanto, somente no período da manhã é que foi observada uma nítida variação entre as três épocas estudadas, o que está em consonância com a interação entre velocidade de deslocamento e época do ano observada para as variáveis independentes UR e Vv (Tabela 2).

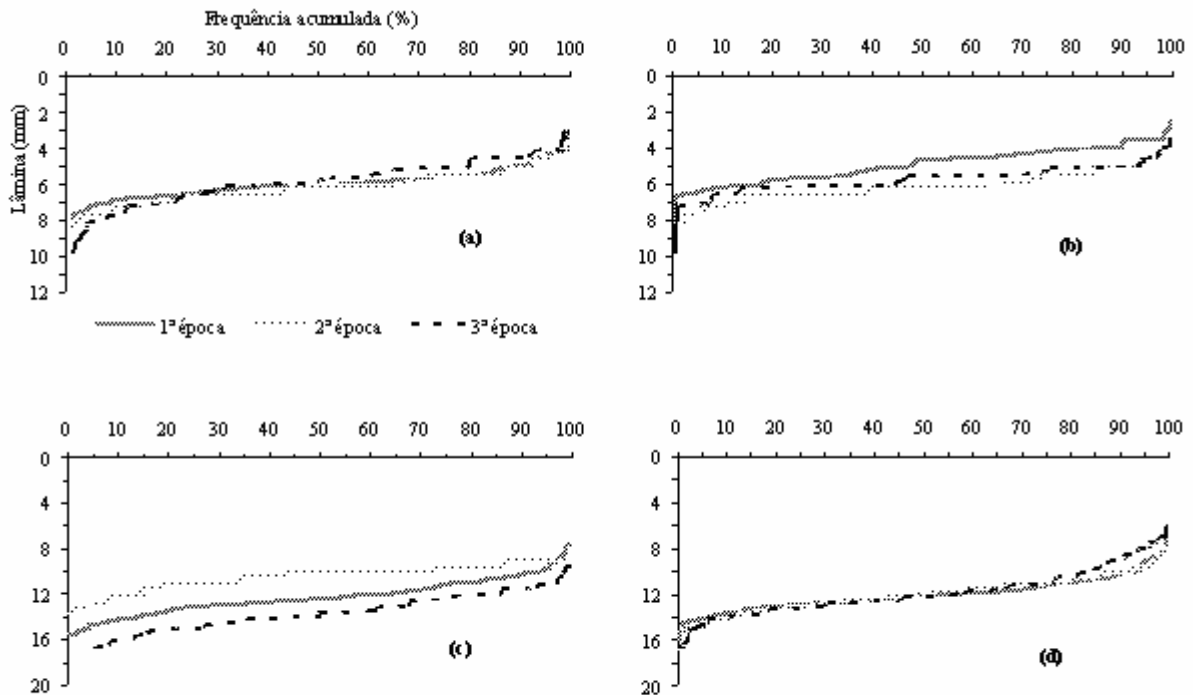


FIGURA 2. Frequências acumuladas da lâmina de água a 100% de velocidade de deslocamento, obtidas de manhã (a) e de tarde (b) e frequências acumuladas a 50% velocidade de deslocamento, obtidas de manhã (c) e tarde (d), em três épocas do ano.

Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) obtidos se situaram dentro do intervalo que Bernardo (1995) considera como bom, ou seja, de 80% a 90% (Tabela 1). Já que o CUC não foi afetado pelas variáveis climáticas independentes, tal fato pode estar relacionado com o espaçamento entre as bengalas ou difusores da linha lateral de 2,20 m, e não de 3,20 m, como eram projetados os pivôs anteriores. Isto provavelmente proporcionou uma melhor sobreposição dos jatos de água dos emissores, ocasionando uma melhor uniformidade de distribuição da lâmina aplicada.

Os valores da eficiência de aplicação e de irrigação também estão dentro do intervalo considerado adequado na literatura (Tabela 1).

Utilizando a análise de regressão múltipla para verificar a influência dos referidos parâmetros na eficiência de aplicação, verifica-se que existe 99,8% de probabilidade de que as

diferenças da eficiência de aplicação sejam explicadas pelas diferenças nos parâmetros climáticos mencionados (Tabela 4).

TABELA 4. Análise de variância da regressão múltipla para a variável dependente eficiência de aplicação de água em função das variáveis: velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar.

Causa da Variação	GL	SQ Total	SQM	F	Prob
Regressão	5	550,0498	110,0099	16,66	0,002**
Resíduo	6	39,6169	6,6028		
Total	11	589,6667			

** Altamente significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

Os coeficientes envolvendo as variáveis climáticas, o teste T de Student e a probabilidade (Tabela 5), possibilitaram concluir haver dupla e tríplex interação envolvendo a variável velocidade do vento. Apenas a dupla interação T x UR foi significativa em nível de probabilidade maior que 1% enquanto as demais foram em níveis menores que 1%.

TABELA 5. Valores dos coeficientes das variáveis independentes: velocidade do vento (Vv), temperatura (T) e Umidade relativa do ar (UR); do Teste T de Student e de probabilidade obtidos através da análise de regressão múltipla, para a variável dependente eficiência de aplicação.

Causa de Variação	Coef. da regressão	Valor T(Student)	Prob
Vv	$-6,429 \times 10^1$	-3,630	0,004**
Vv x UR	1,218	4,371	0,001**
Vv x T	2,363	4,088	0,002**
T x UR	$1,700 \times 10^{-2}$	2,750	0,019*
Vv x T x UR	$-5,446 \times 10^{-2}$	-5,170	0,000**

Intercepto = 77,519

Coefficiente de determinação (r^2) = 0,933

Assim foi possível estabelecer a equação de estimativa da Ea, em função das variáveis independentes, com r^2 igual a 0,93, sob a forma:

$$Ea = 77,519 - 64,29 Vv + 1,218 Vv UR + 2,363 Vv T + 1,700 \times 10^{-2} T UR - 5,446 \times 10^{-3} Vv T UR \quad 0,3 \leq Vv \leq 3,5, \quad 15,3 \leq T \leq 35, \quad 20 \leq UR \leq 71 \quad (8)$$

Este modelo apresenta problemas de multicolinearidade. Entretanto, a multicolinearidade não é um problema ou não afeta a variância do preditor, quando o objetivo

da análise de regressão é a de fazer inferências sobre a previsão de novas informações no intervalo abrangido pelas variáveis independentes (NETER & WASSERMAN, 1974; SOUZA, 1998), o que se deseja neste caso. O déficit de saturação do ar aumenta à medida que a temperatura do ar aumenta, mesmo para um valor de umidade relativa constante. Isto ajuda a explicar a manutenção destas variáveis no modelo estatístico apesar da multicolinearidade existente.

É importante realçar que este modelo não pode ser generalizado para outros tipos de equipamentos ou mesmo diferente espaçamento entre bengalas, tipo de defletor, pressão de operação do emissor, etc. Simulações usando o modelo com os dados observados por PINTO (2003) não forneceram resultados satisfatórios.

Com o auxílio dessa equação, foi construída a Tabela 6. Nela são apresentados os valores médios das eficiências de aplicação observadas e calculadas. Houve a tendência para subestimar os valores observados em relação aos calculados, a partir do valor da eficiência de aplicação maior que 76% (Tabela 1).

TABELA 6. Valores de Eficiência de aplicação observados e calculados usando a equação de regressão múltipla e respectivos resíduos para as duas velocidades de deslocamento do pivô.

Vel.pivô (%)	Período	Época	Ea observada	Ea calculada	Resíduo
100%	M	1	94	94	0,531
	T	1	77	78	-0,293
	M	2	97	93	3,905
	T	2	96	93	3,498
	M	3	93	95	-2,323
	T	3	90	93	-3,111
50%	M	1	89	89	-0,236
	T	1	87	87	0,137
	M	2	86	86	0,635
	T	2	76	76	0,566
	M	3	99	99	0,427
	T	3	86	86	-0,192

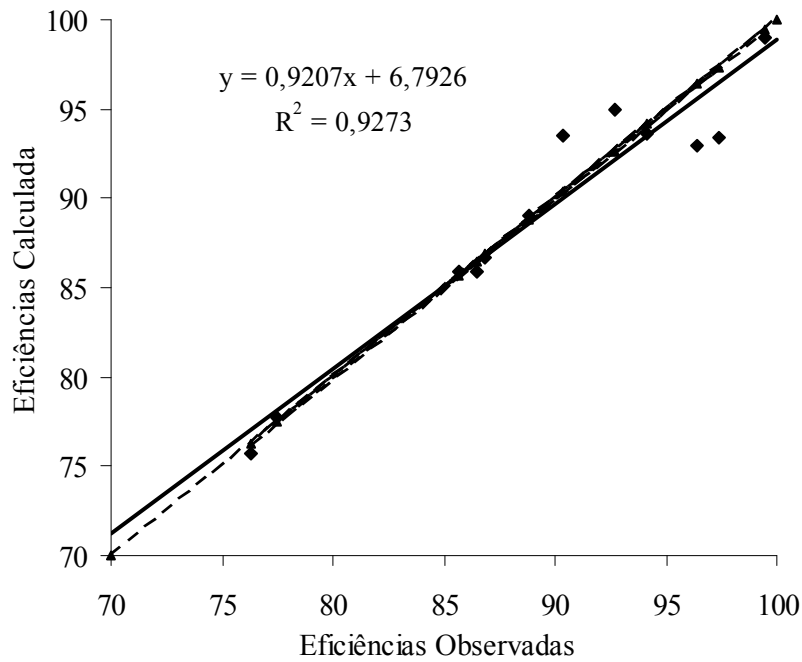


FIGURA 3. Dispersão entre valores das eficiências de aplicação de água observada e ajustada.

CONCLUSÕES

O equipamento de irrigação avaliado apresentou pressão adequada no final da linha lateral, conforme recomendado pelo fabricante e conseqüentemente a lâmina aplicada ficou dentro do valor projetado.

Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), E_a , E_d e E_i resultantes estão em sua maioria dentro dos valores que a literatura considera como aceitáveis

No modelo de regressão ajustado para estimar a eficiência de aplicação as variáveis independentes velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar influenciaram significativamente na estimativa da variável dependente, com destaque para a velocidade do vento isoladamente, em interação dupla e tríplice.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6. ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária., 1995. 657p.: il.
- BERNUTH, R.D.; GILLEY, J.R. *Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test data*. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 5, n.27, p. 1435-1441, 1984.
- COTRIM, C.E.; BERNARDO, S.; SEDIYAMA, G.C.; SOARES. A.A.; DENICULI, W. *Desempenho de um sistema de irrigação do tipo Pivô Central de baixa pressão*. Revista ITEM. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), Brasília-DF, nº 33 – junho 1989, p.21-30.
- DUKE, H.R.; HEERMANN, D.F.; DAWSON, L.J. *Appropriate depths of application for scheduling center pivot irrigations*. Transactions of the ASAE, v.35, n.5, p.1457-1464, 1992.
- FRIZZONE, J.A. *Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência*. Piracicaba: ESALQ, Dept. Eng. Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3.
- GENOVEZ, A.M. e BORRI GENOVEZ, A. *Uniformidade de distribuição e Eficiência da Aplicação em um sistema de Aspersão tipo Pivô Central*. In Memórias do XIV Congresso Latino Americano de Hidráulica. Associação Internacional de Investigações Hidráulicas (AIIH). Montevideo-Uruguai. 1990 Vol II p. 1021-1031.
- HEERMANN, D.F. & HEIN, P.R. *Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system*. Transactions of the ASAE, v.27, p.11-14,1968.
- HEINEMANN, A.B.; FRIZZONE, J.A.; PINTO, J.M.; FEITOSA FILHO, J.C. *Influencia da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema tipo pivô central*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.9 set, p.1487-1491, 1998.
- HEINEMANN, A.B.; FRIZZONE, J.A. *Custo da melhora da uniformidade de distribuição de água por um pivô central vs. Economia de energia*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA, 24., 1995, Viçosa Anais... Jaboticabal, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p. 189.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York, 1990. 280p.

LEME, E.J.A. *Avaliação da uniformidade e eficiência da irrigação dos modelos normal e linear*. Revista ITEM. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), Brasília-DF, nº 27, dezembro 1989, p.11-14.

MERRIAM, J.L.; KELLER, J. *Farm irrigation system evaluation: (a guide for management)*. 2. Ed. Logan, Utah State University, 1978. 652 p.

NETER, J.; WASSERMAN, W. *Applied linear statistical models*. Richard D. Irwin, Inc. Homewood, Illinois, 1974. 842p.

PENAFORTE, A.B.; SILVA, A.M.; FARIA, M.A.; LIME, L.A.; OLIVEIRA, M.S. *Análise de performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional, acima e abaixo da superfície do solo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus, Anais ...Ilhéus, 1993.

PINTO, J. M. *Influência de parâmetros climáticos e hidráulicos no desempenho da irrigação por aspersão, em um pivô central no oeste baiano*. 2003. 29p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Solo e Água) Universidade de Brasília, Brasília.

RING, L.; HEERMANN, J.F. *Determining center-pivot sprinkler uniformities*. Logan: USDA, 1978.n.p. (USDA. Paper, 78-2001).

SOUZA, G. S. *Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear*. Embrapa/SPI. Brasília, 1998. 505p.

ANEXOS

TABELA 2. Intervalos, intervalos médios, frequências (F) e frequências acumuladas (Fac) para as três épocas.

F Gêta					
100% manhã					
Intervalo	Média	Frequências	F%	Facumulada%	
795	810	802	3	1,7%	1,7%
779	795	787	0	0,0%	1,7%
765	779	772	0	0,0%	1,7%
750	765	757	3	1,7%	3,4%
736	750	743	2	1,1%	4,3%
722	736	729	1	0,8%	5,0%
708	722	715	1	0,8%	5,8%
695	708	701	6	3,3%	8,9%
681	695	688	1	0,8%	9,3%
668	681	675	8	4,4%	13,9%
656	668	662	14	7,8%	21,7%
643	656	649	6	3,3%	25,0%
631	643	637	7	3,9%	28,9%
619	631	625	9	5,0%	33,9%
607	619	613	10	5,8%	39,5%
596	607	601	25	13,9%	53,4%
584	596	590	11	6,1%	59,5%
573	584	579	11	6,1%	65,6%
562	573	568	7	3,9%	69,5%
552	562	557	7	3,9%	73,4%
541	552	546	16	8,9%	82,3%
531	541	536	4	2,2%	84,5%
521	531	526	1	0,8%	85,0%
511	521	516	1	0,8%	85,8%
501	511	506	2	1,1%	86,7%
492	501	496	9	5,0%	91,7%
482	492	487	0	0,0%	91,7%
473	482	478	2	1,1%	92,8%
464	473	469	0	0,0%	92,8%
455	464	460	0	0,0%	92,8%
447	455	451	3	1,7%	94,5%
438	447	442	2	1,1%	95,6%
430	438	434	0	0,0%	95,6%
422	430	426	1	0,8%	96,1%
414	422	418	2	1,1%	97,3%
406	414	410	2	1,1%	98,4%
398	406	402	2	1,1%	99,5%
390	398	394	0	0,0%	99,5%
383	390	387	0	0,0%	99,5%
376	383	379	0	0,0%	99,5%
369	376	372	0	0,0%	99,5%
361	369	365	0	0,0%	99,5%
355	361	358	0	0,0%	99,5%
348	355	351	0	0,0%	99,5%
341	348	345	0	0,0%	99,5%
335	341	338	0	0,0%	99,5%
328	335	332	0	0,0%	99,5%
322	328	325	0	0,0%	99,5%
316	322	319	0	0,0%	99,5%
310	316	313	1	0,8%	100,0%
		180	100,0%		

F Gêta					
100% tarde					
Intervalo	Média	Frequências	F%	Facumulada%	
877	900	889	1	0,8%	0,8%
855	877	866	0	0,0%	0,8%
833	855	844	0	0,0%	0,8%
812	833	823	0	0,0%	0,8%
792	812	802	0	0,0%	0,8%
772	792	782	0	0,0%	0,8%
752	772	762	0	0,0%	0,8%
733	752	743	0	0,0%	0,8%
715	733	724	0	0,0%	0,8%
697	715	706	0	0,0%	0,8%
679	697	688	0	0,0%	0,8%
662	679	670	0	0,0%	0,8%
645	662	653	7	3,9%	4,3%
629	645	637	4	2,2%	6,7%
613	629	621	7	3,9%	10,8%
597	613	605	14	7,8%	18,4%
582	597	590	0	0,0%	18,4%
568	582	575	8	4,4%	22,8%
553	568	560	21	11,7%	34,3%
539	553	546	3	1,7%	36,2%
526	539	532	4	2,2%	38,4%
512	526	519	4	2,2%	40,8%
499	512	506	14	7,8%	48,4%
487	499	493	0	0,0%	48,4%
474	487	480	1	0,8%	49,9%
462	474	468	2	1,1%	50,0%
451	462	456	22	12,2%	62,3%
439	451	445	9	5,0%	67,3%
428	439	434	5	2,8%	70,0%
417	428	423	10	5,8%	75,8%
407	417	412	4	2,2%	77,8%
396	407	402	22	12,2%	90,0%
386	396	391	0	0,0%	90,0%
377	386	382	0	0,0%	90,0%
367	377	372	0	0,0%	90,0%
358	367	362	1	0,8%	90,8%
349	358	353	14	7,8%	98,4%
340	349	344	0	0,0%	98,4%
331	340	336	0	0,0%	98,4%
323	331	327	0	0,0%	98,4%
315	323	319	0	0,0%	98,4%
307	315	311	1	0,8%	99,9%
299	307	303	1	0,8%	99,9%
292	299	295	0	0,0%	99,9%
284	292	288	0	0,0%	99,9%
277	284	281	0	0,0%	99,9%
270	277	273	0	0,0%	99,9%
263	270	267	0	0,0%	99,9%
256	263	260	0	0,0%	99,9%
250	256	253	1	0,8%	100,0%
		180	100,0%		

F Gêta					
50% manhã					
Intervalo	Média	Frequência	F%	Facumulada%	
15,57	15,80	15,68	1	0,6%	0,6%
15,34	15,57	15,45	2	1,1%	1,7%
15,11	15,34	15,22	2	1,1%	2,8%
14,89	15,11	15,00	3	1,7%	4,5%
14,67	14,89	14,78	0	0,0%	4,5%
14,45	14,67	14,56	6	3,3%	7,8%
14,23	14,45	14,34	2	1,1%	8,9%
14,02	14,23	14,13	8	4,4%	13,4%
13,82	14,02	13,92	3	1,7%	15,0%
13,61	13,82	13,71	6	3,3%	18,4%
13,4	13,61	13,51	3	1,7%	20,0%
13,21	13,4	13,31	3	1,7%	21,7%
13,02	13,21	13,12	8	4,4%	26,2%
12,82	13,02	12,92	14	7,8%	33,9%
12,64	12,82	12,73	11	6,1%	40,0%
12,45	12,64	12,54	13	7,2%	47,3%
12,26	12,45	12,36	12	6,7%	53,9%
12,08	12,26	12,17	6	3,3%	57,3%
11,90	12,08	11,99	13	7,2%	64,5%
11,73	11,90	11,82	5	2,8%	67,3%
11,55	11,73	11,64	6	3,3%	70,6%
11,38	11,55	11,47	4	2,2%	72,8%
11,22	11,38	11,30	2	1,1%	73,9%
11,05	11,22	11,13	3	1,7%	75,6%
10,89	11,05	10,97	11	6,1%	81,7%
10,72	10,89	10,81	2	1,1%	82,8%
10,57	10,72	10,65	4	2,2%	85,0%
10,4	10,57	10,49	7	3,9%	88,9%
10,26	10,4	10,33	2	1,1%	90,0%
10,10	10,26	10,18	1	0,6%	90,6%
9,95	10,10	10,03	7	3,9%	94,5%
9,81	9,95	9,88	1	0,6%	95,0%
9,66	9,81	9,73	1	0,6%	95,6%
9,52	9,66	9,59	0	0,0%	95,6%
9,38	9,52	9,45	0	0,0%	95,6%
9,24	9,38	9,31	1	0,6%	96,2%
9,10	9,24	9,17	2	1,1%	97,3%
8,97	9,10	9,04	0	0,0%	97,3%
8,84	8,97	8,90	0	0,0%	97,3%
8,71	8,84	8,77	2	1,1%	98,4%
8,58	8,71	8,64	0	0,0%	98,4%
8,45	8,58	8,51	1	0,6%	98,9%
8,32	8,45	8,39	0	0,0%	98,9%
8,20	8,32	8,26	0	0,0%	98,9%
8,08	8,20	8,14	0	0,0%	98,9%
7,96	8,08	8,02	0	0,0%	98,9%
7,84	7,96	7,90	0	0,0%	98,9%
7,73	7,84	7,78	0	0,0%	98,9%
7,61	7,73	7,67	1	0,6%	99,3%
7,50	7,61	7,56	1	0,6%	100,0%

180 100,0%

F Gêta					
50% tarde					
Intervalo	Média	Frequência	F%	Facumulada%	
15,72	16,00	15,86	1	0,6%	0,6%
15,44	15,72	15,58	0	0,0%	0,6%
15,17	15,44	15,31	0	0,0%	0,6%
14,91	15,17	15,04	1	0,6%	1,2%
14,64	14,91	14,77	0	0,0%	1,2%
14,39	14,64	14,52	0	0,0%	1,2%
14,13	14,39	14,26	5	2,8%	3,9%
13,89	14,13	14,01	4	2,2%	6,2%
13,64	13,89	13,76	5	2,8%	8,9%
13,40	13,64	13,52	8	4,4%	13,4%
13,17	13,40	13,29	1	0,6%	13,9%
12,94	13,17	13,05	14	7,8%	21,7%
12,71	12,94	12,82	14	7,8%	29,5%
12,49	12,71	12,60	19	10,6%	40,0%
12,27	12,49	12,38	4	2,2%	42,3%
12,05	12,27	12,16	12	6,7%	48,9%
11,84	12,05	11,95	20	11,1%	60,0%
11,63	11,84	11,74	15	8,3%	68,4%
11,48	11,63	11,53	7	3,9%	72,3%
11,23	11,48	11,33	3	1,7%	73,9%
11,08	11,23	11,13	5	2,8%	76,7%
10,84	11,08	10,93	10	5,6%	82,3%
10,65	10,84	10,74	5	2,8%	85,0%
10,46	10,65	10,55	7	3,9%	88,9%
10,28	10,46	10,37	1	0,6%	89,5%
10,10	10,28	10,19	2	1,1%	90,6%
9,92	10,10	10,01	6	3,3%	93,9%
9,74	9,92	9,83	0	0,0%	93,9%
9,57	9,74	9,66	0	0,0%	93,9%
9,4	9,57	9,49	1	0,6%	94,5%
9,24	9,4	9,32	1	0,6%	95,0%
9,08	9,24	9,16	1	0,6%	95,6%
8,92	9,08	9,00	2	1,1%	96,7%
8,76	8,92	8,84	0	0,0%	96,7%
8,61	8,76	8,69	1	0,6%	97,3%
8,46	8,61	8,53	1	0,6%	97,8%
8,31	8,46	8,38	1	0,6%	98,4%
8,16	8,31	8,24	2	1,1%	99,5%
8,02	8,16	8,09	0	0,0%	99,5%
7,88	8,02	7,95	0	0,0%	99,5%
7,74	7,88	7,81	0	0,0%	99,5%
7,60	7,74	7,67	0	0,0%	99,5%
7,47	7,60	7,54	0	0,0%	99,5%
7,34	7,47	7,41	0	0,0%	99,5%
7,21	7,34	7,28	0	0,0%	99,5%
7,08	7,21	7,15	0	0,0%	99,5%
6,96	7,08	7,02	0	0,0%	99,5%
6,84	6,96	6,90	0	0,0%	99,5%
6,72	6,84	6,78	0	0,0%	99,5%
6,60	6,72	6,66	1	0,6%	100,0%

180 100,0%

2ª Gêta					
100% manhã					
Intervalo	Média	Frequências	F%	Frequências	F%
830	830	843	3	1,7%	1,7%
820	835	828	0	0,0%	1,7%
805	820	813	0	0,0%	1,7%
792	806	799	3	1,7%	3,4%
778	792	785	0	0,0%	3,4%
764	778	771	0	0,0%	3,4%
751	764	757	11	6,1%	9,5%
738	751	744	0	0,0%	9,5%
725	738	731	0	0,0%	9,5%
712	725	718	3	1,7%	11,1%
699	712	706	18	10,0%	21,1%
687	699	693	0	0,0%	21,1%
675	687	681	3	1,7%	22,8%
663	675	669	0	0,0%	22,8%
651	663	657	34	18,9%	41,7%
640	651	646	2	1,1%	42,8%
629	640	634	1	0,6%	43,4%
618	629	623	2	1,1%	44,5%
607	618	612	1	0,6%	45,0%
596	607	601	39	21,7%	66,7%
586	596	591	1	0,6%	67,3%
575	586	580	2	1,1%	68,4%
565	575	570	0	0,0%	68,4%
555	565	560	0	0,0%	68,4%
545	555	550	33	18,3%	86,7%
536	545	541	0	0,0%	86,7%
526	536	531	1	0,6%	87,3%
517	526	522	0	0,0%	87,3%
508	517	513	0	0,0%	87,3%
499	508	504	10	5,6%	92,8%
490	499	495	0	0,0%	92,8%
482	490	486	0	0,0%	92,8%
473	482	477	0	0,0%	92,8%
465	473	469	0	0,0%	92,8%
457	465	461	0	0,0%	92,8%
449	457	453	7	3,9%	96,7%
441	449	445	0	0,0%	96,7%
433	441	437	0	0,0%	96,7%
425	433	429	0	0,0%	96,7%
418	425	422	0	0,0%	96,7%
411	418	414	0	0,0%	96,7%
403	411	407	0	0,0%	96,7%
396	403	400	5	2,8%	99,5%
389	396	393	0	0,0%	99,5%
382	389	386	0	0,0%	99,5%
376	382	379	0	0,0%	99,5%
369	376	372	0	0,0%	99,5%
363	369	366	0	0,0%	99,5%
356	363	359	0	0,0%	99,5%
350	356	353	1	0,6%	100,0%

180 100,0%

2ª Gêta					
100% tarde					
Intervalo	Média	Frequências	F%	Frequências	F%
836	900	893	1	0,6%	0,6%
871	886	878	0	0,0%	0,6%
857	871	864	0	0,0%	0,6%
848	857	850	0	0,0%	0,6%
830	848	837	0	0,0%	0,6%
817	830	823	0	0,0%	0,6%
808	817	810	3	1,7%	2,3%
790	808	797	0	0,0%	2,3%
778	790	784	0	0,0%	2,3%
765	778	772	0	0,0%	2,3%
753	765	759	7	3,9%	6,2%
744	753	747	0	0,0%	6,2%
729	744	735	0	0,0%	6,2%
717	729	723	0	0,0%	6,2%
706	717	711	15	8,3%	14,5%
694	706	700	0	0,0%	14,5%
683	694	689	0	0,0%	14,5%
672	683	678	0	0,0%	14,5%
661	672	667	0	0,0%	14,5%
651	661	656	46	25,0%	39,5%
640	651	646	0	0,0%	39,5%
630	640	635	0	0,0%	39,5%
620	630	625	0	0,0%	39,5%
610	620	615	0	0,0%	39,5%
600	610	605	57	31,7%	71,2%
590	600	595	0	0,0%	71,2%
581	590	586	0	0,0%	71,2%
572	581	576	0	0,0%	71,2%
562	572	567	0	0,0%	71,2%
553	562	558	24	13,3%	84,5%
544	553	549	0	0,0%	84,5%
536	544	540	0	0,0%	84,5%
527	536	531	0	0,0%	84,5%
519	527	523	0	0,0%	84,5%
510	519	514	0	0,0%	84,5%
502	510	506	18	10,0%	94,5%
494	502	498	0	0,0%	94,5%
486	494	490	0	0,0%	94,5%
478	486	482	0	0,0%	94,5%
470	478	474	0	0,0%	94,5%
463	470	467	0	0,0%	94,5%
455	463	459	0	0,0%	94,5%
448	455	452	6	3,3%	97,8%
441	448	444	0	0,0%	97,8%
434	441	437	0	0,0%	97,8%
427	434	430	0	0,0%	97,8%
420	427	423	0	0,0%	97,8%
413	420	417	0	0,0%	97,8%
407	413	410	0	0,0%	97,8%
400	407	403	4	2,2%	100,0%

180 100,0%

2ª Gênia					
50% manhã					
Intervalo	Média	Frequências	F%	Facumulada%	
1388	1400	1394	1	0,8%	0,8%
1375	1388	1382	1	0,8%	1,2%
1363	1375	1369	0	0,0%	1,2%
1351	1363	1357	0	0,0%	1,2%
1339	1351	1345	1	0,8%	1,7%
1328	1339	1334	1	0,8%	2,3%
1316	1328	1322	0	0,0%	2,3%
1304	1316	1310	0	0,0%	2,3%
1293	1304	1299	9	5,0%	7,3%
1282	1293	1287	0	0,0%	7,3%
1270	1282	1276	0	0,0%	7,3%
1259	1270	1265	0	0,0%	7,3%
1248	1259	1254	3	1,7%	8,9%
1237	1248	1248	0	0,0%	8,9%
1226	1237	1232	0	0,0%	8,9%
1215	1226	1221	0	0,0%	8,9%
1205	1215	1210	0	0,0%	8,9%
1194	1205	1199	11	6,1%	15,0%
1184	1194	1189	0	0,0%	15,0%
1173	1184	1178	1	0,8%	15,8%
1163	1173	1168	0	0,0%	15,8%
1153	1163	1158	0	0,0%	15,8%
1143	1153	1148	7	3,9%	19,3%
1132	1143	1137	0	0,0%	19,3%
1122	1132	1127	0	0,0%	19,3%
1113	1122	1118	0	0,0%	19,3%
1103	1113	1108	0	0,0%	19,3%
1093	1103	1098	26	14,4%	33,9%
1084	1093	1088	0	0,0%	33,9%
1074	1084	1079	2	1,1%	35,0%
1065	1074	1069	0	0,0%	35,0%
1055	1065	1060	0	0,0%	35,0%
1046	1055	1051	12	6,7%	41,7%
1037	1046	1041	0	0,0%	41,7%
1028	1037	1032	2	1,1%	42,8%
1019	1028	1023	2	1,1%	43,9%
1010	1019	1014	2	1,1%	45,0%
1001	1010	1005	30	27,8%	72,8%
992	1001	996	0	0,0%	72,8%
983	992	988	0	0,0%	72,8%
975	983	979	0	0,0%	72,8%
966	975	970	2	1,1%	73,9%
957	966	962	1	0,8%	74,3%
949	957	953	21	11,7%	86,2%
941	949	945	0	0,0%	86,2%
932	941	937	0	0,0%	86,2%
924	932	928	0	0,0%	86,2%
916	924	920	1	0,8%	86,7%
908	916	912	0	0,0%	86,7%
900	908	904	24	13,3%	100,0%

180 100,0%

2ª Gênia					
50% tarde					
Intervalo	Média	Frequências	F%	Facumulada%	
1675	1700	1687	1	0,8%	0,8%
1670	1675	1662	1	0,8%	1,2%
1625	1670	1637	0	0,0%	1,2%
1601	1625	1613	0	0,0%	1,2%
1577	1601	1589	0	0,0%	1,2%
1523	1577	1565	0	0,0%	1,2%
1520	1523	1514	0	0,0%	1,2%
1507	1520	1518	1	0,8%	1,7%
1484	1507	1496	7	3,9%	5,8%
1462	1484	1473	1	0,8%	6,2%
1440	1462	1451	1	0,8%	6,7%
1419	1440	1429	2	1,1%	7,8%
1397	1419	1408	5	2,8%	10,8%
1377	1397	1387	3	1,7%	12,3%
1356	1377	1366	1	0,8%	12,8%
1336	1356	1346	8	4,4%	17,3%
1316	1336	1326	5	2,8%	20,0%
1296	1316	1306	11	6,1%	26,2%
1277	1296	1286	7	3,9%	30,0%
1257	1277	1267	7	3,9%	33,9%
1239	1257	1248	11	6,1%	40,0%
1220	1239	1229	6	3,3%	43,4%
1202	1220	1211	15	8,3%	51,7%
1184	1202	1193	0	0,0%	51,7%
1166	1184	1175	4	2,2%	53,9%
1149	1166	1157	15	8,3%	62,3%
1132	1149	1140	3	1,7%	63,9%
1115	1132	1123	5	2,8%	66,7%
1098	1115	1106	19	10,6%	77,3%
1082	1098	1090	5	2,8%	80,0%
1065	1082	1073	1	0,8%	80,8%
1049	1065	1057	9	5,0%	85,8%
1034	1049	1040	0	0,0%	85,8%
1018	1034	1026	2	1,1%	86,7%
1003	1018	1011	10	5,6%	92,3%
988	1003	995	0	0,0%	92,3%
973	988	981	3	1,7%	93,9%
959	973	966	0	0,0%	93,9%
944	959	951	4	2,2%	96,2%
930	944	937	1	0,8%	96,7%
916	930	923	0	0,0%	96,7%
903	916	909	2	1,1%	97,8%
889	903	896	0	0,0%	97,8%
876	889	882	0	0,0%	97,8%
863	876	869	0	0,0%	97,8%
850	863	856	2	1,1%	98,9%
837	850	848	0	0,0%	98,9%
824	837	831	0	0,0%	98,9%
812	824	818	0	0,0%	98,9%
800	812	806	2	1,1%	100,0%

180 100,0%

3 Gêta					
100% manhã					
Intervalo	Média	Frequências	F%	Facumulada%	
9,76	10,00	988	3	1,7%	1,7%
9,53	9,76	965	0	0,0%	1,7%
9,30	9,53	942	1	0,8%	2,3%
9,08	9,30	919	0	0,0%	2,3%
8,87	9,08	897	2	1,1%	3,4%
8,65	8,87	876	0	0,0%	3,4%
8,45	8,65	855	2	1,1%	4,9%
8,25	8,45	835	0	0,0%	4,9%
8,05	8,25	815	0	0,0%	4,9%
7,86	8,05	796	7	3,9%	8,4%
7,67	7,86	777	0	0,0%	8,4%
7,49	7,67	758	6	3,3%	11,7%
7,31	7,49	740	1	0,8%	12,3%
7,14	7,31	723	1	0,8%	12,8%
6,97	7,14	705	16	8,9%	21,7%
6,80	6,97	689	1	0,8%	22,3%
6,64	6,80	672	0	0,0%	22,3%
6,48	6,64	656	9	5,0%	27,3%
6,33	6,48	641	2	1,1%	28,4%
6,18	6,33	625	5	2,8%	31,1%
6,03	6,18	610	2	1,1%	32,3%
5,89	6,03	596	25	13,9%	46,1%
5,75	5,89	582	7	3,9%	50,0%
5,61	5,75	568	4	2,2%	52,3%
5,48	5,61	554	15	8,3%	60,6%
5,35	5,48	541	1	0,8%	61,1%
5,22	5,35	528	7	3,9%	65,0%
5,10	5,22	516	1	0,8%	65,8%
4,97	5,10	503	26	14,4%	80,0%
4,86	4,97	492	0	0,0%	80,0%
4,74	4,86	480	0	0,0%	80,0%
4,63	4,74	468	0	0,0%	80,0%
4,52	4,63	457	0	0,0%	80,0%
4,41	4,52	446	21	11,7%	91,7%
4,31	4,41	436	1	0,8%	92,3%
4,20	4,31	425	1	0,8%	92,8%
4,10	4,20	415	0	0,0%	92,8%
4,01	4,10	405	10	5,8%	98,4%
3,91	4,01	396	0	0,0%	98,4%
3,82	3,91	386	0	0,0%	98,4%
3,73	3,82	377	0	0,0%	98,4%
3,64	3,73	368	0	0,0%	98,4%
3,55	3,64	359	0	0,0%	98,4%
3,47	3,55	351	1	0,8%	98,9%
3,38	3,47	343	0	0,0%	98,9%
3,30	3,38	334	0	0,0%	98,9%
3,22	3,30	326	0	0,0%	98,9%
3,15	3,22	319	0	0,0%	98,9%
3,07	3,15	311	0	0,0%	98,9%
3,00	3,07	304	2	1,1%	100,0%

180 100,0%

3 Gêta					
100% tarde					
Intervalo	Média	Frequências	F%	Facumulada%	
9,79	10,00	990	1	0,8%	0,8%
9,59	9,79	969	0	0,0%	0,8%
9,39	9,59	949	0	0,0%	0,8%
9,19	9,39	929	0	0,0%	0,8%
9,00	9,19	910	0	0,0%	0,8%
8,82	9,00	891	0	0,0%	0,8%
8,63	8,82	872	0	0,0%	0,8%
8,45	8,63	854	0	0,0%	0,8%
8,28	8,45	837	0	0,0%	0,8%
8,11	8,28	819	1	0,8%	1,2%
7,94	8,11	802	0	0,0%	1,2%
7,77	7,94	786	0	0,0%	1,2%
7,61	7,77	769	0	0,0%	1,2%
7,45	7,61	753	0	0,0%	1,2%
7,30	7,45	738	0	0,0%	1,2%
7,15	7,30	722	0	0,0%	1,2%
7,00	7,15	707	12	6,7%	7,8%
6,85	7,00	693	0	0,0%	7,8%
6,71	6,85	678	0	0,0%	7,8%
6,57	6,71	664	0	0,0%	7,8%
6,48	6,57	650	10	5,8%	13,4%
6,30	6,48	637	0	0,0%	13,4%
6,17	6,30	624	0	0,0%	13,4%
6,04	6,17	611	56	31,1%	44,9%
5,92	6,04	598	0	0,0%	44,9%
5,79	5,92	585	3	1,7%	46,2%
5,67	5,79	573	1	0,8%	46,7%
5,55	5,67	561	1	0,8%	47,3%
5,44	5,55	550	48	26,7%	73,9%
5,33	5,44	538	0	0,0%	73,9%
5,22	5,33	527	3	1,7%	75,8%
5,11	5,22	516	0	0,0%	75,8%
5,00	5,11	505	32	17,8%	93,4%
4,90	5,00	495	0	0,0%	93,4%
4,80	4,90	485	1	0,8%	93,9%
4,70	4,80	475	0	0,0%	93,9%
4,60	4,70	465	1	0,8%	94,9%
4,50	4,60	455	5	2,8%	97,3%
4,41	4,50	446	0	0,0%	97,3%
4,32	4,41	436	0	0,0%	97,3%
4,23	4,32	427	0	0,0%	97,3%
4,14	4,23	418	1	0,8%	97,8%
4,05	4,14	410	0	0,0%	97,8%
3,97	4,05	401	3	1,7%	99,3%
3,89	3,97	393	0	0,0%	99,3%
3,81	3,89	385	0	0,0%	99,3%
3,73	3,81	377	0	0,0%	99,3%
3,65	3,73	369	0	0,0%	99,3%
3,57	3,65	361	0	0,0%	99,3%
3,50	3,57	354	1	0,8%	100,0%

180 100,0%

3 Gêta					
50% total					
Intervalo	Méda	Freqüéncia	F%	Acumulado%	
1680	1700	1690	10	5,6%	5,6%
1661	1680	1671	0	0,0%	5,6%
1642	1661	1651	5	2,8%	8,4%
1623	1642	1632	0	0,0%	8,4%
1604	1623	1613	0	0,0%	8,4%
1585	1604	1595	9	5,0%	13,4%
1567	1585	1576	0	0,0%	13,4%
1549	1567	1538	5	2,8%	16,2%
1531	1549	1540	0	0,0%	16,2%
1513	1531	1522	0	0,0%	16,2%
1496	1513	1504	20	11,1%	27,3%
1478	1496	1487	0	0,0%	27,3%
1461	1478	1470	0	0,0%	27,3%
1444	1461	1453	15	8,3%	35,6%
1428	1444	1436	0	0,0%	35,6%
1411	1428	1419	0	0,0%	35,6%
1395	1411	1403	26	14,4%	50,0%
1379	1395	1387	0	0,0%	50,0%
1363	1379	1371	0	0,0%	50,0%
1347	1363	1355	20	11,1%	61,2%
1331	1347	1339	0	0,0%	61,2%
1316	1331	1324	0	0,0%	61,2%
1301	1316	1308	12	6,7%	67,9%
1286	1301	1293	0	0,0%	67,9%
1271	1286	1278	0	0,0%	67,9%
1256	1271	1263	0	0,0%	67,9%
1242	1256	1249	16	8,9%	76,7%
1227	1242	1234	0	0,0%	76,7%
1213	1227	1220	0	0,0%	76,7%
1199	1213	1206	17	9,4%	86,2%
1185	1199	1192	0	0,0%	86,2%
1171	1185	1178	0	0,0%	86,2%
1158	1171	1165	0	0,0%	86,2%
1144	1158	1151	13	7,2%	93,4%
1131	1144	1138	0	0,0%	93,4%
1118	1131	1125	0	0,0%	93,4%
1105	1118	1112	7	3,9%	97,3%
1092	1105	1099	0	0,0%	97,3%
1080	1092	1086	0	0,0%	97,3%
1067	1080	1074	0	0,0%	97,3%
1055	1067	1061	0	0,0%	97,3%
1048	1055	1049	2	1,1%	98,4%
1031	1048	1037	0	0,0%	98,4%
1019	1031	1025	0	0,0%	98,4%
1007	1019	1013	0	0,0%	98,4%
995	1007	1001	1	0,6%	98,9%
984	995	990	0	0,0%	98,9%
972	984	978	0	0,0%	98,9%
961	972	967	0	0,0%	98,9%
950	961	956	2	1,1%	100,0%

180 100,0%

3 Gêta					
50% total					
Intervalo	Méda	Freqüéncia	F%	Acumulado%	
1665	1700	1682	2	1,1%	1,1%
1631	1665	1648	0	0,0%	1,1%
1597	1631	1614	2	1,1%	2,2%
1564	1597	1581	0	0,0%	2,2%
1532	1564	1548	1	0,6%	2,8%
1500	1532	1516	0	0,0%	2,8%
1469	1500	1485	3	1,7%	4,4%
1439	1469	1454	3	1,7%	6,1%
1409	1439	1424	0	0,0%	6,1%
1380	1409	1395	8	4,4%	10,5%
1352	1380	1366	15	8,3%	18,9%
1324	1352	1338	0	0,0%	18,9%
1297	1324	1310	20	11,1%	30,0%
1270	1297	1283	1	0,6%	31,5%
1244	1270	1257	26	14,4%	45,9%
1218	1244	1231	2	1,1%	47,1%
1193	1218	1205	23	12,8%	60,0%
1168	1193	1181	0	0,0%	60,0%
1144	1168	1155	14	7,8%	67,7%
1121	1144	1133	1	0,6%	68,3%
1098	1121	1109	17	9,4%	77,7%
1075	1098	1086	0	0,0%	77,7%
1053	1075	1064	0	0,0%	77,7%
1031	1053	1042	9	5,0%	82,7%
1010	1031	1021	0	0,0%	82,7%
989	1010	1000	6	3,3%	86,0%
969	989	979	0	0,0%	86,0%
949	969	959	5	2,8%	88,8%
929	949	939	0	0,0%	88,8%
910	929	920	0	0,0%	88,8%
891	910	901	6	3,3%	92,1%
873	891	882	0	0,0%	92,1%
855	873	864	0	0,0%	92,1%
837	855	846	5	2,8%	94,9%
820	837	829	0	0,0%	94,9%
803	820	812	0	0,0%	94,9%
787	803	795	4	2,2%	97,1%
770	787	778	0	0,0%	97,1%
754	770	762	0	0,0%	97,1%
739	754	747	3	1,7%	98,8%
724	739	731	0	0,0%	98,8%
709	724	716	0	0,0%	98,8%
694	709	701	3	1,7%	100,5%
680	694	687	0	0,0%	100,5%
666	680	673	0	0,0%	100,5%
652	666	659	0	0,0%	100,5%
639	652	645	0	0,0%	100,5%
626	639	632	0	0,0%	100,5%
613	626	619	0	0,0%	100,5%
600	613	606	1	0,6%	100,5%

180 100,0%