

AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
POR PIVÔ CENTRAL DE BAIXA PRESSÃO

LINDOMAR LEITÃO DE ASSIS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE
MESTRADO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - ABRIL DE 1990

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Mestre em Agronomia com área de Concentração em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se a disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho dessa Dissertação é permitida, desde que seja feito de conformidade com as normas da ética científica.

Lindomar Leitão de Assis

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 27, 12, 89.

Prof. Paulo Teodoro de Castro - M. S.
Orientador da Dissertação

Prof. Luis Carlos Uchôa Saunders - Doutor
Conselheiro

Prof. Moisés C. Saraiva Leão - Ph. D.
Conselheiro

Aos meus pais, José Amaro e Antonia Leitão,
pelo elevado grau de interesse em transmitir
aos filhos honestidade e oferecer condições
de educação,

MEU RECONHECIMENTO.

À minha esposa Mirian e aos filhos Ronnei,
Larissa e Lívia, que foram privados do meu
convívio familiar e de horas de lazer, em
detrimento de aceitarem sem resignação, as
minhas atividades acadêmicas,

DEDICO ESTE TRABALHO.

Por mais que fores vítima da injustiça humana, nunca
desvanças da vida, nem deixes de crer na dignidade e na
paz entre os homens.

(o autor)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter-me dado força suficiente para cumprir todas as dificuldades durante a travessia do curso de mestrado.

À Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF - pela valiosa oportunidade concedida para a participação deste curso.

Ao professor Paulo Teodoro de Castro, pelo elevado espírito democrático e compreensão na conduta de orientação deste trabalho.

Ao prof. Moisés C. Saraiva Leão, pelas orientações durante o curso e sugestões apresentadas a este trabalho.

Ao prof. Luis Carlos Uchôa Saunders, pelas excelentes aulas ministradas no curso e sugestões neste trabalho.

Ao prof. Francisco de Souza, pela ajuda financeira e de pessoal para a realização do trabalho de campo.

Ao Dr. Antônio Martins da Costa, da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, que muito possibilitou a execução do trabalho de campo.

Ao convênio PRONI/CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Caju - EMBRAPA, pela impressão deste trabalho.

Aos colegas do curso, que na batalha diária sofreram as intempérias da dificuldade e conseguiram superá-las com altivez.

Aos demais professores do CMID e ao Eng. Agro. Ivan Martins, meus agradecimentos sinceros.

SUMÁRIO

	página
LISIA DE TABELAS	ix
LISIA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1 - INTRODUÇÃO	01
2- REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 - Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão	04
2.2 - Fatores que influenciam a performance de um sistema de irrigação por aspersão	08
2.2.1 - Influências dos fatores climáticos	09
2.2.2 - Influências dos fatores não climáticos	12
2.3 - Parâmetros usados na avaliação de um pivô cen- tral	20
2.3.1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)	21
2.3.2 - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)	25
2.3.3 - Eficiência de Aplicação Potencial(EAP)	27
2.3.4 - Déficit de Umidade do Solo(DUS)	28
3 - MATERIAL E MÉTODOS	30

	página
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	67
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
7 - ANEXOS	73

LISTA DE TABELAS

TABELA		página
1	Especificações técnicas do pivô	31
2	Características do motor elétrico e da bomba centrífuga	32
3a	Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem de velocidade em 100% - TESTE Nº 01.....	46
3b	Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem de velocidade em 100% - TESTE Nº 03	46
4a	Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem de velocidade em 80% - TESTE Nº 02	47
4b	Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem de velocidade em 80% - TESTE Nº 04	47

5	Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e da média cíclica para regulagem de velocidade em 100 e 80%	48
6	Declividade e diferença de nível em cada raio	48
7	Influência dos fatores climáticos sobre os resultados do CUC, CUD e EAP em cada raio - TESTE Nº 01	51
8	Influência dos fatores climáticos sobre os resultados do CUC, CUD e EAP em cada raio - TESTE Nº 03	51
9	Influência dos fatores climáticos sobre os resultados do CUC, CUD e EAP em cada raio - TESTE Nº 02	52
10	Influência dos fatores climáticos sobre os resultados do CUC, CUD e EAP em cada raio - TESTE Nº 04	52
11	Influência dos fatores climáticos sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e da média cíclica para regulagem de velocidade em 100 e 80%	58
12	Ação da regulagem da velocidade do pivô sobre a lâmina média coletada, lâmina média aplicada e velocidade de rotação da última torre para o sistema	58

13	Lâmina média e do quarto inferior e taxa de evaporação para cada raio durante os testes	59
14	Parâmetros hidráulicos determinados em cada teste de acordo com a regulagem da velocidade do sistema	62
15	Potencial matricial máximo e mínimo da água do solo medido pelos tensiômetros instalados sob o 3º, 6º e 9º vão da linha radial Nº 2	74
16	Conteúdo d'água máximo e mínimo obtido segundo as curvas características para cada camada de solo	74
17	Déficit de umidade do solo antes do reinício da irrigação	74
18	Raio e tempo de molhamento na extremidade para cada raio durante os testes	75
19	Precipitação coletada ao longo da lateral durante o TESTE Nº 01	77
20	Precipitação coletada ao longo da lateral durante o TESTE Nº 02	80
21	Precipitação coletada ao longo da lateral durante o TESTE Nº 03	83
22	Precipitação coletada ao longo da lateral durante o TESTE Nº 04	86
23	Dados do Kit de aspersão da lateral fornecidos pelo fabricante	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		página
1	Disposição dos raios e coletores pluviométricos no campo	34
2	Disposição de fixação dos coletores pluviométricos no campo	35
3	Curva característica da água de um latossolo vermelho-escuro textura arenosa/média (profundidade 0 - 30cm)	42
4	Curva característica da água de um latossolo vermelho-escuro textura arenosa/média (profundidade 30 - 60cm)	43
5	Perfil da lâmina média coletada do sistema no TESTE Nº 01 - com velocidade de operação 100%	63
6	Perfil da lâmina média coletada do sistema no TESTE Nº 02 - com velocidade de operação 80%	64
7	Perfil da lâmina média coletada do sistema no TESTE Nº 03 - com velocidade de operação 100%	65
8	Perfil da lâmina média coletada do sistema no TESTE Nº 04 - com velocidade de operação 80%	66

R E S U M O

O trabalho foi realizado numa área de propriedade da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, situada no município de Crateús, tendo como objetivo geral testar a metodologia de avaliação de sistema de pivô central proposta por MERRIAM & KELLER (1978). Como objetivos específicos observar a influência que os fatores climáticos e não-climáticos exercem sobre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Eficiência de Aplicação Potencial (EAP) e Déficit de Umidade do Solo (DUS), parâmetros indicadores da qualidade de irrigação, e avaliar um sistema de irrigação por pivô central, utilizando-se a metodologia recomendada por MERRIAM & KELLER (1978).

Os parâmetros de uniformidade foram determinados para o sistema em quatro testes, operando com velocidades de rotação de 100 a 80%, calculados por 2 modelos distintos. Os resultados do CUC variaram de 87,81 a 91,04%, do CUD de 80,70 a 89,64 % e da EAP de 70,82 a 81,25 %.

Os resultados obtidos para o CUC, superiores a 80%, indicam que o sistema apresenta boa performance de irrigação; o CUD mostrou-se aceitável, apesar de existir mau funcionamento dos sprays, causado pela carência de manutenção e pressão inadequada dos bocais. Quanto EAP apareceu em

alguns testes valores abaixo do CUD, sugerindo ter ocorrido perdas razoáveis por evaporação, causada pela baixa umidade relativa, altas taxas de velocidade de vento e de temperatura ambiente. O DUS apresentou uma lâmina d'água no perfil do solo suficiente para não provocar estresse hídrico à cultura, pois esteve sempre próximo ou mesmo superior da capacidade de campo.

ABSTRACT

The present work was carried out in an area located at Crateus county, State of Ceará (Brazil), belonging to the Governmental Water Resources Office.

The experiment had as general objective to teste the methodology for evaluation of center pivot irrigation systems developed by MERRIAM & KELLER (1978). Two other specific objectives were also pursued: to observe the influence of climatic and nonclimatic factors upon the following parameters of irrigation - Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), Distribution Uniformity (DU), Potential Application Efficiency of Low Quarter (PELQ) and Soil Moisture Deficit (SMD), and to assess a pivot sprinkler irrigation system using the model proposed by MERRIAM & KELLER (1978).

The uniformity parameters of the center pivot sprinkler irrigation system were determined after four field tests, with the system operating at 80% and 100% of the spinning velocity, calculated through two different models. The CUC results presented variations from 87,81% to 91,04%, the DU from 80,70% to 89,64% and the PELQ from 70,82% to 81,25%.

The CUC results higher than 80% revealed that the center pivot sprinkler irrigation system had a good performance, while DU results for the same level were just acceptable. There was, however, malfunctioning of the sprinklers caused probably by the poor maintenance and inadequate pressure. The PELQ results for some tests were lower compared to DU. These differences may have occurred due to evaporation losses caused by high relative humidity, temperature and wind velocity. The SMD was able to offer suitable conditions to the crop without water stress since the soil moisture was always near field capacity.

1 - INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão constitui-se um método de aplicação de água ao solo por meio de chuva artificial, devido ao fracionamento do jato d'água em pequenas gotas. Foi desenvolvido desde a 2ª guerra mundial com o advento do aspersor rotativo e da disponibilidade da tubulação de alumínio.

Os sistemas de irrigação por aspersão mecanizada surgiram visando à obtenção de maior eficiência e redução da mão-de-obra. Dentre estes tem-se como o mais comum o pivô central, o qual foi concebido nos Estados Unidos por Frank Zybach, tendo sido patenteado em Julho de 1952, com o nome de "aparelho de irrigação por aspersão auto-propelido Zybach".

No pivô central, os aspersores são fixados na linha lateral, suportada longitudinalmente por uma série de torres dotadas de roda, movendo-se continuamente em forma circular em torno de um ponto fixo, chamado ponto do pivô, enquanto fazem a aplicação da água ao solo.

SPLINTER (1976) afirmou que o sistema de pivô central se tornou rapidamente difundido nos Estados Unidos e no mundo por ter afetado a agricultura em quatro aspectos diferentes: possibilitou a irrigação de grandes áreas automaticamente;

permitiu o uso de fertilizantes e herbicidas na linha lateral, dentro de uma extrema utilização pelas culturas; controle da frequência e taxa de aplicação e ajusta-se a terrenos com topografia acidentada e solos arenosos.

A irrigação pressurizada no Brasil teve início nos anos 50, na região Centro-Sul, notadamente em São Paulo e hoje responde por 50% da área total irrigada no país, a qual é da ordem de 2.250.000 ha, e representa apenas 4% da sua área total cultivada.

No Brasil a técnica da irrigação por pivô central difundiu-se no início dos anos 80, como um sistema mais eficiente no uso de água, energia e mão-de-obra que a aspersão convencional e apropriado para médias e grandes áreas.

Em outubro de 1988 operavam cerca de 2.900 equipamentos de pivô central numa área de 230.000 ha. Constata-se, portanto, representar mais de 10% de toda a superfície irrigada no país e tratar-se de uma nova tecnologia na agricultura irrigada brasileira, a qual vem ganhando sucessivos incrementos de áreas na iniciativa pública e privada. Diante desta expansão e da necessidade de melhorar o manejo e o planejamento desse tipo de irrigação, é imperioso que sejam realizados estudos mais profundos, a nível de testes em campo, sobre o comportamento desse sistema com vistas a determinar a qualidade da irrigação, sua aplicabilidade às condições de clima, solo,

topografia e culturas e fornecer subsídios aos usuários e fabricantes sobre o seu uso.

O presente trabalho tem como escopo geral testar a metodologia de avaliação de sistema de irrigação por pivô central proposta por MERRIAM & KELLER (1978). Como objetivos específicos observar a ação que os fatores climáticos e não climáticos exercem sobre os resultados dos parâmetros de qualidade da irrigação, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Eficiência de Aplicação Potencial (EAP) e o Déficit de Umidade do Solo (DUS) e avaliar um sistema de irrigação por pivô central utilizando-se a metodologia recomendada por MERRIAM & KELLER (1978).

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão

O pivô central constitui-se num dos tipos de irrigação por aspersão e, no momento atual, se difunde amplamente em todo o Brasil, demandando, assim, extrema necessidade de se avaliar os dados técnicos fornecidos pelos fabricantes através de medições em testes de campo e identificar causas que possam alterar a operação e manejo do sistema.

Segundo SHEFFIELD (1981) o pivô central foi alvo de melhoramento pela indústria ao longo dos anos. Entre os primeiros citam-se: variação da velocidade de rotação, de modo que se pudesse aplicar diferente quantidade de água; uso de canhão no fim da lateral; interruptores que paralisavam o sistema em caso de perda de pressão ou desalinhamento de torre; uso de fertilizantes e defensivos na água distribuída pelos aspersores com maior eficiência que outros métodos. Em 1959, a indústria introduziu o motor elétrico. Em 1960 os sistemas foram automatizados, com programação da linha de suprimento d'água e válvulas operadas eletricamente e, em 1961, usado pneus de borracha

nas rodas.

Para MERRIAM & KELLER (1978) a avaliação de um sistema de irrigação deve basear-se nas medições de campo, sob condições naturais e práticas usadas convencionalmente. É uma técnica que foi projetada para avaliar a operação, o manejo e determinação do potencial existente, visando obter-se uma operação eficiente e mais econômica. A avaliação é necessária para direcionar o manejo e oferecer condições de decisão sobre a continuação das práticas existentes ou aperfeiçoá-las. Este estudo deve medir e mostrar a eficiência destas práticas, indicar se melhoramentos podem ser feitos e proporcionar à gerência selecionar possíveis modificações, que podem ser de ordem prática e econômica.

Segundo ainda os autores acima, a avaliação de um sistema de irrigação pode ser simples ou completa. A simples é realizada com uso de equipamentos modestos e identifica razoavelmente problemas básicos ou erros de elaboração, operação e manejo do sistema, enquanto a completa mostra problemas existentes e indica alternativas que podem ser aplicadas para a correção do projeto elaborado.

O melhoramento no manejo de água a nível parcelar proporciona economia de água e trabalho, conserva o solo e ainda aumenta a produtividade das culturas.

HEERMANN & HEIN (1968) afirmaram que a eficiência de um equipamento de pivô central pode ser avaliada segundo um roteiro estabelecido, tal como o recomendado pela "American

Society of Agricultural Engineers" - ASAE (1977), o qual deve cobrir exigências mínimas para elaboração, instalação e performance do equipamento de irrigação. As exigências são de que a taxa de aplicação não deva causar runoff durante a operação normal do sistema e que seja alcançada uniformidade de distribuição da lâmina aplicada. Na prática, esta é obtida limitando a perda de pressão na lateral em 20% da máxima. Excessiva diferença de pressão pode causar considerável desuniformidade na aplicação. A uniformidade de aplicação da lâmina de água não é função somente da pressão de distribuição, sendo também regulada pelo aumento no diâmetro dos bocais e descarga, proporcionalmente, para aumentar a área de molhamento à medida que a distância radial cresce do ponto do pivô.

Segundo RING & HEERMANN (1978) vários autores têm realizado avaliações por outros métodos, como PAIR em 1973, MERRIAM et alii também em 1973, além de eles mesmos terem sugerido sua própria metodologia.

A metodologia de avaliação proposta neste trabalho foi a de MERRIAM & KELLER (1978), a qual recomenda, para um sistema de irrigação por pivô central, o seguinte procedimento:

- em campo sem cultivo ou com culturas em crescimento, o sistema deve ser testado, quando a lateral estiver numa posição onde as diferenças de nível sejam mínimas; em campos com cultura de elevado porte, como o milho, o

sistema deve ser testado onde a lateral cruzar a estrada de acesso ao pivô;

- os coletores pluviométricos devem ser instalados ao longo de uma linha radial, começando do ponto do pivô, com um espaçamento não inferior a 9,0m e, preferencialmente, de 4,5 a 6,0 m, sendo que obviamente os mesmos não devem ser instalados nos caminhos percorridos pelas rodas de cada torre;
- estimar a vazão total do sistema;
- medir a lâmina (ou volume) d'água captada pelos coletores, com rapidez;
- medir a velocidade de rotação da última torre;
- determinar o tempo de revolução completa do equipamento;
- medir o comprimento da linha lateral até a última torre e o raio do campo circular irrigado;
- determinar a área total irrigada;
- medir a largura da faixa irrigada perpendicular à lateral e o tempo de coleta da água realizados pelo último spray na extremidade do equipamento;
- determinar a diferença de nível entre o ponto do pivô e o ponto mais baixo e/ou mais alto do campo e ao longo da lateral nas linhas radiais instaladas com os coletores;
- determinar as condições climáticas:
 - direção e velocidade do vento;
 - umidade relativa do ar;
 - temperatura do ar;

- evaporação no momento da coleta das lâminas precipitadas;
- indicar as condições da cultura;
- tomar a pressão de operação no ponto de pivô e sprays finais e diâmetro dos bocais dos últimos sprays;
- tomar do equipamento em teste, os dados fornecidos pelo fabricante.

2.2 - Fatores que influenciam a performance de um sistema de irrigação por aspersão

A performance de um sistema de irrigação envolve basicamente a determinação dos parâmetros de uniformidade e eficiência, sendo estes bastante influenciados por variáveis do próprio sistema; por características do solo, como topografia, capacidade de absorção de água, taxa de infiltração, etc, e por fatores climáticos incontroláveis como evaporação, velocidade e direção do vento, umidade relativa e temperatura do ar.

SOLOMON (1978) considerou seis variáveis que mais influenciam a uniformidade de irrigação por aspersão: fabricante do aspersor; tamanho e tipo de bocal; pressão e espaçamento dos aspersores e velocidade do vento. Entretanto, para condições de teste em que estes fatores são iguais ou bem próximos, outros afetam o resultado do coeficiente de uniformidade. Estes fatores são a incerteza do método experimental e as condições climáticas como

direção do vento, variabilidade na direção e velocidade do vento e demanda evaporativa do ar durante o teste.

KRANZ (1986) afirmou que, em verdadeiro sentido, a uniformidade de aplicação para o pivô central envolve a distribuição de água do sistema no campo e o destino da mesma aplicada ao solo.

Para RING & HEERMANN (1978) a uniformidade de aplicação da água é uma característica que pode ser usada para comparar sistemas. Uniformidade pobre resulta num excesso e/ou sub-irrigação dentro de uma mesma área cultivada. Assim, um sistema de baixa uniformidade - para obter os mesmos rendimentos culturais - deve aumentar a distribuição d'água. Grande número de equipamentos de pivô central fazem aplicações de produtos químicos, sendo que neste caso as áreas com baixa uniformidade recebem uma excessiva aplicação, produzindo efeitos danosos à cultura.

2.2.1 - Influências dos fatores climáticos

A velocidade e direção do vento, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar são os principais fatores climáticos que afetam a qualidade da irrigação de um sistema pressurizado.

OLITTA (1987) afirmou que o vento influencia a distribuição de água pelo aspersor, provocando uma distorção, a qual prejudica a uniformidade de aplicação,

sendo aquela dependente da velocidade do vento e do tamanho das gotas. Quanto maior a velocidade do vento e menor o tamanho das gotas; maior será a distorção na distribuição, quando comparada com o vento em condições de calmaria.

Segundo BERNARDO (1987) o vento influencia a uniformidade de distribuição e, junto com a temperatura ambiente e umidade relativa do ar, afeta as perdas por evaporação. Assim, em regiões sujeitas a ventos fortes e constantes, com baixa umidade relativa e altas temperaturas do ar, deve-se recomendar irrigação por gotejamento ou superfície.

FROST & SCHWALEN (1965) realizaram pesquisa, usando latas como coletores, para determinar a evaporação e perdas devido ao vento e concluíram que as perdas do jato pulverizado foram grandemente reduzidas quando considerava o tipo de aspersores com superposição. Encontraram, também, que as perdas eram proporcionais à pressão nos bocais e velocidade do vento e obtiveram boa correlação entre as perdas do jato d'água e o déficit de pressão de vapor.

As perdas d'água durante a irrigação por aspersão são críticas em locais onde os recursos hídricos são limitados, tornando-se imperioso que se reduzam as perdas por evaporação e arrastamento, com a finalidade de conservar energia e água. CHRISTIANSEN (1942) afirmou que as perdas do jato d'água de um único bocal variam de 10 a 40% e que estas podem alcançar até 45% do volume total aplicado em

dias quentes e secos.

CLARK & FINLEY (1975), citados por ALI & BAREFOOT (1978), determinaram as perdas de água num sistema de irrigação com 15 aspersores numa área de 0,16 ha e revelaram que a velocidade do vento e o déficit de pressão de vapor tiveram a máxima influência na evaporação, enquanto a pressão de serviço teve menor influência. Concluíram, ainda, que sob alta velocidade do vento, o mesmo foi o fator dominante e causador de perda d'água.

HALDERMAN & FROST (1968) afirmaram que as perdas por evaporação e arrastamento devido às correntes de vento são geralmente menores que 10%, dependendo da temperatura do ar, velocidade do vento e pressão de operação. Altas temperaturas e ventos fortes aumentam as perdas. Altas pressões de operação produzem gotas pequenas que resultam em maiores perdas por evaporação e arrastamento.

CHRISTIANSEN (1942) mostrou que as perdas por evaporação do jato são de cerca de 2%, desde que o mesmo não seja excessivamente pulverizado.

SEGINER & KONSTRINSKY (1975) realizaram estudos, usando 2 tipos de aspersores comuns e como sub-produto desta análise, obtiveram resultados surpreendentes sobre a perda de água que há entre o bocal de um aspersor e o solo (ou recipiente coletor). Os resultados foram:

- há alta correlação da perda d'água com a radiação solar e a umidade relativa do ar;

- a velocidade do vento e radiação solar não apresentam correlação e, com isto, foi possível mostrar que a velocidade do vento não contribuiu diretamente para a perda de água durante a operação do sistema. Isto justificou o uso de um modelo de distribuição reconstruído, para o qual toda a água perdida foi repostada e o efeito do vento foi apenas na distorção do perfil de distribuição.

KRAUS (1966), citado por NOGUEIRA (1987), encontrou perdas do jato de 3 a 17 % e afirmou que o arrastamento pelo vento foi responsável por 36% do total.

KELLER (1979) afirmou que a distorção causada pelo vento não é problema sério em pivô central, devido os sprays terem pequeno espaçamento na lateral e estar em movimento circular contínuo, permitindo ao sistema, em potencial, alta uniformidade.

JAMES & BLAIR (1984), citados por KRANZ (1986), relacionaram o efeito do vento na operação de um pivô central e afirmaram que ventos com velocidade superior a 4m/s reduziram a uniformidade quando o pivô foi direcionado para o interior da corrente. Além do mais, a uniformidade foi reduzida para crescentes espaçamentos de aspersores, se a velocidade do vento excedesse as 4,0m/s.

2.2.2 - Influência de fatores não-climáticos

A qualidade da irrigação de um pivô central resulta

do somatório da ação dos fatores climáticos e não-climáticos, sob os quais é operado e que, na maioria das vezes, são diferentes do projetado.

A eficiência e uniformidade de um sistema de irrigação por pivô central são influenciadas pela topografia do terreno, características do solo, pressão de operação, diâmetro, vazão e tipo dos bocais (impacto ou spray), espaçamento de aspersores, etc.

JENSEN (1983) afirmou que: a quantidade d'água aplicada deve ser medida para verificar sua adequação; a topografia ondulada apresenta potencialidades ao escoamento superficial; os sistemas devem ser instalados em solos com taxa de infiltração igual ou superior à de aplicação da lateral; a operação deve atender às necessidades hídricas da cultura dentro de uma sistemática e frequência de rega fixa.

KINCAID & HEERMANN (1970) estudaram as perdas de pressão que ocorrem em pivô central e determinaram que, ao aumentar a área irrigada em torno de 30%, as perdas de pressão aumentaram em quase 100%. Estas perdas podem elevar os custos de bombeamento, proporcionar pressões superiores à requerida nos pequenos aspersores e inferiores à requerida para os grandes. Baixas pressões produzem grandes gotas e reduzem a velocidade básica de infiltração do solo. Os autores concluíram, então, que o diâmetro das tubulações devem ser aumentados e as perdas de pressão diminuídas, com

vistas a reduzir os custos de bombeamento e proporcionar a distribuição de pressão mais uniforme.

ALI & BAREFOOT (1978) verificaram a performance de um sistema de pivô central e obtiveram as conclusões abaixo:

- a perda média d'água devido à evaporação varia com o tipo de aspersor e diâmetro do bocal, para pressões de operação variando de 134 a 556 Kpa (20 a 80 psi);
- para pressões entre 134 e 278 Kpa, as perdas por evaporação são semelhantes, porém, quando superiores a 278Kpa, tendem a aumentar;
- elevadas pressões associadas a altas velocidades de vento resultam em grande distorção do perfil de distribuição da água. Com altas taxas de aplicação o grau de distorção é menor;
- um sistema de irrigação por pivô central pode ser operado à baixa pressão, entre 134 e 278 Kpa;
- o ângulo de trajetória do jato influencia a uniformidade e perda de água por evaporação e os aspersores com ângulo de trajetória do jato de 6° e 26° tiveram uniformidades comparáveis, porém o primeiro aspersor apresentou 24% a menos de perda por evaporação e o diâmetro molhado foi 7% menor.

As despesas com energia no bombeamento e distribuição de água por um pivô central, têm aumentado sensivelmente os custos de operação, os quais aliados ao grande requerimento de energia, implicaram no uso de sistemas de baixa pressão.

JAMES & BLAIR (1984) avaliaram o efeito de várias declividades de terrenos e espaçamento de aspersores no uso de energia de seis diferentes tipos de pivô central. Concluíram que o uso da energia é afetado pela topografia, sendo, em geral, altíssimo nos terrenos com declividade ascendente. Concluíram, também, que para todas as topografias os sistemas com aspersores de impacto de baixa pressão usaram 82% e os com aspersores fixos tipo spray utilizaram 68% da energia consumida por um sistema com aspersores de impacto (tipo convencional).

SPLINTER (1976) afirmou que os sistemas de irrigação por pivô central requerem grande quantidade de energia e que um sistema local típico consome cerca de 468 litros de óleo diesel/ha/ano para aplicar uma lâmina bruta de 558,8mm.

GILLEY (1981) e GILLEY & MIELKY (1980) afirmaram que pivô central de baixa pressão economiza energia, mas ampliam-se os problemas de potencial de runoff, erosão do solo e desuniformidade na aplicação de água. Que o runoff ocorre quando a taxa de aplicação do sistema é maior que a velocidade básica de infiltração. Os dois últimos autores afirmaram que, quando esta situação não ocorre, o potencial de runoff reduz-se e citaram que ADDINK et alii (1975) reduziram o potencial em mais de 11%, em sistemas de alta pressão, quando não se atendia esta condição.

KINCAID et alii (1969) afirmaram que a uniformidade de aplicação de água ao solo pode ser consideravelmente

reduzida devido o runoff, o qual em potencial é altamente dependente da função de infiltração do solo, podendo apresentar índice zero para solos arenosos e superior a 50% para argilosos. Estimaram o valor máximo de 21,4% e que, este dependente da declividade do terreno, da irregularidade da superfície e da posição da área com respeito às outras que produzem escoamento. Afirmaram, por final, que a taxa de absorção d'água pelo solo e a lâmina aplicada são importantes variáveis que podem predizer a ocorrência potencial de runoff durante a aplicação.

GILLEY (1981) concluiu que o potencial de runoff na extremidade da lateral é o mais importante problema que ocorre com a redução de pressão, sendo mais acentuado em pivô central com aspersores que têm limitação de distância, "tipo spray", que concentram grande quantidade de água em pequenas áreas.

GILLEY & MIELKY (1980) mediram o runoff em áreas cultivadas com milho, com declividades em torno de 3,5%, em sistemas operando com aspersores de impacto de alta e baixa pressão e do tipo spray, tendo encontrado runoff na ordem de 25, 9 e 28 %, respectivamente. Afirmaram que a taxa de aplicação nos sistemas de baixa pressão é maior que nos de alta, visto que os primeiros têm menor raio de cobertura e aplicam a mesma quantidade de água em menos tempo.

DILLON et alii (1972) e GILLEY (1981) afirmaram que o potencial de runoff começa quando a capacidade de

armazenamento na superfície do solo é satisfeita e, à medida que a declividade aumenta, esta capacidade é reduzida.

Segundo KRANZ (1987) há várias maneiras de controlar a água que potencialmente pode ser perdida pelo runoff. Dentre elas o projeto e manejo do sistema e práticas de cultivo. Conforme o autor, DEBOER & BECK (1982) afirmaram que o runoff foi reduzido em 70% nas áreas irrigadas com pivô central, onde foram executadas a subsolagem, quando comparada com outras que receberam as práticas de cultivo convencional.

KRANZ (1987) e VON BERNUTH (1982) afirmaram que ao diminuir-se a pressão de serviço dos sistemas, provoca-se aumento na taxa de aplicação devido à redução no raio de molhamento e produz-se desuniformidade na aplicação da água.

A uniformidade de distribuição em pivô central com alta pressão é maior que nos de baixa, devido os sistemas de baixa pressão terem menor espaçamento de aspersores e raio de molhamento, resultando assim, em menor superposição (GILLEY, 1981).

Os sistemas de irrigação por pivô central são projetados para ter a máxima uniformidade de aplicação quando a superfície do solo é plana. Desse modo variações na topografia mudam a capacidade e pressão de operação da bomba e influenciam a uniformidade de aplicação. O aumento na altitude decresce diretamente à pressão e vice-versa (EDLING, 1978). A variação de pressão é mais crítica em sistemas de baixa pressão, devido esta flutuação representar

grande porcentagem da pressão do pivô.

Para GILLEY (1981) um pivô central em um terreno com mais de 4,60m de diferença de nível, é bom candidato a possuir equipamento controlador de vazão ou regulador de pressão.

EDLING (1978) afirmou que um desnível de 30,48 cm (1pé) reduz a pressão da água de 2,89Kpa. O autor estudou a influência da declividade na uniformidade de aplicação através de um programa de computador trabalhando com declividades uniformes de $\pm 3\%$, $\pm 5\%$ e $\pm 7\%$ com sistemas de baixa (336Kpa), média (434Kpa) e alta pressão (533Kpa). Encontrou novas relações entre pressão e vazão da bomba que estavam em equilíbrio com os bocais para uma específica declividade e, assim, para terrenos em declive havia redução da pressão requerida e aumento da descarga da bomba, enquanto para terrenos em aclave, havia aumento da pressão requerida e redução na descarga. O autor conclui, ainda, que a variação de pressão e vazão foi máxima no sistema de baixa pressão e mínima no de alta.

Para KRANZ (1986) a variação de vazão superior a 10% não é tolerável. Deste modo, um sistema operando a 200Kpa, numa diferença de nível superior a 4,1148m resulta numa inaceitável aplicação d'água. O autor afirmou também que a descarga de um bocal é grandemente afetada pelo seu diâmetro e que o excesso de água aplicada devido a bocais desgastados pode resultar em acumulação da água na superfície do solo ou

excessivo runoff. Desse modo, a substituição de bocais é um meio para limitar a desuniformidade.

VON BERNUTH (1982) encontrou que o coeficiente de uniformidade para um sistema de média pressão (304Kpa) decresceu com o aumento da declividade ascendente. Afirmou que a desuniformidade de aplicação d'água, resultante das diferenças de elevação do terreno e da baixa pressão, pode ser superada pelo uso de reguladores de pressão. O uso destes aparelhos requer energia para superar a perda de pressão por fricção interna, para vazão de aproximadamente 0,757 l/s, a perda é de 27Kpa. Por esta razão não podem ser usados em todos os sistemas, especialmente os de baixa pressão, exceto se o terreno permitir.

JAMES & BLAIR (1984) verificaram o efeito da declividade do terreno na performance de sistemas de irrigação por pivô central e encontraram que os de baixa pressão com reguladores apresentaram pequena variação na uniformidade e adequabilidade de irrigação, enquanto um sistema com aspersores convencional e sem regulador de pressão, mostrou as maiores variações, tendo o terreno com 5% de declividade os mais baixos índices.

Os autores acima avaliaram o efeito do espaçamento dos aspersores e concluíram que os sistemas com aspersores convencionais e de impacto de baixa pressão, tiveram a mais elevada uniformidade e adequabilidade quando o espaçamento dos aspersores foi de 12m, enquanto os sistemas con

aspersores tipo spray tiveram a mais elevada uniformidade e adequabilidade quando o espaçamento foi de 1,5m. Os dois primeiros sistemas tiveram taxas de aplicação média e máxima de 20 e 50 mm/h, enquanto os últimos superior a 50 e 100 mm/h, respectivamente.

Segundo DILLON *et alii* (1972) as características de infiltração do solo, requerimentos da cultura e o próprio pivô central são elementos que devem ser combinados quando da elaboração de projetos por pivô central. Afirmaram, também, que a máxima lâmina aplicada por revolução não deve exceder à capacidade de armazenamento da zona das raízes. Se isto não ocorrer, a velocidade do sistema deve ser aumentada até a capacidade de armazenamento não ser superada.

SOLOMON & KODOMA (1978) afirmaram que os sistemas de irrigação por pivô central têm limitações geométricas, devido a área irrigada ser de forma circular, proporcionando perda de 20% da área total sem irrigação. O uso de canhão no final da lateral constitui-se numa maneira de irrigar os cantos das áreas sem irrigação. O canhão a ser selecionado deve apresentar eficiência no uso da terra, água e energia.

2.3 - Parâmetros usados na avaliação do pivô central

Os parâmetros normalmente usados na avaliação de um pivô central são o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de

Distribuição (CUD), Eficiência da Aplicação Potencial (EAP) e Déficit de Umidade do Solo (DUS).

2.3.1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

O grau de uniformidade da água aplicada ao solo é descrito por um parâmetro estatístico conhecido como Coeficiente de Uniformidade (CU).

Para VON BERNUTH (1982) O Coeficiente de Uniformidade é um parâmetro insuficientemente entendido pois não traduz um termo direto com o qual o irrigante está familiarizado. É uma medida da quantidade de variação da lâmina aplicada em relação à média aplicada.

O coeficiente proposto por CHRISTIANSEN (1942) é considerado uma medida comum de uniformidade de aplicação de um aspersor, sendo este parâmetro amplamente usado na indústria e pesquisa científica. O valor do CUC para aspersão pode ser determinado através de medição em vários pontos de uma típica parte da área irrigada, mediante a seguinte fórmula:

$$CUC = (1,0 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{N \bar{X}}) \cdot 100 \quad (1)$$

onde:

X_i = uma medição individual coletada num pluviômetro representando uma mesma área (mm ou ml).

\bar{X} = a média aritmética de todas as medições (mm ou ml).

N = número total de medições consideradas.

Segundo RING & HEERMANN (1978) existem vários outros coeficientes usados para determinar a uniformidade de irrigação e citaram que: BEALE & HOWELL (1966) compararam várias medidas de uniformidade e descobriram que uma relação linear entre eles poderia ser derivada, a qual relacionava cada medida de uniformidade a uma outra; BENAMI & HORE (1964) sugeriram um coeficiente de uniformidade chamado de Coeficiente de BENAMI & HORE; KERVEN (1968) comparou este coeficiente ao CUC e ao de WILCOX-SWALES e concluiu que os três apresentaram alto grau de correlação, provando que havia pouca diferença entre eles, sendo qualquer um aceitável indistintamente.

Como não houve nenhuma superioridade provada de outros coeficientes sobre o CUC e desde que é um parâmetro aceito na indústria, ele foi escolhido como base de comparação em avaliações por HEERMANN & HEIN (1968), RING & HEERMANN (1978) e o será neste trabalho.

A aplicação d'água pelo pivô central sofre variação ao longo da linha lateral, tendo baixas taxas nas proximidades do ponto do pivô e aumentando progressivamente até o final do equipamento. Isto determina maiores áreas irrigadas gradualmente e possibilita melhor uniformidade de

irrigação. A variação na taxa de aplicação decorre do fato que a velocidade da lateral cresce do ponto do pivô para a extremidade, enquanto o tempo de aplicação decresce no mesmo sentido.

HEERMANN & HEIN (1968) afirmaram que a Uniformidade de Aplicação de lâmina d'água para um sistema de irrigação por pivô central, não é função apenas da pressão de distribuição, o sendo também regulada pelo aumento de tamanho e descarga do aspersor, proporcionais ao aumento da área à medida que cresce a distância radial do ponto do pivô. Sugeriram, então, um método de cálculo do CUC apropriado para pivô central, assumindo que o volume de água aplicação em uma sub-área seria igual à lâmina d'água multiplicada pela área representada por um coletor. A equação (1) foi modificada para a seguinte expressão:

$$CUC = 100 \cdot \left[1,0 - \frac{\sum_{s=1}^n D_s \cdot S_s}{\sum_{s=1}^n D_s \cdot S_s} \right] \quad (2)$$

onde:

S_s = distância de um ponto "s" qualquer ao centro de rotação do pivô(m);

D_s = lâmina total aplicada em um ponto a uma distância S do centro de rotação do pivô(mm);

s = índice que denota um ponto a uma distância S do centro de rotação do pivô;

N = número total de pontos coletores.

Para RING & HEERMANN (1978) a diferença entre a equação (1) e a (2) é que nesta, um fator de ponderação (S_s) foi aplicado a cada medida dos coletores (pluviômetros) e a média ponderada é \bar{D} , sendo igual a:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{s=1}^n D_s \cdot S_s}{\sum_{s=1}^n S_s} \quad (3)$$

Os autores anteriores afirmaram, ainda, que a média não ponderada e uniformidade foram calculadas, dando a todas as leituras peso igual, porém estes valores apresentaram resultados incorretos à medida que os pluviômetros próximos ao ponto do pivô foram assumidos representarem a mesma área que aqueles perto da extremidade do equipamento.

BERNARDO (1987) e OLITTA (1987) consideram 80% como o valor mínimo aceitável para o CUC.

SOLOMON (1978) verificou que os resultados do CUC podem sofrer variação mesmo se todos os fatores conhecidos que o influenciam apresentassem similaridade durante os testes. pois nem todos estes importantes fatores são

controlados, medidos ou relatados. Assim, o autor empregou em vários testes o mesmo modelo de aspersor, de bocal, pressão de operação e espaçamento de aspersores, ficando a velocidade do vento na faixa de 1,61 a 3,06 Km/h e, apesar da semelhança das condições dos testes, o CUC variou de 79,2 a 90,9%.

HEERMANN & HEIN (1968) encontraram resultados do CUC para sistemas de alta pressão de 87,3 a 90,5 %.

BRIDI et alii (1986) realizaram avaliação em quatro sistemas de irrigação por pivô central, operando com pressão no pivô de 6,2 a 8,6 kgf/cm², obtendo valores do CUC acima de 80% e concluíram que este coeficiente mostrou-se sensível à variação da velocidade do vento, tendendo a diminuir com o aumento desta.

COTRIM (1988) estudou a uniformidade de distribuição da água em três sistemas de irrigação por pivô central com difusores, operando a baixa pressão, de 6,8 a 8,0 Kgf/cm², e encontrou valores do CUC superiores a 85% e que praticamente não houve diferença entre os resultados do CUC, quando foram utilizados aspersores de impacto ou difusores.

2.3.2 - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

O CUD, semelhantemente ao CUC, representa um parâmetro indicador da qualidade da irrigação fornecida por um sistema de aspersão, sendo um termo que expressa numericamente a uniformidade de aplicação d'água sobre a área

irrigada.

A avaliação de campo de um sistema de pivô central envolve a checagem da uniformidade de distribuição ao longo da lateral, tais como: problemas de uniformidade devido à topografia, infiltração e/ou runoff na extremidade e condições da cultura (MERRIAM & KELLER, 1978).

Os autores acima afirmaram que as lâminas coletadas nos pluviômetros devem ser ponderadas, pois cada ponto de coleta representa progressivamente áreas maiores à medida que aumenta a sua distância do ponto do pivô. A ponderação da lâmina é feita de acordo com sua distância ao centro do equipamento, multiplicando-se cada medida coletada por um fator de distância.

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição é calculado mediante a seguinte fórmula:

$$CUU = \frac{\bar{u}}{\bar{U}} \cdot 100 \quad (4)$$

onde:

\bar{u} = lâmina média ponderada mínima ou do quarto inferior ou das 25% menores lâminas coletadas (mm);

\bar{U} = lâmina média ponderada entre todas as coletadas (mm).

A lâmina média ponderada mínima é igual à soma das 25% menores lâminas coletadas ponderadas, divididas pela soma do associado número de posição dos coletores. A seleção das

25% menores lâminas é feita usando-se medições não ponderadas.

A lâmina média ponderada coletada em todos os pluviômetros é a soma de todas as lâminas ponderadas divididas pela soma dos números de posição dos coletores.

BRIDI et alii (1986) encontraram em pivô central, operando a velocidade de rotação diferente, resultados do CUD que oscilaram de 52 a 85,4%, enquanto COTRIM (1988) obteve CUD superior a 75% e que a velocidade do vento, durante os testes, não foi suficiente para afetar a uniformidade de distribuição.

KELLER (1979) afirmou que altos valores de CUD e CUC devem ser obtidos em pivô central, no qual os bocais são bem dimensionados e a variação de pressão é contornada por reguladores em cada aspersor.

2.3.3 - Eficiência de Aplicação Potencial (EAP)

Este parâmetro representa a eficiência de aplicação potencial do quarto inferior. Indica uma medida atingível da performance de um sistema de irrigação, sob boas condições de manejo e quando a irrigação projetada está sendo aplicada.

Para ON FARM IRRIGATION COMMITTEE OF THE IRRIGATION AND DRAINAGE DIVISION (1978), a EAP é alcançável quando um quarto da área irrigada recebe uma quantidade de água pelo menos igual a algum valor pré-determinado da lâmina de

reposição. Em regiões áridas, esta lâmina representa, por definição, a unidade crítica para o solo e a cultura e pode mudar para cada irrigação.

Segundo a metodologia de MERRIAM & KELLER (1978), a EAP é determinada, quando o sistema está equipado com medidor de vazão, pela expressão (5):

$$EAP = \frac{\bar{u}}{\bar{L}} \cdot 100 \quad (5)$$

onde:

\bar{L} = lâmina média aplicada por revolução (mm), sendo calculada pela equação (6):

$$\bar{L} = \frac{T_r \cdot Q}{10 \cdot A} \quad (6)$$

onde:

T_r = tempo de rotação completo do pivô central (h);

Q = vazão do sistema (m³/h);

A = área irrigada (ha).

A Eficiência de Aplicação Potencial avalia como efetivamente o sistema utiliza a água fornecida e qual pode ser o total de perdas.

2.3.4 - Déficit de Umidade do Solo (DUS)

Para MERRIAM & KELLER (1978) este parâmetro é expresso numericamente como uma lâmina, indicando o déficit

de umidade na zona das raízes no momento da medição. Ele é igual à lâmina d'água a ser repostada por uma irrigação sob condições normais de manejo. O conceito de déficit de umidade é usado em substituição à lâmina de água existente no solo.

O conhecimento do nível de umidade do solo antes da irrigação indica a mínima condição de umidade sob a qual as culturas se desenvolvem, sendo obtido na curva característica da água do solo.

Segundo ON FARM IRRIGATION COMMITTEE OF THE IRRIGATION AND DRAINAGE DIVISION (1978) o déficit de umidade do solo é a diferença entre a capacidade de campo e umidade atual do solo na zona das raízes em algum dado tempo. É a quantidade de água requerida para trazer o solo na zona das raízes à capacidade de campo.

MERRIAM & KELLER (1978) afirmaram que o déficit de umidade pode ser determinado a nível de observação de campo, comparando amostras de solo a várias profundidades na zona das raízes, preferencialmente em toda profundidade ou estimado com uso de tensiômetros instalados na metade inferior da zona das raízes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em um pivô central de fabricação CARBORUNDUM, modelo 620, com 9 torres de sustentação sendo 7 compostas por 8 tubos e 2 por 6, altura de 3,0m, baixa pressão, lance adicional de balanço, equipado com aspersores fixos do tipo spray, para irrigação de uma área de 76,15ha. As especificações técnicas do pivô e características do motor elétrico e bomba centrífuga constam nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

O sistema encontra-se instalado no município de Crateús - Ceará, situado a 350Km de Fortaleza, sendo de propriedade da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado, operado por pequenos agricultores sob forma de condomínio.

Os testes foram conduzidos numa área cultivada com milho, tendo sido demarcadas no campo, quatro linhas radiais, dispostas em duas direções perpendiculares entre si, com cada raio originando-se de um dos cantos da base física do pivô e numerados de 1 a 4 em consonância com o sentido de rotação avante do equipamento (Figura 1).

Para a coleta das precipitações, foram instaladas no campo 324 latas de óleo lubrificante com capacidade de 1,0 litro e diâmetro de 9,85cm, que foram utilizadas como coletores pluviométricos. Ao longo de cada raio instalaram-se

TABELA 1 - Especificações técnicas do pivô

COMPOSIÇÃO DO EQUIPAMENTO	
- comprimento do vão inicial	54,90m
- comprimento dos vãos intermediários	409,48m
- comprimento do raio da última torre	464,38m
- lance adicional de balanço	27,97m
- comprimento total do pivô	492,35m
- número de torres de sustentação	9,00
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO SISTEMA	
- vazão necessária	304,61m ³ /h
- tempo mínimo de rotação completo (V=100%)	23,34hs
- tempo de rotação completo c/ V=80%	29,30hs
- lâmina bruta mínima p/ volta (V=100%)	9,33mm
- lâmina bruta c/ V=80%	11,70mm
- pressão no extremo da tubulação	20,00mca
- pressão no ponto do pivô	49,70mca
- pressão necessária (altura manométrica total) ..	92,23mca

TABELA 2 - Características do motor elétrico e bomba centrífuga

MOTOR ELÉTRICO	
- marca	WEG
- modelo	IP-54
- potência nominal	175 Cv
- número de fases	03
- frequência	60 Hz
- rotação	1760 RPM
BOMBA CENTRÍFUGA	
- marca	KSB
- modelo	ETA 150-50
- número de estágios	01
- diâmetro dos rotores	450mm
- vazão prevista	305m ³ /h
- pressão prevista	95mca
- rotação	1760 RPM
- potência abs do eixo	151,10 Cv

81 coletores, os quais foram numerados em ordem crescente a partir do ponto do pivô e com espaçamento uniforme de 6,0m. O primeiro coletor de cada raio foi eliminado do estudo devido os três "outlet" iniciais estarem fechados com "plug".

Os coletores foram fixados em estacas de madeira com 1,20m de altura, tendo sido introduzidas no solo cerca de 20cm, de forma que a seção de coleta dos pluviômetros ficasse a 1,05m da superfície do solo. Eles foram fixos a estaca por meio de duas borrachas de câmara de ar (Figura 2).

Os dados necessários para a determinação da avaliação foram obtidos segundo a metodologia proposta por MERRIAM & KELLER (1978), mediante a determinação dos parâmetros Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD); Eficiência de Aplicação Potencial (EAP) e Déficit de Umidade do Solo (DUS). O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) foi calculado pela fórmula modificada de HEERMANN & HEIN (1968).

Os testes foram realizados sem nenhuma alteração na jornada diária de trabalho do pivô, com vistas a tornar a coleta de dados e os resultados o mais representativo possível das condições normais de operação do sistema.

Foram realizados quatro testes, sendo os de número 1 e 3 com velocidade de operação de 100% e com 80% os testes 2 e 4. Inicialmente fazia-se coleta de dados para a regulagem de velocidade em 100%, vindo após 80%. A mudança de

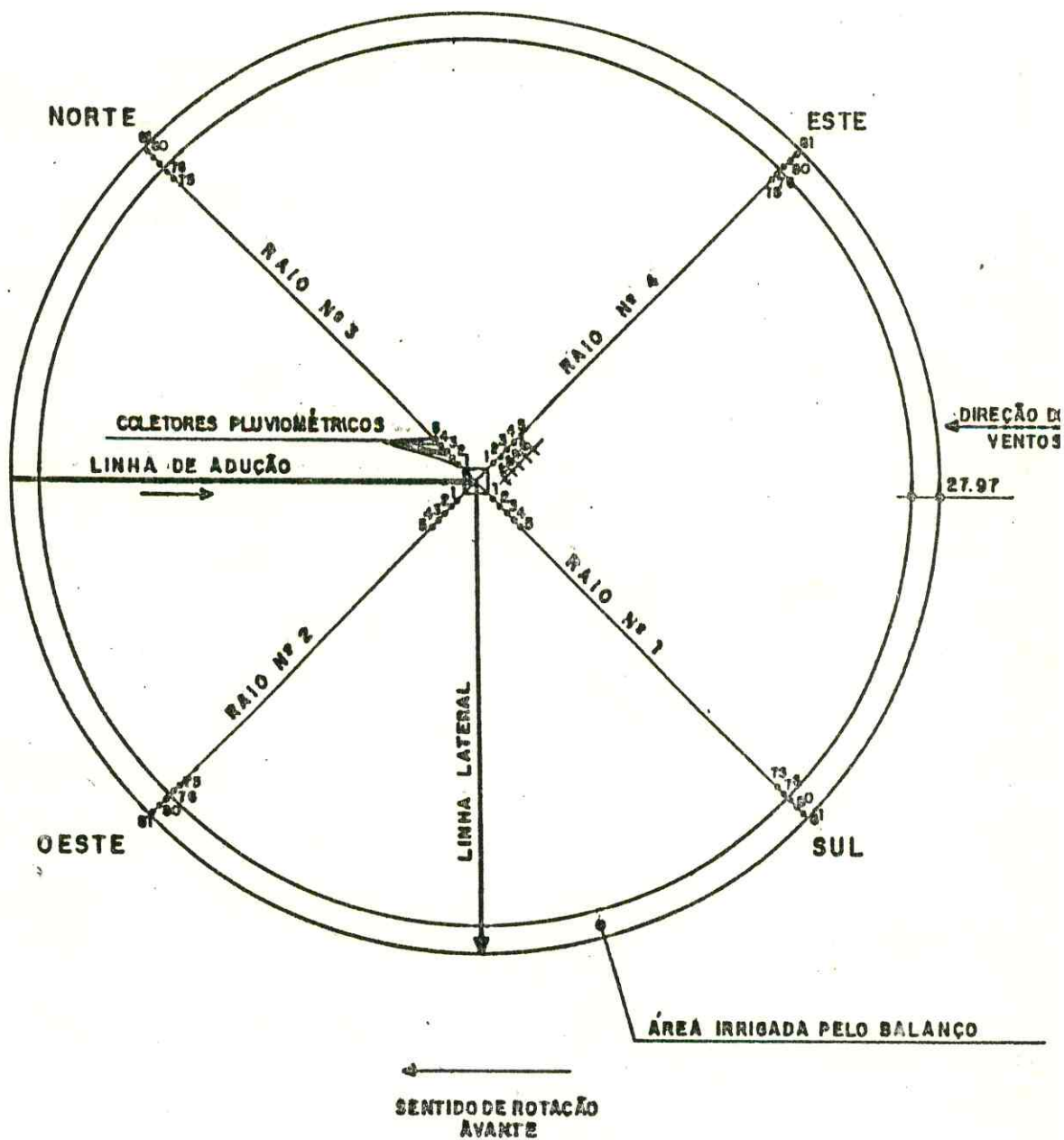


FIGURA 1 - Disposição dos raios e coletores pluviométricos no campo

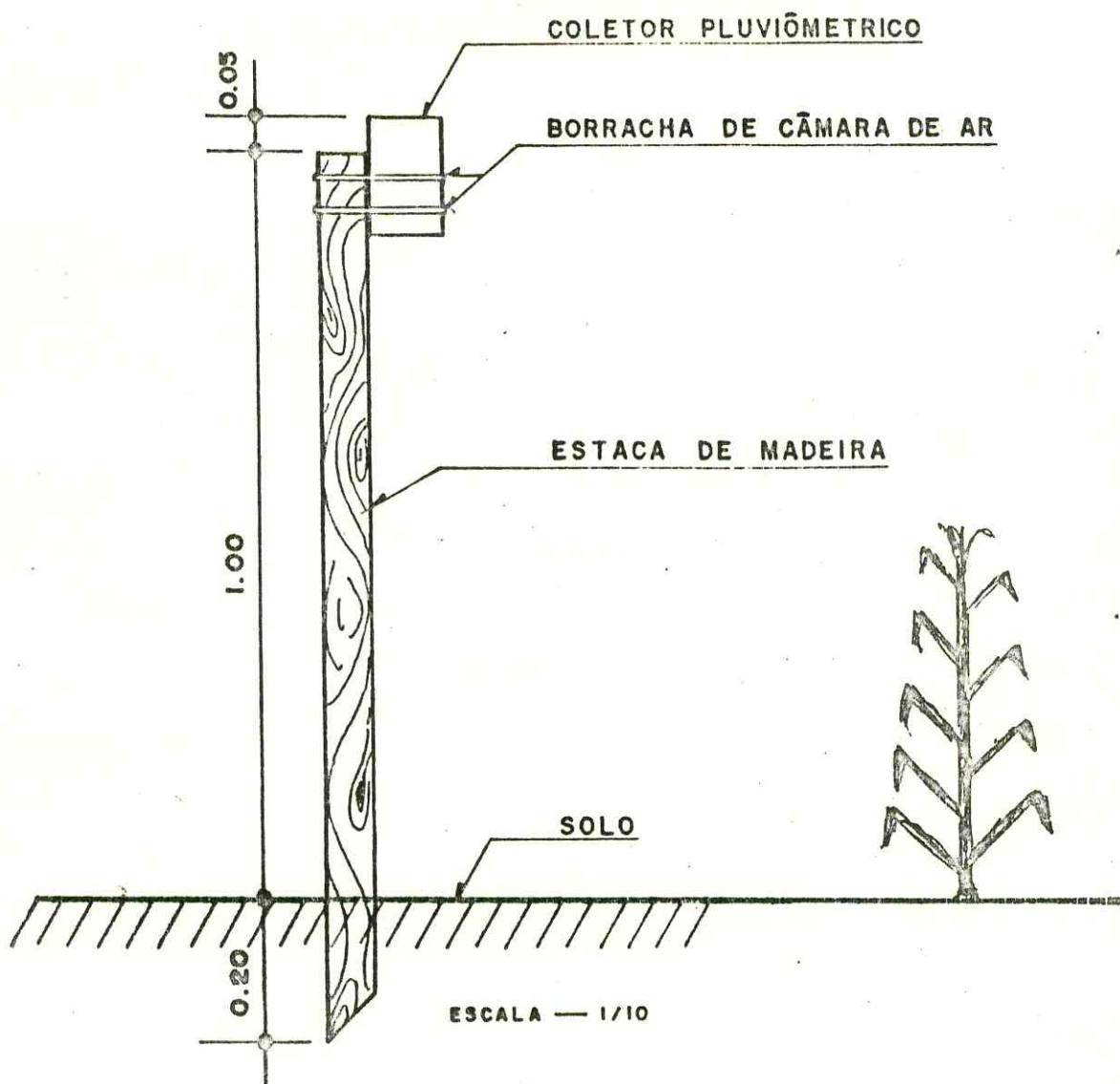


FIGURA 2 - Disposição de fixação dos coletores pluviométricos no campo

velocidade era realizada por meio de um relé percentual, existente no painel de comando do equipamento.

A determinação dos parâmetros indicadores da qualidade da irrigação, CUC, CUD e EAP, seguiu dois modelos de cálculo distintos. O de número I trabalhou com 78 coletores, tendo sido eliminados os de posição 1, 2 e 81, enquanto o modelo de cálculo II usou 80 coletores, eliminando apenas o de número 1.

Antes da ocorrência das precipitações, em cada raio, era feito o nivelamento horizontal da seção de coleta dos pluviômetros, usando-se um nível de pedreiro. As determinações dos volumes coletados foram realizadas com uma proveta de 500ml graduada a cada 5ml, logo após a lateral haver passado da linha radial de coletores, para evitar perdas por evaporação. As precipitações que ocorriam na madrugada tinham suas medições feitas cedo das manhãs, sendo a evaporação considerada para o período de tempo de permanência da água no coletor.

A pressão de operação no ponto do pivô era tomada diretamente de um manômetro de Bourdon graduado em Kgf/cm^2 , instalado na tubulação de entrada lateral, durante o teste para cada raio.

A pressão de serviço nos sprays foi tomada somente para os raios testados no período diurno, devido à impraticabilidade desta operação à noite, com auxílio de um manômetro de Bourdon graduado em $0,1\text{Kgf/cm}^2$, equipado com

pitot, diretamente do último bocal de cada vão e balanço. A pressão de serviço nos demais bocais, o número de aspersores/vão, o diâmetro dos bocais, a vazão unitária e o tipo de aspersores foram retirados do mapa dos "kits" de aspersão fornecidos pelo fabricante.

A velocidade de rotação da última torre foi determinada em todos os raios dentro de cada teste, marcando-se com estacas um comprimento de 10m na trilha da roda desta torre e registrando-se o tempo gasto pelo pivô para fazer este deslocamento, com uso de um cronômetro.

O tempo de rotação (T_r) necessário para que o equipamento desse um giro completo, foi tomado para cada raio individualmente, dividindo-se o perímetro do círculo percorrido pela roda externa sob a velocidade de rotação da última torre.

A área irrigada foi determinada, usando-se como raio a soma do comprimento total do pivô, fornecido pelo fabricante, ao raio de cobertura do último spray do balanço.

Como o sistema em estudo não está equipado com aparelho medidor de vazão, MERRIAM & KELLER (1978) recomendam estimá-la com uso da equação abaixo:

$$Q_e = \frac{A \cdot \bar{L}}{T_r} \cdot 10 \quad (7)$$

onde:

Q_e = vazão estimada do sistema (m^3/h);

A = área irrigada (ha);

T_r = tempo de rotação completo do pivô (h);

\bar{L} = lâmina de aplicação bruta do sistema (mm). É a soma da lâmina média ponderada coletada para todos os pluviômetros (\bar{U}) à evaporação média (E_v) durante o teste, pela seguinte expressão:

$$\bar{L} = \bar{U} + E_v \quad (8)$$

O raio e o tempo de molhamento na extremidade foram tomados do último spray do balanço, com uso de uma trena e um cronômetro, medindo-se a largura da faixa irrigada perpendicular à linha lateral e o tempo em que o sistema leva para irrigar o último coletor, respectivamente.

A taxa máxima de aplicação é normalmente elevada no extremo do equipamento e é calculada pela expressão abaixo:

$$P_{max} = \frac{\bar{U}}{T_m} \cdot 75 \quad (9)$$

onde:

P_{max} = taxa máxima de aplicação (mm/h);

T_m = tempo de molhamento na extremidade (min).

A taxa máxima de aplicação e a vazão estimada, Tabela 14, foram calculadas somente para o modelo de cálculo II, pelo fato de o mesmo representar toda a linha lateral do sistema.

O raio e tempo de molhamento na extremidade, a velocidade e o tempo de rotação foram medidos para cada um dos raios, porém esses parâmetros inclusos na Tabela 14, representam o sistema, isto é, foram obtidos pela média aritmética dos quatro raios que compõem cada teste.

As perdas por evaporação durante os testes, para cada raio, foram tomadas colocando-se uma lâmina d'água conhecida em uma lata de óleo lubrificante de 1,0 litro, à margem da área experimental. Ao final do tempo de molhamento na extremidade media-se novamente a lâmina e, por diferença, achava-se a perda por evaporação, com auxílio de uma proveta de 30mm graduada de 0,2mm. Tomaram-se, também, as perdas de um tanque "classe A" e notavam-se, ao final dos testes, pequenas diferenças nos valores medidos, porém, os resultados do tanque prevaleceram por serem mais precisos.

A velocidade e direção do vento foram determinadas para cada raio com vistas a detectar a influência destes fatores sobre a uniformidade de distribuição d'água pelo sistema, tendo sido tomados os dados por um anemômetro totalizador de canecas, com leituras em hectômetros, e um catavento tipo Wild, respectivamente. O primeiro foi instalado a 1,50m da superfície do solo.

A umidade relativa e a temperatura do ar foram determinadas para cada raio, no local dos testes, por um psicrômetro tipo funda.

Foi determinada a declividade do terreno em cada linha radial e a diferença de nível existente entre o ponto do pivô e o ponto mais baixo do terreno em cada raio, através de um levantamento altimétrico com um nível de precisão.

MERRIAM & KELLER (1978) recomendam que para o cálculo do CUD e EAP, as lâminas coletadas pelos pluviômetros devem ser ponderadas, pois cada ponto de coleta representa progressivamente áreas maiores à medida que aumenta sua distância radial ao centro do pivô. Obtém-se essa ponderação, multiplicando-se cada lâmina d'água coletada pelo número de ordem do coletor na linha radial.

As lâminas usadas para a determinação dos parâmetros de uniformidade do sistema, foram tomadas pela média aritmética entre os pluviômetros de uma mesma ordem para os quatro raios que formam um teste.

O CUC, CUD e EAP foram calculados por meio das equações (2), (4) e (5), respectivamente.

Foram abertas duas trincheiras na área e retiradas duas amostras de solo em cada uma, referente às camadas de profundidade 0-30 cm e de 30-60 cm. Estas amostras foram conduzidas ao laboratório de água-solo-planta do DENA/CCA/UFC para determinação dos níveis de umidade do solo e construção das curvas características para cada camada do perfil do solo (Figuras 3 e 4). Cada uma destas representa uma média das duas trincheiras para a camada de solo de mesma profundidade.

Foram colhidas amostras não deformadas com o cilindro de "UHLAND", referentes às camadas de solo de 0-30 e 30-60 cm, para determinação da densidade aparente.

O Déficit de Umidade do Solo (DUS) foi determinado instalando-se na linha radial Nº 2, três baterias de 2 tensiômetros a uma profundidade de 15 e 45 cm da superfície, representando a camada do solo de 0-30 e 30-60 cm, respectivamente. Cada bateria foi localizada no 3º, 6º e 9º vãos e as leituras na coluna de mercúrio feitas antes, durante e depois das irrigações, nas velocidades de operação em 100 e 80 %. Assim, com uso da curva característica determinou-se o conteúdo de água no solo entre uma e outra irrigação, para cada velocidade de deslocamento.

Tendo em vista que para solos arenosos, o mesmo se encontra na condição de capacidade de campo quando o potencial matricial da água do solo oscila em torno de - 9,8Kpa (-1/10 atm), achou-se, então, através da curva característica da água no solo que o conteúdo d'água na base do volume correspondente à capacidade de campo tem valor de 0,244cm³/cm³.

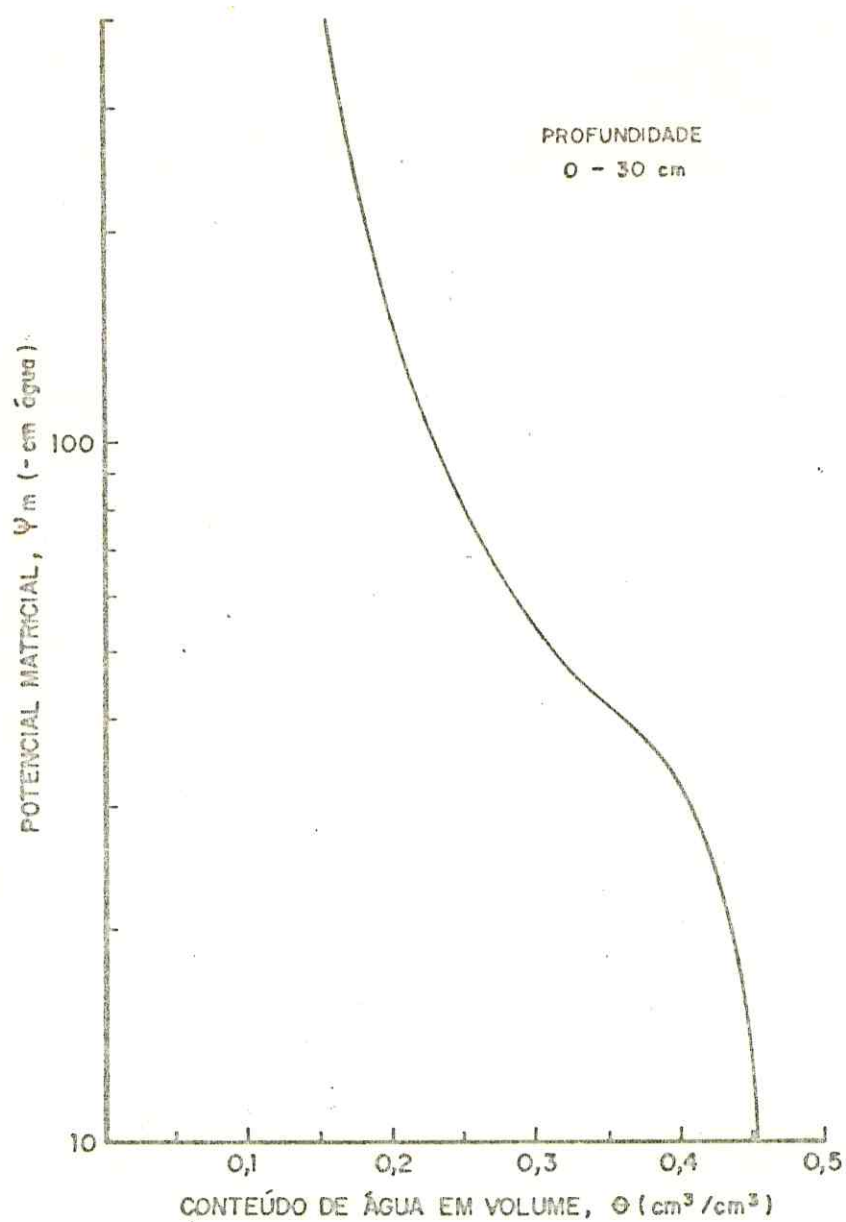


FIGURA 3 - Curva característica da água de um latossolo vermelho-escuro textura arenosa/média (profundidade 0-30 cm)

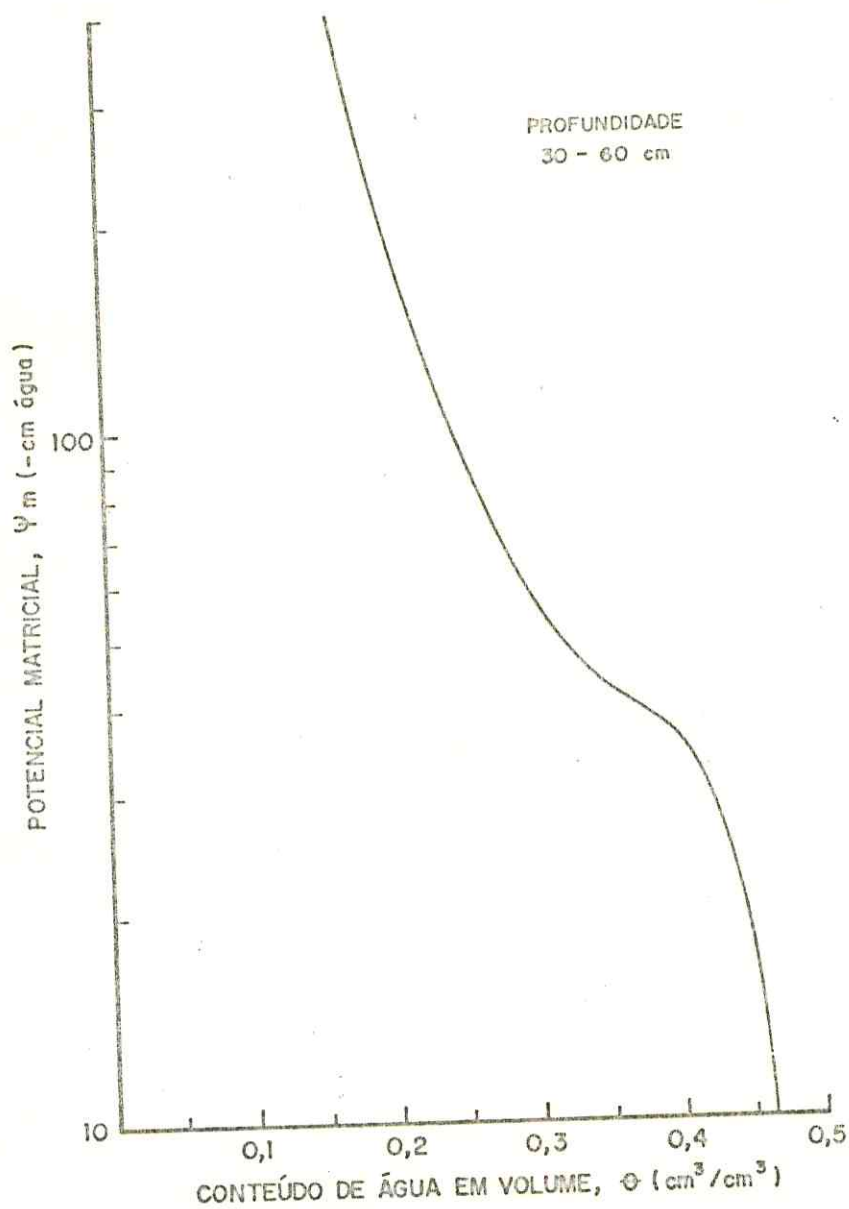


FIGURA 4 - Curva característica da água de um latossolo vermelho-escuro textura arenosa/média (profundidade 30-60 cm)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme as Tabelas 3a a 5, todos os resultados do CUC, CUD e EAP determinados pelo modelo de cálculo I foram superiores aos do modelo II, exceção para o CUD e EAP de raio 3 do teste Nº 2, com velocidade de rotação em 80% da máxima.

Analisando a influência isolada da pressão no ponto do pivô em cada raio - (Tabelas 3a a 4b) - observa-se que ela não apresenta uma correlação direta com os parâmetros de uniformidade. Considerando a ficha técnica do sistema em estudo, vê-se que a pressão requerida no pivô deveria ser de 4,9Kgf/cm², porém durante os testes variou de 3,0 a 4,0 Kgf/cm². Mesmo assim os resultados do CUC foram superiores a 80%, na sua maioria, indicando boa uniformidade de distribuição. OLITTA (1987) e BERNARDO (1987) afirmaram que 80% é valor mínimo aceitável para o CUC.

O raio 1 apresentou no ponto do pivô pressão de 3,0Kgf/cm² nos testes 1 e 2, entretanto deteve os maiores valores do CUC dentre todos os raios destes testes. Pode-se afirmar que a pressão neste ponto não teve poder de comando sobre o CUC, em especial pelo fato do sistema apresentar reguladores de pressão em cada aspersor, levando-se a crer que a pressão no bocal ou fator(es) climático(s) determinaram

estes resultados, porém àquela pressão há redução do raio de cobertura e da área irrigada.

A pressão de operação dos sprays, nos bocais estudados, variou de 1,2 a 2,2 Kgf/cm², sendo em grande parte dos testes 2,0Kgf/cm². Nota-se que, apesar do sistema ser equipado com regulador de pressão, esta sofria variação, mostrando, conseqüentemente, que a função daqueles não era alcançada, já que a pressão recomendada para todos os bocais era de 1,4Kgf/cm². A pressão de serviço maior que a especificada proporciona gotas de pequenos diâmetros, facilitando perdas por arrastamento pelo vento e evaporação, diminui o raio de alcance e, como resultado, ocorre redução da superposição do jato e, conseqüentemente, da uniformidade da aplicação. Este fato pode ser comprovado pela existência de baixo resultado do CUC em 25% dos testes.

A declividade do terreno (Tabela 6) foi maior nos raios 1 e 4, porém, como os sprays são equipados com reguladores de pressão, apesar de não apresentarem bom rendimento, a mesma não deve ter causado grandes variações na descarga ao longo da lateral. O efeito da declividade foi decisivo na ocorrência do runoff na extremidade, no que pesem 75% dos resultados do CUC, para todos os raios e testes, serem superiores a 80%, mostrando que a declividade não provocou elevada desuniformidade de aplicação por ser o sistema de baixa pressão e ter regulador de pressão. Esta afirmativa está em acordo com as de VON BERNUTH (1982) e

TABELA 3a - Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados de CUC, CUD e EAP de cada raio para regulagem de velocidade em 100% - TESTE Nº 01

Nº	Pressão	TESTE Nº 01						
		no	Modelo de Cálculo I			Modelo de Cálculo II		
			pivô	CUC(%)	CUD(%)	EAP(%)	CUC(%)	CUD(%)
1	3,00		87,27	78,76	75,33	85,91	75,22	71,90
2	4,00		83,79	71,96	62,70	82,43	70,77	62,25
3	3,90		86,22	78,50	78,50	85,19	76,95	76,95
4	4,00		80,68	71,65	68,37	79,35	68,97	65,75

TABELA 3b - Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados de CUC, CUD e EAP de cada raio para regulagem de velocidade em 100% - TESTE Nº 03

Nº	Pressão	TESTE Nº 03						
		no	Modelo de Cálculo I			Modelo de Cálculo II		
			pivô	CUC(%)	CUD(%)	EAP(%)	CUC(%)	CUD(%)
1	3,90		85,95	76,27	73,55	84,44	71,06	68,48
2	3,90		82,86	67,34	51,25	80,94	64,60	49,98
3	3,90		85,61	77,35	66,63	84,36	75,20	64,65
4	4,00		85,68	72,93	67,83	84,06	71,00	65,98

TABELA 4a - Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados de CUC, CUD e EAP de cada raio para regulagem de velocidade em 80% - TESTE Nº 02

Nº	Pressão no ponto do pivô	TESTE Nº 02					
		Modelo de Cálculo I			Modelo de Cálculo II		
		CUC(%)	CUD(%)	IEAP(%)	CUC(%)	CUD(%)	IEAP(%)
1	3,00	86,20	73,06	72,46	84,58	69,98	69,42
2	4,00	83,77	74,51	71,36	82,80	73,69	70,55
3	3,90	79,97	73,53	71,00	79,68	73,68	71,14
4	4,00	85,43	69,30	67,78	84,34	68,29	66,76

TABELA 4b - Influência da pressão no ponto do pivô sobre os resultados de CUC, CUD e EAP de cada raio para regulagem de velocidade em 80% - TESTE Nº 04

Nº	Pressão no ponto do pivô	TESTE Nº 04					
		Modelo de Cálculo I			Modelo de Cálculo II		
		CUC(%)	CUD(%)	IEAP(%)	CUC(%)	CUD(%)	IEAP(%)
1	4,00	81,04	65,30	64,52	79,61	63,28	62,51
2	4,00	79,74	72,07	66,42	78,93	66,86	61,37
3	4,00	88,16	84,47	78,21	86,18	81,84	75,68
4	4,00	79,81	76,89	69,21	78,87	70,12	68,44

Nº do teste	Regulagem da Velocidade (%)	Pressão no ponto do pivô (Kgf/cm ²)	Modelo de Cálculo I			Modelo de Cálculo II		
			CUC (%)	CUD (%)	IEAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	IEAP (%)
1	100	3,72	89,12	83,42	78,77	87,81	81,02	76,44
3	100	3,92	90,94	84,28	74,10	89,16	80,70	70,82
2	80	3,72	90,48	83,19	80,92	89,29	81,33	79,09
4	80	4,00	91,04	85,32	81,25	89,64	83,02	78,99
média								
cíclica	100	3,82	91,42	86,10	78,43	89,69	83,16	75,65
média								
cíclica	80	3,86	93,16	87,42	84,12	91,78	84,73	81,49

TABELA 6 - Declividade e diferença de nível em cada raio

Nº do raio	declividade (%)	diferença de nível (m)
1	3,22	15,86
2	0,77	3,81
3	0,86	4,24
4	2,80	13,77

JAMES & BLAIR (1984).

Analisando os resultados do CUC (Tabelas 7 a 10) observa-se que o raio 1 obteve os melhores coeficientes em 75% dos testes. Conforme os dados climáticos destas tabelas a velocidade do vento, em alguns raios, não interferiu diretamente sobre o CUC, pois para o raio 1, durante os testes 1 e 3, atingiu altas taxas, 3,20 e 2,45 m/s respectivamente, entretanto, apresentou os maiores valores dentro do teste e superiores a 80%. Julga-se terem ocorrido estes bons resultados, face a algum fator ter inibido ou mesmo se sobreposto ao da velocidade. Presume-se que a direção do vento, a qual no momento dos testes variou de Sul a Este (predominância do Sudeste) comandou a obtenção destes elevados resultados.

O déficit de pressão de vapor e temperatura do ar são considerados fatores que influenciam a uniformidade de distribuição de água num sistema de irrigação pressurizada, conforme afirmaram FROST & SCHWALEN (1965) e SEGINIR & KONSTRINSKY (1987). Estas afirmações estão em concordância com este estudo, onde se observa, de maneira geral, que para menores déficits de pressão de vapor e temperatura do ar sempre têm-se bons resultados para o CUC. Exceção faz-se ao raio 1 que apresentou maiores déficits de pressão em todos os testes e, no entanto, em 75% deles mostrou maiores coeficientes.

O fator climático evaporação, de maneira geral,

apresentou correlação indireta com a uniformidade e suas taxas foram dependentes da hora do teste, da velocidade e direção do vento e do tempo de molhamento na extremidade.

Conforme as Tabelas 7 a 10, os resultados do CUC variaram de 78,87 a 88,16 % e, entre todos os raios analisados, 75% deles tiveram CUC superior a 80%, evidenciando assim que a uniformidade de aplicação não foi aceitável em todos os raios. Nota-se, ainda, que apesar da variação destes resultados, os fatores climáticos apresentaram boa similaridade entre si, bem como as características operacionais do próprio pivô, havendo variação apenas na pressão de entrada. Estas condições de semelhança estão em acordo com SOLOMON (1978), o qual afirmou que apesar de os fatores conhecidos apresentarem similaridade de condições durante os teste, alguns deles não poderão ser controlados, medidos ou relatados, provocando assim variabilidade de coeficientes.

Analisando os dados do sistema (Tabela 11) constatou-se que os parâmetros de uniformidade variaram inversamente à velocidade do vento, para testes de mesma velocidade de operação, o que é normalmente esperado. A ação do vento, em especial no período diurno, provocava a distorção do perfil de distribuição, através do arrastamento do jato pulverizado. Isto, porém, não implicava em perdas e sim em desuniformidade de distribuição da lâmina d'água no solo. O elevado tempo de rotação do pivô central, com uma jornada de trabalho superior

TESTE Nº 02 - REGULAGEM DA VELOCIDADE EM 80%

Nº do raio	Dia e hora do teste	Temp. do ar (°C)	Evap. irradiação (mm)	Umidade Relativa do ar (%)	Direção e veloc. do vento (m/s)	Modelo de Cálculo I			Modelo de Cálculo II		
						CUC(%)	CUD(%)	EAP(%)	CUC(%)	CUD(%)	EAP(%)
1	22/09/88 17:30 hs	32,0	0,09	44	E-1,66	86,20	73,06	72,46	84,58	69,98	69,42
2	23/09/88 01:20 hs	28,0	0,50	62	E-0,86	83,77	74,51	71,36	82,80	73,69	70,55
3	23/09/88 09:30 hs	28,5	0,32	56	SE-4,30	79,97	73,53	71,00	79,68	73,68	71,14
4	23/09/88 16:15 hs	33,5	0,23	50	SE-2,83	85,43	69,30	67,78	84,34	68,29	66,76

TABELA 10 - Influência dos fatores climáticos sobre os resultados do CUC, CUD e EAP em cada raio

TESTE Nº 04 - REGULAGEM DA VELOCIDADE EM 80%

Nº do raio	Dia e hora do teste	Temp. do ar (°C)	Evap. irradiação (mm)	Umidade Relativa do ar (%)	Direção e veloc. do vento (m/s)	Modelo de Cálculo I			Modelo de Cálculo II		
						CUC(%)	CUD(%)	EAP(%)	CUC(%)	CUD(%)	EAP(%)
1	22/10/88 17:30 hs	34,0	0,12	48	E-1,87	81,04	65,30	64,52	79,61	63,28	62,51
2	23/10/88 01:20 hs	28,0	0,78	58	E-0,66	79,74	72,07	66,42	78,93	66,86	61,37
3	21/10/88 01:55 hs	28,0	0,83	62	E-0,60	88,16	84,47	78,21	86,18	81,84	75,68
4	21/10/88 09:40 hs	29,0	0,22	54	SE-3,54	79,81	70,89	69,21	78,87	70,12	68,44

a 24 horas, deve favorecer a ação de outros fatores que concorram para o sistema alcançar satisfatórios resultados do CUC.

Consoante uma análise abrangente dos resultados do CUC para todos os raios, observou-se que o de Nº 1 mostrou-se melhor, apesar de, no momento dos testes, terem ocorrido os maiores déficits de pressão de vapor, altas taxas de evaporação, elevadas temperaturas e consideráveis velocidades de vento. Os raios 2 e 4 apresentaram-se com menores desempenho em 75% dos testes, apesar das medições no raio 2 terem se realizado sempre à noite. Considerando uma análise visual da cultura à época da coleta dos dados, era notado que as áreas cultivadas com milho sob domínio dos raios 1 e 2 tiveram maior percentagem de germinação, maior crescimento vegetativo, desenvolvimento cultural mais homogêneo e melhor vigor que as plantas situadas no domínio dos raios 3 e 4. Os melhores resultados do CUC foram para o raio 1 vindo a seguir o 3. Julga-se que este bom desempenho foi decorrência da direção do vento, a qual era sempre transversal à linha radial de coletores.

Efetuando-se comparações entre testes de mesma e diferentes velocidades de operação, observa-se que o CUC, CUD e EAP não sofreram influência da velocidade, apesar de que os testes com 80% tiveram desempenho superior ao de 100% (comparando o 1 com 2 e 3 com 4). Entretanto, mediante observações de campo, tomadas durante os testes, constatou-

-se que para a velocidade de rotação de 80% da máxima, com mais ênfase que 100%, havia escoamento superficial na extremidade do equipamento, evento este decorrente da declividade do terreno e da taxa de aplicação máxima dos últimos difusores ser maior que a velocidade básica de infiltração - 84mm/h - (CONSÓRCIO ÁGUASOLOS - CONSULTORA DE ENGENHARIA LTDA/VBA CONSULTORES - ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA, 1986). Devido ao escoamento ocorriam erosões razoáveis, pouco desenvolvimento vegetativo das plantas daquela área e comprometimento da uniformidade de distribuição. Estes problemas são mais evidentes devido o sistema ser de baixa pressão e com aspersores fixos tipo spray e, estão em sintonia com as afirmativas de KINCAID et alii (1980) e GILLEY (1981).

O CUD constitui-se um outro parâmetro usado para se avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por pivô central, tendo neste estudo apresentado somente em um raio de um dos testes valor superior a 80% e em todos os testes foram menores que o CUC. Isto decorre do CUC ser determinado com uso de todas as lâminas coletadas ao longo da lateral, enquanto o CUD é calculado escolhendo-se as 25% menores lâminas coletadas. Desse modo, como a determinação do CUC abrange todo ou quase toda a lateral é considerado estatisticamente como um parâmetro mais representativo da uniformidade de distribuição que o CUD.

Para MERRIAM & KELLER (1978) o CUD é útil para

identificação de áreas com problemas e dimensionamento inadequado de bocais ou mau funcionamento de aspersores. Neste estudo, os baixos valores do CUD, para os raios, identificam que o sistema não está operando corretamente, problema esse causado pelo mau funcionamento dos aspersores, devido em grande parte à manutenção deficiente e pressão inadequada nos bocais. Indicam ainda, que certas áreas foram irrigadas deficientemente, fato que traduz pobre distribuição de água e desuniformidade da água aplicada ao solo ao longo da lateral.

Analisando a média do sistema para cada teste (Tabelas 5 e 11) constatou-se que os resultados dos seus CUC, CUD e EAP foram superiores a cada raio individualmente dentro do mesmo teste. Justificam-se os elevados resultados do sistema, em face das lâminas usadas na sua determinação terem sido tomadas pela média aritmética das coletadas nos pluviômetros de mesma ordem para os quatro raios que compunham um teste. Como as lâminas médias tomadas de cada quatro posições apresentam menor amplitude de variação em relação aos dados individuais de cada raio, é implícito que essas determinem menores desvios em relação à média e, conseqüentemente, as lâminas do sistema serão mais uniformes, redundando em maiores valores para CUC, CUD e EAP.

As lâminas usadas na determinação dos coeficientes para a média cíclica (Tabelas 5 e 11) foram tomadas através da média aritmética do sistema para os dois testes de mesma

velocidade de operação, sendo, portanto, a lâmina média das médias. Observa-se que nestas a amplitude de variação foi menor que para o sistema, determinando menores desvios médios e máximos valores para o CUC, CUD e EAP.

Analisando cada teste isoladamente, como sendo um sistema completo, Tabelas 5 e 11, constata-se altos valores do CUC, CUD e EAP, indicando que na média dos quatro raios, o equipamento em estudo apresenta boa uniformidade de aplicação de água, demonstrando que a qualidade da irrigação do sistema está dentro dos padrões aceitáveis pela literatura, ou seja, CUC e CUD superiores a 80%.

No período diurno, quando a demanda evaporativa é elevada, observou-se que ocorreram perdas substanciais dentro de um pequeno intervalo de tempo, porém existiram para alguns raios altas taxas de evaporação, estas ocorreram em casos de precipitação acontecer altas horas da noite e as leituras dos volumes serem feitas no início das manhãs. Desse modo, face o sistema não ser equipado com medidor de vazão, o cálculo da EAP foi baseado nas expressões (5) e (8), tendo-se encontrado baixos resultados para os raios individualmente, de 49,98 a 78,50 % (Tabelas 7 a 10), enquanto para o sistema variaram de 70,82 a 81,25 % (Tabela 11) e foram sempre inferiores ao CUD, sugerindo que ocorreram perdas razoáveis por evaporação.

IRRIGATION AND DRAINAGE DIVISION (1978) baixos valores da EAP indicam que o projeto do sistema é insatisfatório.

Na Tabela 12 constata-se que a lâmina média aplicada do sistema é inferior à bruta projetada em ambas as velocidades de operação, sendo que o modelo de cálculo II apresentou sempre as menores.

A Tabela 13 apresenta as lâminas médias e do quarto inferior coletadas para cada raio. A soma da evaporação à lâmina média resulta a aplicação bruta em cada raio.

Foi traçado um gráfico da lâmina coletada (só Modelo de Cálculo II) versus o número de ordem do coletor na linha radial (Figuras 5 a 8), com objetivo de se observar o desvio entre cada precipitação coletada da média do pivô. Estes gráficos identificam aspersores com problemas e mostraram que para todos os testes as lâminas coletadas no primeiro vão e balanço foram bem diferentes da média, sendo que no primeiro estavam acima da média e no último abaixo, no que pese a taxa de aplicação ser crescente do ponto do pivô para a extremidade, chegando nesta, inclusive, a causar escoamento superficial. Estas variações na precipitação não chegaram a alterar o desempenho do sistema, porém, para alguns raios, individualmente, provocaram mudanças que redundaram em desuniformidade na aplicação da lâmina d'água.

Relacionando-se a lâmina média aplicada (Tabela 12) e a vazão estimada do sistema (Tabela 14) com os estabelecidos

TABELA 11 - Influência dos fatores climáticos sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e da média cíclica para regulagem de velocidade em 100 e 80%

Nº do teste	Regulagem da velocidade (%)	Temp. do ar (°C)	Evaporação (mm)	Umidade Relativa do ar (%)	Direção e velocidade do vento (m/s)	Modelo de Cálculo I			Modelo de Cálculo II		
						CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
1	100	30,7	0,47	53,5	SE-2,13	89,12	83,42	78,77	87,81	81,02	76,44
3	100	30,1	1,04	53,5	SE-1,36	90,94	84,28	74,10	89,16	80,70	70,82
2	80	30,5	0,29	53,0	SE-2,41	90,48	83,19	80,92	89,29	81,33	79,09
4	80	29,7	0,49	55,5	SE-1,67	91,04	85,32	81,25	89,64	83,02	78,99
média cíclica	100	30,4	0,76	53,5	SE-1,74	91,42	86,10	78,43	89,69	83,16	75,65
média cíclica	80	30,1	0,39	54,2	SE-2,04	93,16	87,42	84,12	91,78	84,73	81,49

TABELA 12 - Ação da regulagem da velocidade do pivô sobre a lâmina média coletada, lâmina média aplicada e velocidade de rotação da última torre para o sistema

Nº do teste	Regulagem da velocidade (%)	Modelo de cálculo	Veloc. de rotação da última torre (m/h)	Lâmina bruta projetada (mm)	Lâmina média coletada (mm)	Lâmina média aplicada (mm)	Porcentual de aproveitamento da lâmina coletada em relação à projetada (%)
1	100	I	119,87	09,33	07,26	08,43	85,32
		II					
3	100	I	117,37	09,33	07,57	08,61	81,14
		II					
2	80	I	94,42	11,70	10,35	10,64	88,46
		II					
4	80	I	94,03	11,70	09,74	10,23	83,25

TABELA 13 - Lâmina média e do quarto inferior e taxa de evaporação para cada raio durante os testes

Nº do teste	Nº do raio	Evaporação (mm)	Modelo de cálculo	Lâmina média coletada (mm)	Lâmina do quarto inferior (mm)
1 V=100%	1	0,36	I	07,21	06,23
			II	07,79	05,86
	2	1,19	I	08,06	05,80
			II	07,97	05,64
	3	0,00	I	08,42	06,61
			II	08,33	06,41
	4	0,34	I	07,02	05,08
			II	06,96	04,80
2 V=80%	1	0,09	I	10,84	07,22
			II	10,67	07,47
	2	0,50	I	11,30	08,42
			II	11,18	08,24
	3	0,32	I	08,22	06,61
			II	08,93	06,58
	4	0,23	I	10,26	07,11
			II	10,15	06,93
3 V=100%	1	0,32	I	08,64	06,52
			II	08,50	06,04
	2	2,01	I	06,40	04,31
			II	06,30	04,07
	3	1,25	I	07,77	06,01
			II	07,66	05,76
	4	0,58	I	07,72	05,63
			II	07,62	05,41
4 V=80%	1	0,12	I	09,27	06,51
			II	09,83	06,22
	2	0,78	I	08,81	06,37
			II	08,72	05,83
	3	0,83	I	10,37	08,76
			II	10,19	08,34
	4	0,22	I	09,07	06,43
			II	08,97	06,29

pelo fabricante, nota-se que aqueles são menores que estes. O tempo de rotação medido foi superior ao existente na ficha técnica, indicando que o sistema é mais lento, fato este que deveria determinar uma lâmina aplicada por revolução maior. Deste modo, julga-se que devido a algumas características medidas em campo não se identificarem com as projetadas, devem ter conferido baixa uniformidade de aplicação a certos raios isoladamente.

O raio de molhamento na extremidade é bastante influenciado pela direção e velocidade do vento. Para direções perpendiculares à lateral ocorria arrastamento das gotas, redução do raio de molhamento, irregularidade no raio de cobertura do último difusor e distorção no perfil de distribuição, obviamente para velocidades significativas.

A metodologia proposta por MERRIAM & KELLER (1978) e adotada neste estudo é questionada quanto à possibilidade de eliminação de coletores adjacentes ao ponto do pivô. Conforme as Tabelas 3a a 5, o modelo de cálculo I apresentou em todos os testes resultados do CUC superiores ao II. Presume-se que a eliminação dos primeiros coletores favoreçam a obtenção de resultados mais confiáveis, isto porque as lâminas destes têm valores demasiadamente diferentes da média, comprova-se pelas Figuras 5 a 8, onde vê-se que as medições no primeiro vão são bem mais elevadas que a média coletada. O procedimento de eliminar coletores induz ao uso

de lâminas mais uniformes no cálculo dos coeficientes, isto é, com pequenos desvios médios.

De posse das curvas características da água do solo para as camadas de 0-30 e 30-60 cm (Figuras 3 e 4) obteve-se o conteúdo d'água respectivo, a partir dos resultados do potencial matricial fornecido pelas leituras tensiométricas. Observou-se, que o conteúdo d'água do solo após a irrigação (máximo) nas duas camadas (Tabela 16) mostrava-se sempre superior à capacidade de campo e o conteúdo mínimo de água decrescia do 3º para o 9º vão, na camada de 0 a 30 cm. Verificou-se, também, que a lâmina d'água aplicada com velocidade de 100% não conseguiu levar a camada de 30-60 cm à capacidade de campo em toda extensão da lateral, fato que ocorreu apenas no 6º e 9º vão.

O Déficit de Umidade do Solo (DUS) ocorreu bem próximo já do reinício da irrigação, somente para camada de 30-60 cm (Tabela 17), porém este teor de umidade não deve ter causado estresse, devido estar bem próximo da capacidade de campo e existir alta frequência de irrigação.

TABELA 14 - Parâmetros hidráulicos determinados em cada teste
acordo com a regulagem da velocidade do sistema

Parâmetro hidráulico	Reg. Velocidade 100%		Reg. Velocidade 80%	
	Teste Nº 1	Teste Nº 3	Teste Nº 2	Teste Nº 4
Velocidade de rotação da torre (m/h)	119,87	117,37	94,42	94,00
Raio de molhamento na extremidade (m)	11,03	13,04	12,81	11,96
Tempo de rotação do sistema (h)	24,34	24,86	30,90	31,00
Raio de cobertura na extremidade (m)	05,00	05,00	05,00	05,00
Área irrigada (ha)	77,71	77,71	77,71	77,71
Vazão estimada do sistema (m ³ /h)	265,63	265,70	264,57	252,60
Tempo de molhamento na extremidade (min)	06,25	06,27	08,07	07,10
Taxa máxima de aplicação (mm/h)	95,52	90,55	96,19	101,80

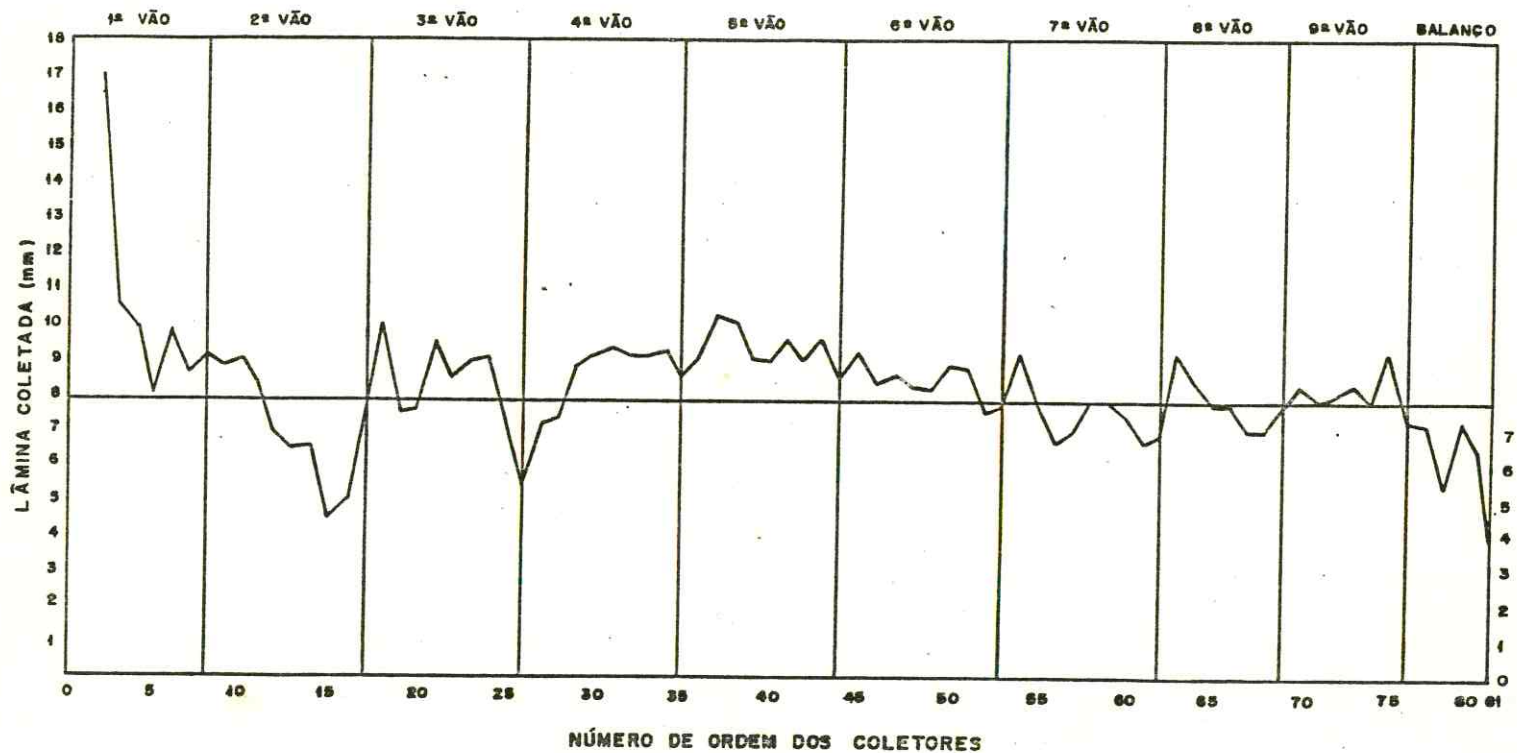


FIGURA 5- Perfil da lâmina média coletada do sistema no teste nº 1 com velocidade de operação 100 %

Velocidade de rotação = 419,87 m/h

Lâmina média coletada = 7,85 mm/revolução

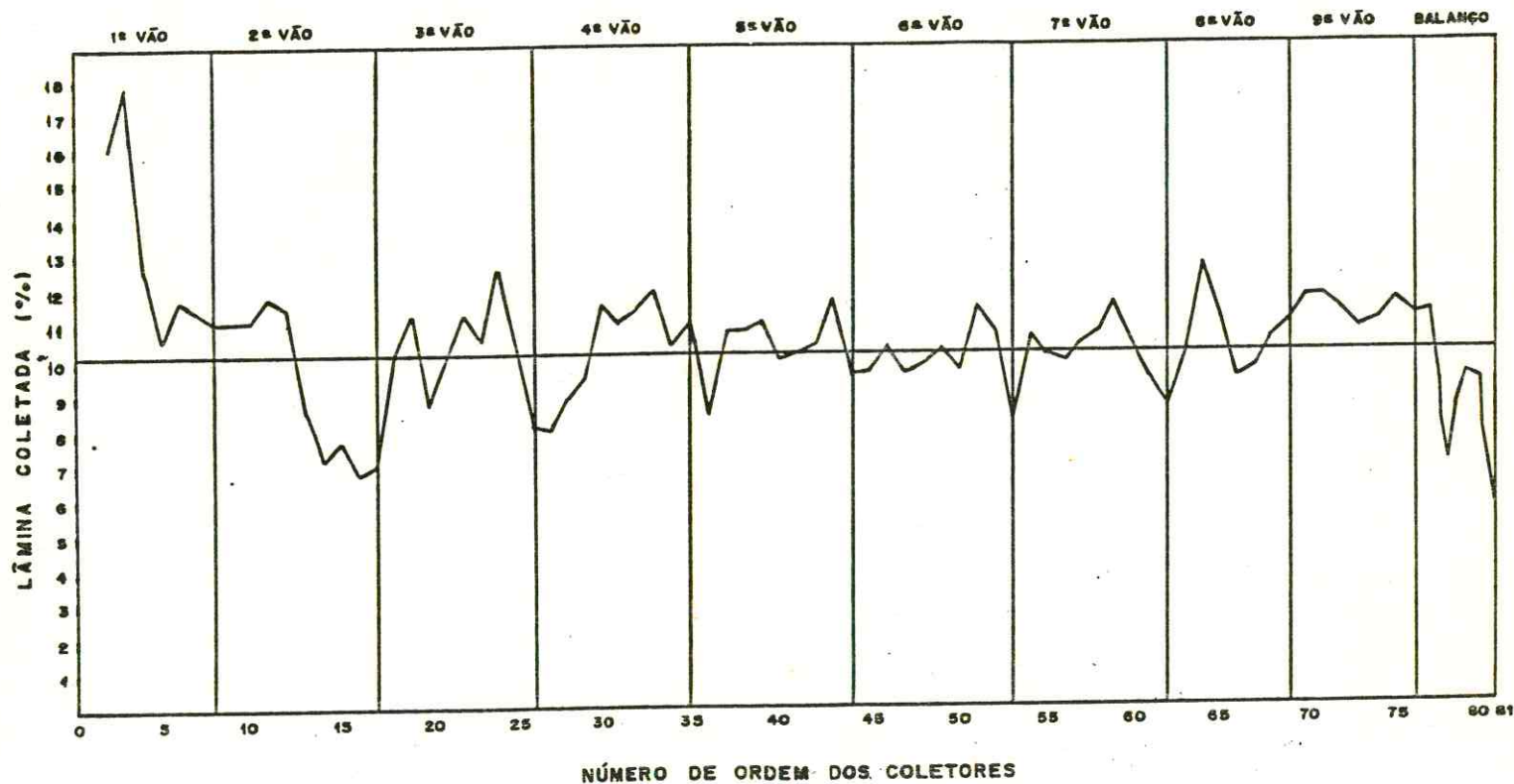


FIGURA 6 -Perfil de lâmina coletada do sistema no teste nº 2 com velocidade de operação em 80 %.

Velocidade de rotação = 94,42m/h

Lâmina média coletada = 10,23mm/revolução

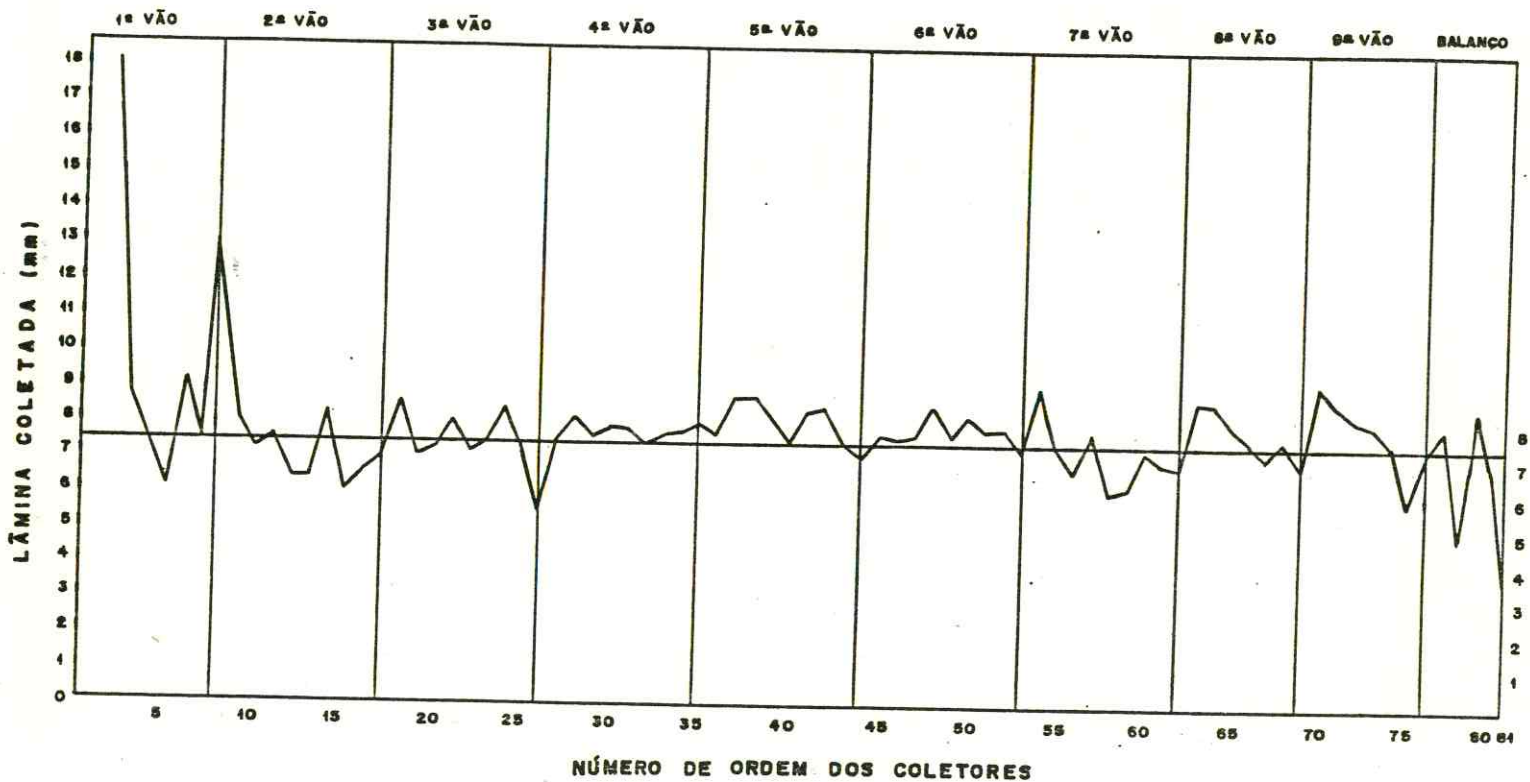


FIGURA 7-Perfil da lâmina média coletada do sistema no teste nº 3 com velocidade de operação 100%

Velocidade rotação = 117,37m/h

Lâmina média coletada = 7,46mm/revolução

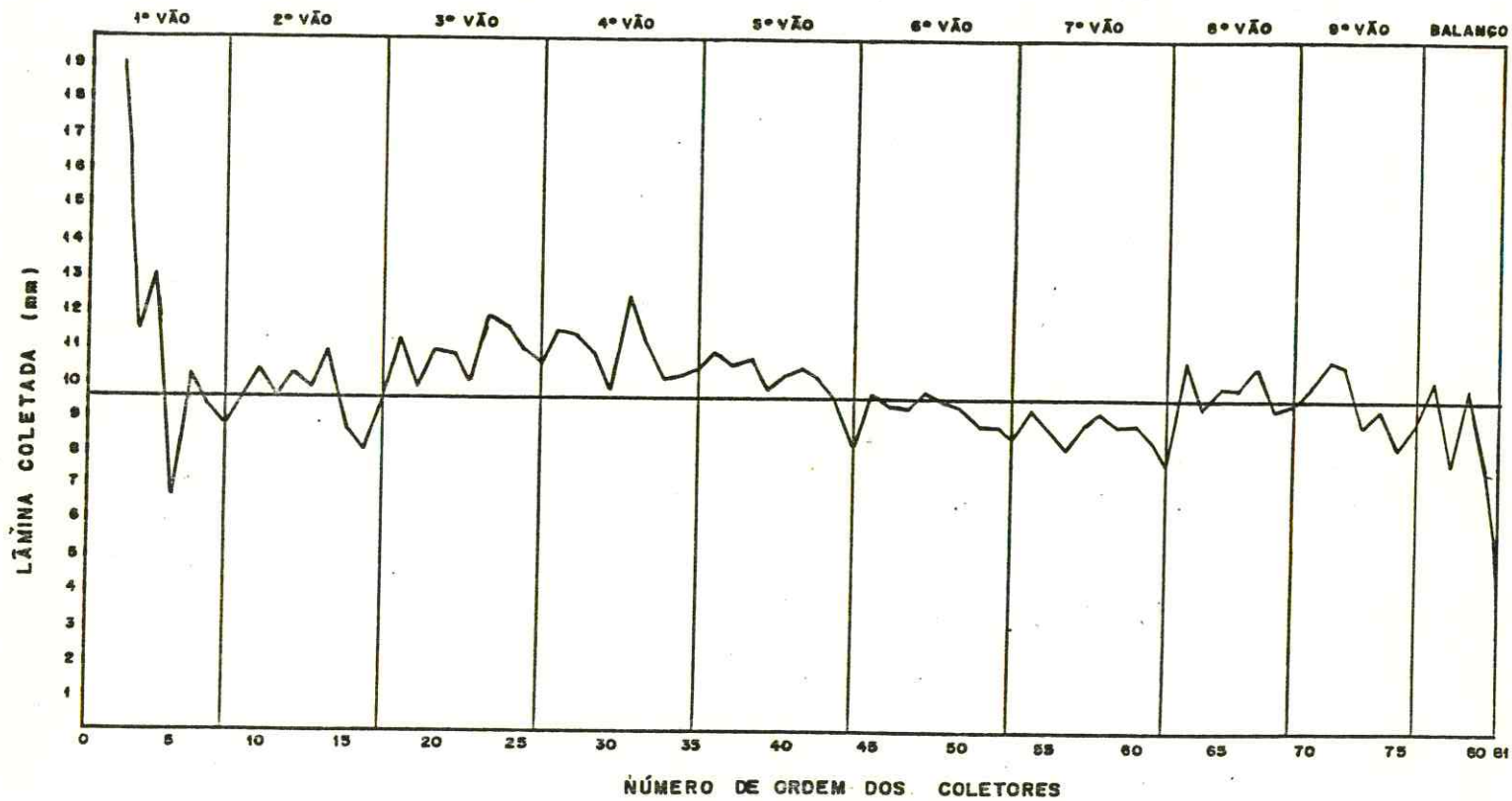


FIGURA 8-Perfil da lâmina média coletada do sistema no teste n° 4 com velocidade de operação em 80%.

Velocidade de rotação = 94,03 m/h

Lâmina média coletada = 9,60 mm/revolução

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Consoante os dados obtidos neste trabalho e discutidos no capítulo anterior, possibilitou-se a emissão das seguintes conclusões e recomendações.

5.1 - CONCLUSÕES:

- A metodologia de avaliação de sistema de irrigação por pivô central sugerida por MERRIAM & KELLER (1978), aplicada a cada raio, deve representar apenas uma observação;
- O sistema como um todo apresenta resultados do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen superior a 80%, indicando bom desempenho;
- A velocidade de operação do sistema não influencia nos resultados do CUC;
- A pressão no ponto do pivô não tem comando sobre a uniformidade, mas sim a pressão no bocal, quando o sistema apresenta regulador de pressão;
- Elevadas velocidades do vento associada à pressão de serviço dos bocais, superior à recomendada, provocaram baixos resultados do CUC em alguns raios, devido à redução da superposição do jato pulverizado;

- A alta velocidade do vento, durante o dia, promoveu arrastamento do jato d'água e distorção do perfil de distribuição, causando desuniformidade na lâmina aplicada sobre o solo e, junto com a elevada temperatura ambiente e déficit de pressão de vapor proporcionaram maiores perdas por evaporação;
- As irrigações noturnas tendem a ser mais uniformes que as diurnas;

5.2 - RECOMENDAÇÕES:

- Ocorreram baixos valores do CUD em certos raios, sugerindo que o pivô não opera satisfatoriamente. Deve-se substituir os reguladores de pressão e fazer-se manutenção constante nos SPRAYS;
- A eliminação de coletores adjacentes ao pivô reduz a abrangência do equipamento, desse modo, sugere-se que para futuras avaliações de pivô central deve-se usar, coletores em toda extensão da lateral e preferencialmente localizar duas linhas radiais, uma perpendicular e outra paralela à direção do vento;
- O sistema deve ser operado a menores velocidades no período diurno (em torno de 80%), pois se aplicará maiores lâminas, reduzindo a possibilidade de arrastamento e nas noites deslocar-se com a regulagem de 100%.

4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSHAD ALI, S.M. & BAREFOOT, A.D. Performance of center-pivot sprinkler irrigation systems operating at reduced pressures. St. Joseph, Michigan, ASAE. Paper N° 78-2005, 1978. 19p.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 4 ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1987. 488p.
- BRIDI, S., BERNARDO, S., FERREIRA, P.A. & SEDIYAMA, G.C. Análise de uniformidade da distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central. Anais do VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Vol. 1, 1986. p. 27-52.
- CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkler. Berkeley, California, University of California, 1942. 124p. (Bull. N° 670).
- COTRIM, C.E. Análise da uniformidade de aplicação de água, em sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1988. 113p. (tese de M.S.)
- DILLON, R. C., HILER, E.A. & VITTETOE, G. Center-pivot sprinkler desing based on intake characteristics. Transactions of the ASAE, 15(5): 996-1001, 1972.
- EDLING, R.J. Variation in center pivot operating with

- slope. Proceedings of Nebraska Irrigation Short Course, 1978. p.88-91.
- FROST, K. R. & SCHWALEN, H. C. Sprinkler evaporation losses. *Agricultural Engineering*, 36(8): 526-528, 1965.
 - GILLEY, J. R. High, medium, low pressure center pivots. Proceedings of Nebraska Irrigation Short Course, 1981. p.114-125.
 - GILLEY, J. R. & MIELKE, L.N. Conserving energy with low-pressure center pivots. *Journal of the irrigation and drainage division, ASCE*, 106(IRI):49-59, 1980.
 - HALDERMAN, A. D. & FROST, K. R. Sprinkler irrigation in Arizona. Cooperative Extension Service and Agricultural Experiment Station, University of Arizona, 1968. (Bull. A-56).
 - HEERMANN, D. F. & HEIN, P. R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. *Transactions of the ASAE*, 11(1): 11-15, 1968.
 - JAMES, L. G. & BLAIR, S. K. Performance of low pressure center pivot systems. *Transactions of the ASAE*, 22(6): 1753- 1757, 1762, 1984.
 - JENSEN, M. E. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1983. 820p.
 - KINCAID, D. C., HEERMANN, D. F. & KRUSE, E. G. Application rates and runoff in center-pivot sprinkler irrigation. *Transactions of the ASAE*, 12(6): 790-794, 797, 1969.
 - KELLER, J. Sprinkler irrigation. In: *Irrigation*, Chapter

11. Agricultural and Irrigation Engineering, Logan, Utah, 1979. 302p.
- KINCAID, D. C. & HEERMANN, D. F. Pressure distribution on a center-pivot sprinkler irrigation system. Transactions of the ASAE 13(11): 556-568, 1970.
 - KRANZ, W. L. Center pivot water application uniformity. Correspondência pessoal. 1986. p.33-37.
 - KRANZ, W. L. Matching nozzle packages with soils and tillage. Proceedings of Nebraska Irrigation Short Course, 1987. p.39-49.
 - KRANZ, W. L. Flow control devices for center pivot irrigation systems. Cooperative Extension Service, University of Nebraska, 1988. (G88-888).
 - MERRIAM, J. L. & KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. 2 ed. Logan, Utah State University, 1978.
 - NOGUEIRA, L. C. Avaliação técnica de dois sistemas de irrigação por aspersão. Fortaleza, UFC, 1987. 124p. (tese de M. S.).
 - ON FARM IRRIGATION COMMITTEE OF THE IRRIGATION AND DRAINAGE DIVISION. Describing irrigation efficiency and uniformity. Journal of the irrigation and drainage division, ASCE 104(IRI): 35-41, 1978.
 - OLITTA, A. F. L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1987. 267p.
 - RING, L. & HEERMANN, D. F. Determining center-pivot

- sprinkler uniformities. St. Joseph, Michigan, ASAE. Paper N° 78-2001, 1978. 19p.
- SEGINER, I. & KOSTRINSKY, M. Wind, sprinkler patterns and system design. *Journal of the irrigation and drainage division, ASCE* 101(IR4): 251-264, 1975.
 - SHEFFIELD, L. F. Frank Zybach-inventor who changed the great plains. *Irrigation Age*. Janeiro 1981. p.22,23 e 36.
 - SOLOMON, K. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. St. Joseph, Michigan, ASAE. Paper N° 78-2010, 1978. 10p.
 - SOLOMON, K. & KODOMA, M. Center pivot end sprinkler pattern analysis and selection. *Transactions of the ASAE*, 21(4): 706-712, 1978.
 - SPLINTER, W. E. Center-pivot irrigation. *Scientific American*. Junho 1976. p.01-12.
 - CONSÓRCIO ÁGUASOLOS - CONSULTORA DE ENGENHARIA LTDA /VBA CONSULTORES - ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA. Estudo de viabilidade técnico-econômica do aproveitamento hidroagrícola do açude realajo, Vol. pedologia. Fortaleza, 1986. 71p.
 - VON BERNUTH, R. D. Reduced pressure pivots and pressure regulators. *Proceedings of Nebraska Irrigation Short Course*, 1982. p.193-198.

7 - A N E X O S

TABELA 15 - Potencial matricial (ψ) máximo e mínimo da água do solo medido pelos tensiômetros instalados sob o 3º, 6º e 9º vão da linha radial Nº 2

Profundidade da camada do solo (cm)	POTENCIAL MATRICIAL (cm. de água)					
	3º vão		6º vão		9º vão	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
0 - 30	- 57,38	- 17,06	- 81,28	?	- 86,48	- 47,42
30 - 60	-161,88	- 92,58	-121,18	- 1,48	-118,92	- 54,66

TABELA 16 - Conteúdo d'água (θ) máximo e mínimo obtido segundo as curvas características para cada camada de solo

Profundidade da camada do solo (cm)	CONTEÚDO DE ÁGUA, θ , (cm³/cm³)					
	3º vão		6º vão		9º vão	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
0 - 30	0,291	0,445	0,248	?	0,241	0,317
30 - 60	0,213	0,251	0,231	0,445	0,232	0,306

TABELA 17 - Déficit de umidade do solo antes do reinício da irrigação

Profundidade da camada do solo (cm)	LÂMINA D'ÁGUA DO SOLO (cm)		
	3º vão		9º vão
	3º vão	6º vão	9º vão
0 - 30	-	-	-
30 - 60	0,93	0,39	0,36

TABELA 18 - Raio e tempo de molhamento na extremidade para cada raio durante os testes

TESTE Nº 01 - Regulagem da velocidade em 100%.

	Raio Nº 1	Raio Nº 2	Raio Nº 3	Raio Nº 4
Raio de molhamento(m)	10,10	11,70	11,00	11,30
Tempo de molhamento	6'15''36	6'13''25	6'10''86	6'20''81

TESTE Nº 02 - Regulagem da velocidade em 80%.

	Raio Nº 1	Raio Nº 2	Raio Nº 3	Raio Nº 4
Raio de molhamento(m)	13,45	12,68	11,80	13,30
Tempo de molhamento	8'21''74	8'25''03	6'42''07	8'48''96

TABELA 18 - (Continuação)

TESTE Nº 03 - Regulagem da velocidade em 100%.

	Raio Nº 1	Raio Nº 2	Raio Nº 3	Raio Nº 4
Raio de molhamento(m)	13,60	13,40	12,27	12,90
Tempo de molhamento	7'09''39	5'53''	6'15''60	5'47''28

TESTE Nº 04 - Regulagem da velocidade em 80%.

	Raio Nº 1	Raio Nº 2	Raio Nº 3	Raio Nº 4
Raio de molhamento(m)	11,20	12,60	11,05	13,10
Tempo de molhamento	7'06''17	7'25''00	7'06''29	7'03''12

TABELA 19 - Precipitação coletada ao longo da lateral durante o teste N^o 01 - Regulagem da Velocidade em 100%.

dia do teste - 21 e 22.09.88

Evaporação média = 0,47mm

N ^o de vãolordem do pluviô- metro	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
	raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
01	01	-	-	-	-	
	02	13,10	28,82	17,29	9,17	17,09
	03	5,89	10,21	18,99	7,07	10,54
01	04	7,20	12,83	12,31	7,46	9,95
	05	5,24	6,94	13,49	6,28	7,98
	06	7,07	13,10	13,10	6,41	9,92
	07	6,81	9,82	12,05	5,89	8,64
	08	7,07	9,82	14,01	5,89	9,19
	09	7,20	9,82	10,34	7,86	8,80
	10	7,86	11,79	9,17	7,20	9,00
	11	7,86	9,43	9,03	7,33	8,41
02	12	5,89	8,90	8,25	4,58	6,90
	13	6,55	5,89	8,90	4,58	6,48
	14	5,24	9,03	7,33	4,58	6,54
	15	3,93	3,93	6,55	3,27	4,42
	16	6,81	3,93	5,63	3,27	4,91
	17	5,89	13,23	7,20	3,93	7,56
	18	9,69	17,03	6,94	6,94	10,15
	19	5,88	7,86	9,30	6,94	7,49
03	20	12,18	9,03	3,27	5,63	7,52
	21	9,82	11,26	9,82	7,20	9,52
	22	9,43	7,99	7,72	8,38	8,38
	23	9,82	9,30	8,64	7,86	8,90
	24	7,20	9,30	11,79	7,86	9,03
	25	5,24	7,86	8,38	7,59	7,26
	26	8,12	3,27	5,89	3,93	5,30

-escoamento
na tubula-
ção no raio
2

-spray obs-
truído no
raio 4

-spray obs-
truído nos
raios 2, 3
e 4

TABELA 19 - (Continuação)

vãolordem do pluviô- metro	Nº de lâmina coletada (mm)	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
04	27	8,90	5,24	8,38	6,28	7,20	
	28	11,39	6,55	5,24	6,28	7,36	
	29	10,87	8,38	8,38	7,59	8,80	
	30	9,82	9,30	9,95	7,59	9,16	
	31	9,17	8,90	9,03	10,21	9,32	
	32	8,51	9,30	8,38	10,21	9,10	
	33	9,56	9,69	9,69	7,46	9,10	
	34	8,25	8,12	9,82	10,87	9,26	
	35	7,20	7,33	8,51	10,87	8,47	
05	36	8,51	8,77	10,34	8,77	9,09	
	37	9,82	9,56	11,79	9,82	10,24	
	38	9,82	9,03	11,26	10,08	10,04	
	39	8,51	8,51	10,54	8,51	8,96	
	40	9,56	8,77	8,64	8,64	8,90	
	41	9,17	11,13	8,38	9,56	9,56	
	42	8,51	9,69	7,59	9,82	8,90	
	43	9,56	7,20	10,34	11,26	9,59	
44	7,46	6,68	8,38	11,00	8,38		
06	45	9,17	9,43	7,20	11,00	9,20	
	46	7,59	9,17	7,33	8,64	8,18	
	47	8,12	8,12	9,17	8,64	8,51	
	48	7,46	7,72	8,25	9,43	8,21	
	49	7,46	8,25	7,99	8,77	8,11	
	50	8,51	8,12	9,43	9,30	8,84	
	51	7,33	8,51	9,30	9,82	8,74	
	52	6,81	7,20	9,03	6,68	7,43	
	53	8,51	6,55	7,33	8,25	7,66	

TABELA 19 - (Continuação)

vãolordem do pluviô- metro	Nº de do	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
	54	9,43	9,71	9,82	8,25	9,30	
	55	5,89	7,72	8,12	8,77	7,62	
	56	5,89	6,41	7,46	6,28	6,51	
	57	7,20	7,72	7,59	5,24	6,93	
07	58	7,59	8,25	8,25	7,20	7,82	
	59	8,12	8,38	7,07	7,72	7,82	
	60	6,28	8,38	7,86	6,94	7,36	
	61	7,59	6,55	5,50	7,07	6,67	
	62	7,86	5,63	7,86	5,89	6,81	
	63	9,82	8,79	8,51	6,41	8,30	
	64	8,90	8,90	9,03	6,55	8,34	
	65	6,94	9,30	8,38	6,41	7,75	
08	66	7,33	9,95	7,20	6,55	7,75	
	67	7,99	3,93	9,17	6,81	6,97	
	68	6,55	6,28	7,99	6,81	6,90	
	69	8,38	7,72	8,90	5,89	7,72	
	70	8,25	10,34	7,99	6,28	8,21	
	71	7,72	7,99	8,51	7,07	7,82	
	72	8,51	8,38	7,86	6,94	7,92	
09	73	7,59	8,12	10,74	7,07	8,38	
	74	7,46	9,69	7,07	6,94	7,79	
	75	7,72	9,56	11,00	9,03	9,32	
	76	6,94	6,28	10,34	5,24	7,20	
	77	9,03	6,94	5,24	7,20	7,10	
	78	6,68	3,27	7,20	3,93	5,27	-spray obs-
balanco	79	7,07	7,99	8,90	5,24	7,30	truído nos
	80	5,95	7,59	6,55	5,24	6,33	raios 2 e 4
	81	2,90	3,93	4,32	1,96	3,27	

TABELA 20 - Precipitação coletada ao longo da lateral durante o teste N^o 02 - Regulagem da Velocidade em 80%.

dia do teste - 22 e 23.09.88

Evaporação média = 0,29mm

vãolordem do	N ^o de pluviômetro	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
	01	-	-	-	-	-	
	02	17,94	29,21	12,31	4,32	15,97	
	03	11,26	18,34	22,27	19,91	17,94	
01	04	15,06	18,73	8,64	8,51	12,73	
	05	6,55	9,17	14,80	11,79	10,57	
	06	13,62	20,30	7,33	6,28	11,88	
	07	13,36	12,83	9,82	9,82	11,45	
	08	10,21	15,45	9,43	9,43	11,13	
	09	11,13	14,14	10,08	9,17	11,13	
	10	10,87	14,01	8,77	11,00	11,16	
	11	12,83	16,98	9,30	9,30	11,85	
	12	10,74	12,57	10,08	12,44	11,45	
02	13	3,93	13,36	8,38	8,51	8,54	
	14	5,24	9,82	7,59	5,89	7,13	
	15	6,14	11,79	6,15	6,55	7,72	
	16	6,68	7,86	6,81	5,50	6,17	
	17	5,50	11,39	6,55	4,58	7,00	
	18	14,8	11,79	7,59	6,55	10,18	
	19	8,64	12,44	11,92	12,57	11,39	
	20	8,90	11,52	7,07	7,20	8,67	
03	21	11,26	11,13	7,59	9,95	9,98	
	22	12,96	12,96	7,99	11,65	11,39	
	23	11,79	12,44	7,99	9,82	10,51	
	24	12,44	18,34	8,51	11,65	12,73	
	25	8,51	12,44	8,12	11,92	10,24	
	26	8,25	8,25	7,99	7,72	8,05	

TABELA 20 - (Continuação)

vãol	Nº de ordem do pluviô- metro	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
	27	7,33	11,13	6,94	6,28	7,92	
	28	12,18	10,21	4,58	8,64	8,90	-spray
	29	11,39	12,18	6,55	7,86	9,46	truído
	30	9,85	15,09	7,86	13,75	11,63	raio 3
04	31	12,83	12,83	6,55	11,79	11,00	
	32	10,48	15,06	7,20	12,96	11,42	
	33	13,36	14,80	8,12	11,79	12,01	
	34	9,82	10,87	8,64	12,18	10,37	
	35	11,79	11,52	9,30	11,65	11,06	
	36	8,90	9,82	7,59	6,55	8,21	
	37	11,39	14,14	7,99	9,95	10,86	
	38	11,04	16,37	6,68	9,30	10,85	
	39	11,13	14,41	8,38	10,48	11,10	
05	40	13,23	11,92	6,28	8,38	9,95	
	41	11,79	11,65	6,94	10,48	10,22	
	42	11,13	11,92	7,99	10,48	10,38	
	43	11,79	15,72	8,90	10,61	11,76	
	44	7,20	13,60	7,46	9,82	9,52	
	45	12,44	10,48	7,72	7,86	9,63	
	46	10,48	11,79	8,51	10,61	10,35	
	47	9,95	8,51	9,82	10,08	9,59	
	48	11,04	11,26	6,94	10,21	9,86	
06	49	11,79	10,74	7,72	11,00	10,31	
	50	10,87	11,13	6,55	10,21	9,69	
	51	12,96	13,86	8,38	11,13	11,58	
	52	9,43	11,92	8,51	13,10	10,74	
	53	7,59	8,90	6,81	9,17	8,12	

TABELA 20 - (Continuação)

vãol	Nº de ordem do pluviô- metro	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
07	54	13,49	11,92	9,95	7,72	10,77	
	55	7,20	11,79	11,00	10,34	10,08	
	56	10,48	9,82	7,07	12,05	9,86	
	57	12,83	9,43	7,72	11,79	10,44	
	58	10,74	11,92	7,20	13,10	10,74	
	59	12,83	13,75	9,56	10,61	11,69	
	60	12,83	9,56	6,55	13,10	10,51	
	61	10,21	11,13	7,20	9,17	9,43	
	62	9,43	7,86	5,89	11,00	8,55	
08	63	14,93	6,55	10,34	8,38	10,05	
	64	13,36	14,54	12,57	10,48	12,74	
	65	11,79	11,79	9,17	12,70	11,36	
	66	11,13	7,46	8,38	10,43	9,36	
	67	7,86	11,06	9,82	9,95	9,67	
	68	9,95	11,13	10,87	10,21	10,54	
	69	10,08	12,57	7,20	14,27	11,03	-coletor deslocado de horizon- talidade no raio 3
09	70	11,52	14,01	10,21	11,13	11,72	
	71	9,82	11,13	14,14	11,79	11,72	
	72	11,13	12,05	10,48	11,65	11,33	
	73	10,48	11,13	12,44	9,17	10,81	
	74	12,44	9,95	11,39	10,48	11,07	
	75	13,23	12,57	10,08	10,34	11,56	
	76	10,21	12,13	12,57	9,56	11,13	
balanço	77	9,82	9,30	13,88	12,44	11,36	
	78	8,25	6,55	6,94	5,89	6,90	-spray obs-
	79	11,13	6,28	11,52	9,17	9,52	truído nos
	80	11,79	8,51	10,08	6,94	9,33	raios 2, 3
	81	3,93	6,15	6,28	5,89	5,56	e 4

TABELA 21 - Precipitação coletada ao longo da lateral durante o teste Nº 03 - Regulagem da Velocidade em 100%.

dia do teste - 19 e 20.10.88

Evaporação média = 1,04mm

vãolordem do pluviô- metro	Nº de do	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
	01	-	-	-	-	-	
	02	16,63	20,96	14,67	20,30	18,14	-escoamento
	03	9,43	4,58	14,41	6,28	8,67	na tubula-
01	04	10,48	12,44	11,92	8,64	10,87	ção
	05	8,38	4,97	4,32	6,55	6,05	
	06	10,08	10,48	6,28	10,21	9,26	
	07	8,51	4,06	8,90	8,51	7,49	
	08	6,28	4,28	9,82	7,86	7,13	
	09	8,15	5,76	8,90	8,38	7,88	
	10	8,38	5,89	7,86	6,55	7,17	
	11	6,68	6,15	9,03	8,51	7,59	
	12	5,76	6,81	7,07	6,28	6,48	
02	13	5,63	6,41	6,94	6,68	6,41	
	14	8,51	6,28	8,12	10,21	8,28	
	15	6,02	2,35	8,64	6,81	5,95	
	16	7,33	4,71	8,38	5,89	6,57	
	17	5,89	5,24	9,17	7,59	6,97	
	18	8,51	7,99	26,20	9,82	8,77	-causa des-
	19	5,89	6,55	7,33	8,38	7,03	conhecida
	20	9,43	6,81	5,24	7,33	7,20	para o vão
03	21	6,68	7,33	9,17	9,17	8,08	2
	22	6,28	6,28	8,25	7,86	7,16	
	23	7,33	5,76	7,20	9,56	7,46	
	24	7,59	7,20	10,08	9,03	8,47	
	25	5,24	7,20	9,17	7,86	7,36	
	26	5,89	2,62	5,50	7,20	5,30	

TABELA 21 - (Continuação)

vãolordem do pluviô- metro	Nº de lâmina coletada (mm)	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
04	27	7,07	9,95	5,89	7,20	7,52	
	28	8,51	8,38	7,59	7,99	8,11	
	29	7,07	4,97	8,38	9,95	7,59	
	30	6,68	7,72	8,15	8,15	7,85	
	31	6,94	8,77	8,51	6,81	7,75	
	32	6,28	8,12	7,59	7,59	7,39	
	33	7,59	8,51	7,33	7,20	7,65	
	34	7,99	8,12	6,94	7,99	7,76	
	35	7,86	7,07	7,99	9,03	7,98	
05	36	7,20	6,94	7,99	8,15	7,66	
	37	8,51	8,25	9,43	9,30	8,17	
	38	8,15	7,33	10,08	9,03	8,73	
	39	7,99	8,77	7,86	7,99	8,15	
	40	7,99	5,89	7,33	7,99	7,30	
	41	8,38	7,59	8,64	7,86	8,36	
	42	8,51	6,81	9,30	9,17	8,44	
	43	7,99	4,58	9,82	7,59	7,49	
06	44	7,33	4,32	10,21	6,28	7,03	
	45	8,90	7,07	7,33	7,33	7,65	
	46	7,99	6,68	8,12	7,59	7,59	
	47	8,15	6,02	8,03	7,86	7,61	
	48	9,30	6,94	9,17	8,77	8,54	
	49	8,64	7,33	7,33	7,33	7,65	
	50	9,56	6,68	7,59	9,30	8,28	
	51	7,86	6,68	7,99	8,51	7,76	
	52	9,03	5,37	8,12	8,90	7,85	
53	7,86	5,50	1,65	3,93	7,23	-coletor deslocado de horizon- talidade no raio 4	

TABELA 21 - (Continuação)

vãol	Nº de ordem do pluviô- metro	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
	54	12,44	6,28	9,60	8,38	9,18	-escoamento
	55	7,86	5,24	8,51	7,72	7,33	na tubula-
	56	6,81	4,58	7,72	7,07	6,54	ção no raio
	57	8,90	7,33	7,72	6,94	7,72	1
07	58	7,46	6,28	4,58	5,89	6,05	-coletor
	59	7,99	8,12	7,86	8,15	6,18	deslocado
	60	9,43	5,89	6,94	6,94	7,30	de horizon-
	61	9,82	5,63	5,24	7,07	6,94	talidade no
	62	7,59	7,33	5,89	6,28	6,77	raio 3
	63	12,57	7,20	7,59	7,59	8,73	-escoamento
	64	11,26	6,28	8,38	8,38	8,57	na tubula-
	65	9,95	6,41	7,20	8,51	8,01	ção raio 1
08	66	9,69	8,64	8,51	3,27	7,52	-coletor
	67	7,33	5,76	7,33	7,72	7,03	deslocado
	68	10,48	6,81	7,20	6,28	7,69	de horizon-
	69	9,82	3,14	5,24	9,03	6,80	talidade no raio 4
	70	11,92	7,33	7,86	10,08	9,29	
	71	10,61	6,94	7,20	9,82	8,64	
	72	8,64	6,55	9,30	8,38	8,21	
09	73	9,43	7,33	7,33	8,12	8,05	
	74	9,03	6,02	7,20	8,25	7,62	
	75	7,86	4,71	5,37	5,24	5,79	
	76	9,17	6,55	6,02	7,86	7,40	
	77	9,69	6,94	7,86	7,86	8,08	
	78	7,72	2,62	5,76	3,27	4,84	
balanco	79	10,34	7,20	7,20	9,82	8,64	
	80	7,20	4,45	7,46	8,38	6,87	
	81	2,62	1,96	3,19	3,27	2,76	

TABELA 22 - Precipitação coletada ao longo da lateral durante o teste N° 04 - Regulagem da Velocidade em 80%.

dia do teste - 21/22 e 23.10.88 Evaporação média = 0,49mm

N° de ordem do pluviô- metro	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
	raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
01	01	-	-	-	-	
	02	18,34	17,07	25,01	16,37	19,19
	03	9,85	16,11	10,08	9,82	11,46
01	04	13,36	10,48	15,58	13,75	13,29
	05	7,20	7,20	4,58	7,33	6,57
	06	12,57	8,51	10,61	9,56	10,31
	07	9,82	8,64	9,03	9,82	9,32
	08	8,64	8,51	9,95	7,86	8,74
	09	7,86	8,51	8,51	13,36	9,56
	10	9,69	7,86	12,44	11,79	10,44
	11	9,43	7,99	11,65	9,56	9,65
	12	9,69	7,59	11,65	12,31	10,31
02	13	8,38	8,38	11,52	11,00	9,82
	14	11,79	8,38	11,13	12,70	11,00
	15	9,82	7,07	11,26	6,55	8,67
	16	11,26	4,87	9,30	6,68	8,02
	17	8,38	7,86	12,44	9,30	9,49
	18	15,72	7,99	10,48	11,39	11,40
	19	12,31	5,24	11,92	9,43	9,73
	20	13,36	8,25	11,13	11,13	10,97
03	21	9,82	8,25	12,31	13,10	10,87
	22	10,48	9,43	9,95	10,34	10,05
	23	8,64	13,88	11,79	13,62	11,98
	24	9,17	12,05	13,88	11,57	11,66
	25	9,17	11,65	11,52	11,13	10,87
	26	8,38	10,61	12,18	10,61	10,45

TABELA 22 - (Continuação)

vãõ	Nº de ordem do pluviô- metro	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
		raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
04	27	6,02	12,05	13,01	15,06	11,54	-escoamento na tubula- ção no raio 4
	28	7,07	13,10	12,05	13,36	11,40	
	29	6,41	12,44	11,65	13,10	10,90	
	30	6,02	10,61	9,95	12,57	9,79	
	31	7,82	12,44	14,93	15,32	12,62	
	32	8,25	11,13	11,79	13,36	11,13	
	33	7,07	10,48	11,00	12,05	10,15	
	34	7,33	10,87	11,13	11,79	10,28	
	35	7,59	9,82	10,61	13,75	10,44	
05	36	7,07	11,13	11,65	13,75	10,90	
	37	6,02	14,01	10,48	11,65	10,54	
	38	6,02	12,83	12,18	11,79	10,70	
	39	6,02	11,79	10,74	10,61	9,79	
	40	6,68	13,10	11,13	10,08	10,24	
	41	6,94	11,79	12,57	10,48	10,44	
	42	6,55	11,65	12,18	10,08	10,11	
	43	5,89	12,44	10,34	9,30	9,49	
44	4,58	9,82	10,87	6,81	8,02		
06	45	11,26	7,07	11,52	9,30	9,78	
	46	11,79	5,50	11,79	8,90	9,49	
	47	10,74	7,72	9,43	9,17	9,26	
	48	11,39	9,03	8,90	9,85	9,79	
	49	11,79	6,68	9,82	9,69	9,49	
	50	12,05	5,37	10,61	9,30	9,33	
	51	11,13	5,89	9,82	8,38	8,80	
	52	11,65	7,33	10,48	5,63	8,77	
	53	9,17	7,20	9,30	7,86	8,38	

TABELA 22 - (Continuação)

vãolordem do pluviô- metro	lâmina coletada (mm)				lâmina média do sistema (mm)	obs.
	raio 1	raio 2	raio 3	raio 4		
54	13,10	5,50	11,13	7,33	9,26	
55	11,13	10,48	10,74	2,62	8,74	-coletor
56	9,17	7,33	9,03	6,68	8,05	deslocado
57	10,21	7,33	10,48	7,07	8,77	de horizon-
07 58	11,00	7,99	9,95	7,59	9,13	talidade no
59	11,13	7,20	9,69	7,07	8,77	raio 4
60	9,69	9,03	9,69	6,18	8,80	
61	11,13	4,58	9,27	8,51	8,37	
62	9,69	5,24	7,46	7,72	7,52	
63	13,10	9,17	12,05	8,51	10,70	
64	12,44	7,33	11,65	5,76	9,26	-coletor
65	11,79	8,25	11,26	8,38	9,92	deslocado
08 66	11,79	7,46	11,39	8,77	9,85	de horizon-
67	14,80	8,25	10,48	8,77	10,57	talidade no
68	11,13	8,90	8,38	8,64	9,26	raio 4
69	10,08	9,03	9,56	9,30	9,49	
70	11,92	7,86	10,48	9,56	9,95	
71	12,05	8,51	12,44	9,56	10,64	
72	10,48	9,43	12,31	9,69	10,47	
09 73	10,21	7,86	9,56	7,46	8,77	
74	12,44	7,72	9,17	8,12	9,36	
75	9,17	7,86	9,17	6,28	8,12	
76	8,96	9,30	9,69	7,99	8,98	
77	8,25	11,13	9,17	12,31	10,21	-escoamento na tubula- ção no raio 4
78	8,25	6,55	6,94	5,89	6,90	-spray obs-
balanço 79	12,44	9,82	7,72	9,85	9,95	truído no
80	7,86	6,55	8,51	7,86	7,69	raio 4
81	3,93	4,71	2,62	4,58	3,96	

TABELA 23 - Dados do kit de aspersão da lateral, fornecidos pelo fabricante.

aspersores (n ^o)	n ^o do aspersor no vão	regulador de pressão (psi)	diâmetro do bocal (mm)	Vazão (m ³ /h)	Modelo
	plug		início do vão n ^o 1		
1	1	20	2,00	0,19	spray
2	2	20	2,00	0,19	spray
3	3	20	2,00	0,19	spray
4	4	20	2,00	0,19	spray
5	5	20	2,00	0,19	spray
6	6	20	2,00	0,19	spray
7	7	20	2,00	0,19	spray
8	8	20	2,00	0,19	spray
9	9	20	2,20	0,23	spray
10	10	20	2,20	0,23	spray
11	11	20	2,20	0,23	spray
12	12	20	2,60	0,31	spray
13	13	20	2,40	0,27	spray
14	14	20	2,60	0,31	spray
15	15	20	2,40	0,27	spray
16	16	20	2,80	0,36	spray
17	17	20	2,80	0,36	spray
	Torre n ^o 1		início do vão n ^o 2		
18	1	20	3,20	0,47	spray
19	2	20	2,80	0,36	spray
20	3	20	3,00	0,42	spray
21	4	20	3,00	0,42	spray
22	5	20	3,20	0,47	spray
23	6	20	3,20	0,47	spray
24	7	20	3,40	0,53	spray
25	8	20	3,20	0,47	spray
26	9	20	3,40	0,53	spray
27	10	20	3,60	0,60	spray
28	11	20	3,40	0,53	spray
29	12	20	3,60	0,60	spray
30	13	20	3,60	0,60	spray
31	14	20	3,60	0,60	spray
32	15	20	3,80	0,66	spray
33	16	20	3,80	0,66	spray
34	17	20	3,80	0,66	spray
35	18	20	3,80	0,66	spray
36	19	20	4,00	0,74	spray
37	20	20	4,40	0,86	spray

TABELA 23 - (Continuação)

aspersores (nº)	nº do aspersor no vão	regulador de pressão (psi)	diâmetro do bocal (mm)	Vazão (m³/h)	Modelo
Torre nº 2		início do vão nº 3			
38	1	20	4,40	0,86	spray
39	2	20	4,20	0,81	spray
40	3	20	4,00	0,74	spray
41	4	20	4,40	0,86	spray
42	5	20	4,20	0,78	spray
43	6	20	4,40	0,86	spray
44	7	20	4,40	0,86	spray
45	8	20	4,40	0,86	spray
46	9	20	4,60	0,94	spray
47	10	20	4,60	0,94	spray
48	11	20	4,60	0,94	spray
49	12	20	4,60	0,93	spray
50	13	20	4,60	0,93	spray
51	14	20	4,80	1,02	spray
52	15	20	4,80	1,02	spray
53	16	20	4,80	1,02	spray
54	17	20	4,80	1,02	spray
55	18	20	5,00	1,10	spray
56	19	20	4,80	1,01	spray
57	20	20	5,60	1,37	spray
Torre nº 3		início do vão nº 4			
58	1	20	5,40	1,28	spray
59	2	20	5,00	1,10	spray
60	3	20	5,20	1,19	spray
61	4	20	5,20	1,19	spray
62	5	20	5,20	1,19	spray
63	6	20	5,20	1,19	spray
64	7	20	5,20	1,19	spray
65	8	20	5,40	1,28	spray
66	9	20	5,40	1,28	spray
67	10	20	5,40	1,28	spray
68	11	20	5,60	1,37	spray
69	12	20	5,40	1,28	spray
70	13	20	5,40	1,28	spray
71	14	20	5,60	1,37	spray
72	15	20	5,60	1,37	spray
73	16	20	5,80	1,47	spray
74	17	20	5,60	1,37	spray
75	18	20	5,60	1,37	spray
76	19	20	5,80	1,47	spray
77	20	20	6,40	1,76	spray

TABELA 23 - (Continuação)

aspersores (nº)	nº do aspersor no vão	regulador de pressão (psi)	diâmetro do bocal (mm)	Vazão (m³/h)	Modelo
Torre nº 4			início do vão nº 5		
78	1	20	6,40	1,75	spray
79	2	20	5,80	1,47	spray
80	3	20	5,80	1,47	spray
81	4	20	6,00	1,56	spray
82	5	20	6,00	1,56	spray
83	6	20	6,20	1,67	spray
84	7	20	6,00	1,56	spray
85	8	20	6,00	1,56	spray
86	9	20	6,20	1,67	spray
87	10	20	6,20	1,67	spray
88	11	20	6,20	1,67	spray
89	12	20	6,20	1,67	spray
90	13	20	6,20	1,66	spray
91	14	20	6,40	1,75	spray
92	15	20	6,40	1,75	spray
93	16	20	6,40	1,75	spray
94	17	20	6,40	1,75	spray
95	18	20	6,60	1,86	spray
96	19	20	6,40	1,75	spray
97	20	20	7,20	2,20	spray
Torre nº 5			início do vão nº 6		
98	1	20	7,20	2,20	spray
99	2	20	6,60	1,85	spray
100	3	20	6,60	1,85	spray
101	4	20	6,60	1,85	spray
102	5	20	6,80	1,96	spray
103	6	20	6,80	1,96	spray
104	7	20	6,80	1,96	spray
105	8	20	6,80	1,96	spray
106	9	20	7,00	2,07	spray
107	10	20	6,80	1,96	spray
108	11	20	7,00	2,07	spray
109	12	20	7,00	2,07	spray
110	13	20	6,80	1,96	spray
111	14	20	7,20	2,19	spray
112	15	20	7,00	2,07	spray
113	16	20	7,20	2,19	spray
114	17	20	7,00	2,07	spray
115	18	20	7,20	2,19	spray
116	19	20	7,20	2,19	spray
117	20	20	7,80	2,56	spray

TABELA 23 - (Continuação)

aspersores (nº)	nº do aspersor no vão	regulador de pressão (psi)	diâmetro do bocal (mm)	Vazão (m³/h)	Modelo
Torre nº 6			início do vão nº 7		
118	1	20	7,80	2,56	spray
119	2	20	7,40	2,31	spray
120	3	20	7,20	2,19	spray
121	4	20	7,40	2,31	spray
122	5	20	7,40	2,31	spray
123	6	20	7,40	2,31	spray
124	7	20	7,40	2,31	spray
125	8	20	7,40	2,31	spray
126	9	20	7,60	2,43	spray
127	10	20	7,60	2,43	spray
128	11	20	7,60	2,43	spray
129	12	20	7,40	2,30	spray
130	13	20	7,60	2,43	spray
131	14	20	7,60	2,43	spray
132	15	20	7,80	2,56	spray
133	16	20	7,80	2,56	spray
134	17	20	7,60	2,43	spray
135	18	20	7,80	2,56	spray
136	19	20	7,80	2,56	spray
137	20	20	8,40	2,96	spray
Torre nº 7			início do vão nº 8		
138	1	20	8,40	2,96	spray
139	2	20	8,00	2,69	spray
140	3	20	7,80	2,55	spray
141	4	20	8,00	2,69	spray
142	5	20	8,00	2,69	spray
143	6	20	8,00	2,68	spray
144	7	20	8,00	2,68	spray
145	8	20	8,00	2,68	spray
146	9	20	8,00	2,68	spray
147	10	20	8,40	2,96	spray
148	11	20	8,00	2,68	spray
149	12	20	8,00	2,68	spray
150	13	20	8,40	2,96	spray
151	14	20	8,00	2,68	spray
152	15	20	9,20	3,45	spray

TABELA 23 - (Continuação)

aspersores (nº)	nº do aspersor no vão	regulador de pressão (psi)	diâmetro do bocal (mm)	Vazão (m³/h)	Modelo
Torre nº 8			início do vão nº 9		
153	1	20	8,80	3,24	spray
154	2	20	8,40	2,96	spray
155	3	20	8,40	2,96	spray
156	4	20	8,40	2,96	spray
157	5	20	8,40	2,96	spray
158	6	20	8,40	2,96	spray
159	7	20	8,40	2,95	spray
160	8	20	8,40	2,95	spray
161	9	20	8,40	2,95	spray
162	10	20	8,40	2,95	spray
163	11	20	8,80	3,24	spray
164	12	20	8,40	2,95	spray
165	13	20	8,40	2,95	spray
166	14	20	8,80	3,24	spray
167	15	20	9,60	3,72	spray
Torre nº 9			início do lance final		
168	1	20	9,60	3,72	spray
169	2	20	8,40	2,95	spray
170	3	20	8,80	3,24	spray
171	4	20	8,80	3,24	spray
172	5	20	8,40	2,95	spray
173	6	20	8,40	2,95	spray
174	7	20	8,00	2,68	spray
175	8	20	8,00	2,68	spray
176	9	20	8,40	2,95	spray
177	10	20	8,00	2,68	spray
178	11	20	7,00	2,05	spray
179	12	20	6,20	1,65	spray