



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

## Dissertação de Mestrado

DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO  
POR ASPERSÃO, TIPO PIVÔ CENTRAL  
REBOCÁVEL, EM CAMPO

JONAS CARLOS SANTINO SILVA

Biblioteca UFCG  
SMBC\_CDSA  
CAMPUS DE SUMÉ  
Reg.10294/12

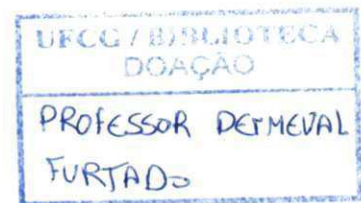
Campina Grande  
Paraíba

S  
1(043.3)  
86d  
01

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**MESTRADO**



**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E  
DRENAGEM**

**DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO,  
TIPO PIVÔ CENTRAL REBOCÁVEL**

**DISSERTAÇÃO**

**JONAS CARLOS SANTINO SILVA**

*Dis  
631(043.3)  
5586d  
lx.01*



**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA**

**AGOSTO – 2002**

**JONAS CARLOS SANTINO SILVA**

**DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO,  
TIPO PIVÔ CENTRAL REBOCÁVEL**

Dissertação apresentada Ao Programa de Pós-graduação Em  
Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina  
Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Agrícola (M.Sc.)

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO**  
**ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**ORIENTADORES**  
**PROF. DR. JOSÉ DANTAS NETO**  
**PROF. DR. HAMILTON DE MEDEIROS**

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA**  
**AGOSTO - 2002**

## FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S586d Silva, Jonas Carlos Santino.  
Desempenho do sistema de irrigação por aspersão, tipo pivô central rebocável / Jonas Carlos Santino Silva. — Campina Grande, 2010.  
49 f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Hamilton de Medeiros.

1. Irrigação. 2. Manejo. 3. Variabilidade. I. Título.

CDU 626.81/.84(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

JONAS CARLOS SANTINO SILVA

Título: Desempenho do sistema de irrigação por aspersão, tipo pivô central rebocável, em campo.

BANCA EXAMINADORA


PARECER

  
Dr. José Dantas Neto-Orientador

APROVADO

  
Dr. José de Arimatea de Matos-Orientador

Aprovado

  
Dr. Hamilton Medeiros de Azevedo-Examinador

Aprovado

  
Dr. Adilson David de Barros-Examinador

APROVADO



AGOSTO- 2002

## DEDICATÓRIAS

A meu pai José Carlos e minha avó Maria José (In memoriam)  
pelo grande exemplo de trabalho e dignidade.

Aos meus irmãos Quel, Jana, Júnior, a minha madrastra Marluçe e  
a minha noiva Michele

## AGRADECIMENTOS

A Deus por nos encher de esperanças, dando-nos forças e vontade para construirmos novas estradas.

À Universidade Federal da Paraíba, por intermédio do conselho de Pós-Graduação, pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola.

A Coordenadoria do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de ajuda financeira durante grande parte do curso.

Ao laboratório de irrigação e drenagem e aos seus professores pelos materiais concedidos e pelos ensinamentos ministrados.

Ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em engenharia Agrícola Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo e a todos os professores do Mestrado em Engenharia Agrícola da UFPB, pela contribuição ao longo de todo o Curso.

Ao professor Dr. José Dantas Neto pela valiosa orientação, atenção e estímulo recebido.

Aos professores Drs. José de Arimatéia de Matos e Hamilton de Medeiros pelas excelentes sugestões e esclarecimentos.

A Bibliotecária da EMEPA pelos favores prestados para realização deste trabalho.

Ao Dr. Gilvan Cavalcanti de Moraes, proprietário da Destilaria Miriri, pelo consentimento para realização do experimento e todas as demais ajuda fornecida.

Ao Gerente Agrícola da Destilaria Miriri, Gabriel Saturnino pelo grande apoio fornecido e por todas as experiências transmitidas.

A todos os funcionários da Destilaria Miriri.

Finalmente, a todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado.



“Se o homem trabalha apenas pra si próprio, poderá porventura tornar-se um erudito célebre, um grande sábio ou um excelente poeta, mas nunca será um homem completo, verdadeiramente grande... Se escolhermos uma profissão em que possamos trabalhar ao máximo pela humanidade, não fruiremos, então, uma alegria pobre, limitada, egoísta, mas a nossa felicidade pertencerá a milhões de pessoas”.

KARL MARX.



## ÍNDICE

|   | Páginas   |
|---|-----------|
| LISTA DE TABELAS.....   | ix        |
| LISTA DE FIGURAS.....   | x         |
| LISTA DE APÊNDICES.....   | xi        |
| RESUMO.....   | xii       |
| ABSTRACT.....   | xiii      |
| <b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>                                      | <b>1</b>  |
| <b>2 – REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                           | <b>3</b>  |
| 2.1 Aspectos gerais dos sistemas de irrigação pivô central..... | 3         |
| 2.2 - Vazão e Pressão.....                                      | 4         |
| 2.3 – Uniformidade de distribuição de água .....                | 7         |
| 2.4 – Eficiência de aplicação por aspersão .....                | 10        |
| 2.5 – Perdas de água na irrigação por aspersão.....             | 11        |
| <b>3- MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                              | <b>12</b> |
| 3.1 – Localização dos ensaios.....                              | 12        |
| 3.2 – Caracterização do sistema de irrigação.....               | 12        |
| 3.3 – Instalação do experimento.....                            | 13        |
| 3.3.1 – Pivô central.....                                       | 13        |
| 3.4 – Dados coletados no campo .....                            | 13        |
| 3.4.1 – Evaporação, velocidade do vento e temperatura .....     | 13        |
| 3.4.2 – Pressão e vazão .....                                   | 14        |
| 3.5 – Uniformidade de aplicação.....                            | 15        |
| 3.6 – Eficiência de aplicação .....                             | 16        |
| 3.7 – Eficiência de distribuição .....                          | 17        |
| 3.8 – Eficiência de armazenamento .....                         | 17        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.9 – Perdas por percolação .....                             | 18        |
| <b>4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                      | <b>19</b> |
| 4.1 – Pressão e vazão do pivô .....                           | 19        |
| 4.2 – Lâminas médias coletadas com os raios simultâneos ..... | 20        |
| 4.3 – Uniformidade de aplicação de água .....                 | 20        |
| 4.4 – Índices de eficiência e perda por percolação .....      | 23        |
| <b>5 – CONCLUSÕES .....</b>                                   | <b>26</b> |
| <b>6 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                   | <b>26</b> |
| <b>APÊNDICE .....</b>   | <b>27</b> |

**LISTA DE TABELAS**

| Tabela |  | Páginas |
|--------|--|---------|
| 1      | Relações entre sistemas de alta e baixa pressão, e LEPA.....   | 6       |
| 2      | Pressão e horas de operação, altura monométrica total e eficiência de irrigação em função do sistema usado pelo pivô central. .... | 6       |
| 3      | Pressão recomendada e raio de alcance para diferentes tipos de sistemas de pivô central .....                                      | 14      |
| 4      | Pressão e vazão ao longo das bases.....  | 19      |
| 5      | Vazão aplicada ao longo do pivô por quartil.....   | 20      |
| 6      | Coefficientes de uniformidade por base em raio individual e com os raios simultâneos.....  | 25      |

**LISTA DE FIGURAS**

| Figuras |  | Páginas |
|---------|--|---------|
| 1       | Perfil de precipitação ao longo da linha lateral do pivô na base 2 ..... | 21      |
| 1.1     | Perfil de precipitação ao longo da linha lateral do pivô na base 4.....  | 22      |
| 1.2     | Perfil de precipitação ao longo da linha lateral do pivô na base 5.....  | 22      |

**APÊNDICE**

| Quadro |   | Páginas |
|--------|---|---------|
| 1      | Resultado dos volumes coletados no raio N (ml) na base 2..... | 32      |
| 2      | Resultado dos volumes coletados no raio S (ml) na base 2..... | 33      |
| 3      | Resultado dos volumes coletados no raio L (ml) na base 2..... | 34      |
| 4      | Resultado dos volumes coletados no raio W(ml) na base 2.....  | 35      |
| 5      | Resultado dos volumes coletados no raio N (ml) na base 4..... | 36      |
| 6      | Resultado dos volumes coletados no raio S (ml) na base 4..... | 38      |
| 7      | Resultado dos volumes coletados no raio L (ml) na base 4..... | 40      |
| 8      | Resultado dos volumes coletados no raio W (ml) na base 4..... | 42      |
| 9      | Resultado dos volumes coletados no raio S (ml) na base 5..... | 44      |
| 10     | Resultado dos volumes coletados no raio L (ml) na base 5..... | 46      |
| 11     | Resultado dos volumes coletados no raio W (ml) na base 5..... | 48      |

**RESUMO****DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO,  
TIPO PIVÔ CENTRAL REBOCÁVEL**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a performance de um pivô central rebocável em nível de campo, na Fazenda Capim, localizada no município de Capim-PB. Os resultados da avaliação do equipamento nas três bases estudada levaram a concluir que: o equipamento apresentou bons resultados quando analisado como um todo para as base, constatou-se problemas de uniformidade e de eficiência em alguns setores quando a análise foi feita por raio individualmente, indicando setores com déficit e outros com excesso de água, o equipamento apresentou seus piores resultados quando foi avaliado na base 5, verificou-se que existe uma dispersão das lâminas de água aplicadas em relação ao valor médio, em todas as bases estudadas, as pressões de entrada do pivô nas bases, 4 e 5 estão muito abaixo da pressão recomendada o que resultou numa baixa vazão nestas bases.

**Palavras-chave:** irrigação, manejo, variabilidade.

**BSTRACT****PERFORMANCE OF TOWABLE CENTER PIVOT TYPE SPRINKLER  
IRRIGATION SYSTEM**

The objective of this work was to evaluate the performance of a towable pivot center in the field on Fazenda Capim in the municipal district of Capim-PB. The results of the equipment evaluation of the three studied bases showed that the equipment presented good results when analyzed as a whole for them. Uniformity and efficiency problems in some sections were analyzed when the analysis was individually made by ratio, indicating sections with deficit and other with excess of water. The equipment presented their worst results when it was evaluated in base 5. It was verified a dispersion of the applied water sheets in relation to the mean value, in all studied bases. The pressures on pivot in bases 4 and 5 are a lot below the recommended pressure and resulted in low flow in these bases.

**KEYWORDS:** irrigation, management, variability

## 1 - INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas onde e quando as dotações pluviométricas, ou qualquer outra forma natural de abastecimento, não é suficiente para suprir as necessidades hídricas das plantas. Constitui-se numa atividade atualmente imprescindível para qualquer agricultura rentável, em quase todas as regiões e climas do nosso planeta. A água é essencial para o desenvolvimento das culturas, devendo-se fazer o melhor uso possível da água disponível para se obter produção satisfatória e altos rendimentos. Isto exige conhecimentos adequados do efeito da água de chuva ou irrigação sobre o crescimento das culturas e seu rendimento em diferentes condições do ciclo vegetativo.

No mundo moderno, cerca de 5% a 6% das áreas agricultáveis (230 – 240 milhões de hectares) são irrigados e fornecem alimentos para mais de 40% da população global. Isto é possível devido a vários métodos e sistemas desenvolvidos e aperfeiçoados nos últimos 50 anos de tecnologia liderada por Israel e pelos Estados Unidos.

O aumento da produção agrícola está diretamente relacionado com a utilização de sistemas de irrigação eficientes, que garante um bom retorno do investimento aplicado pelo produtor, pois permite um melhor aproveitamento da água aplicada e maiores números de colheitas em um determinado período.

Um bom sistema de irrigação deve distribuir água uniformemente, até determinada profundidade, proporcionando umidade necessária ao desenvolvimento normal das espécies vegetais. As medidas de uniformidade expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo. Uma maneira usual de obtê-las é por meio de medidas de dispersão, expressando a forma adimensional, pela comparação com o valor médio, (FRIZZONE, 1992).

Segundo a forma de aplicação de água às plantas, os métodos de irrigação podem ser divididos em duas categorias: a irrigação pressurizada e não pressurizada também conhecida



como irrigação por gravidade. Os métodos pressurizados por sua vez podem ser divididos em irrigação por aspersão e irrigação localizada. Os sistemas de irrigação por aspersão têm alcançado níveis consideráveis de evolução nos últimos anos, demonstrando que esta tecnologia encontrou condições ideais para sua aplicabilidade em várias regiões do Brasil. Um dos problemas destes sistemas de irrigação é a má uniformidade de distribuição de água, sendo seu conhecimento de fundamental importância, já que ela intervém na qualidade da irrigação e conseqüentemente nos rendimentos das culturas.

Levando em consideração a ausência de avaliação em nível de campo do sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central na grande maioria dos municípios paraibano, como também, números limitados de trabalhos de pesquisa que se refiram é que se torna pertinente a presente proposta do projeto.

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a performance de um pivô rebocável ao nível de campo, na Fazenda Capim II no município de Santa Rita, PB. E tem como objetivos específicos, estudar o comportamento da vazão e pressão, bem como o coeficiente de uniformidade e índice de eficiência ao longo das bases de instalação do pivô.

## 2 – REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos gerais do sistema de irrigação pivô central

A irrigação é hoje uma técnica absolutamente necessária para implantação de uma agricultura racional, que garante uma maior produtividade e um produto de melhor qualidade, principalmente em regiões de clima árido ou semi-árido. Existem basicamente quatro formas de aplicação de água às áreas irrigadas, que caracterizam os principais sistemas de irrigação: através da superfície do solo, de aspersores que aplicam água a toda área, de emissores que localizam a aplicação de água às áreas de interesse, e do movimento ascensional do lençol freático (SCALOPPI, 1986). No sistema de irrigação por aspersão, a aplicação de água ao solo resulta da subdivisão de um jato de água lançado sob pressão no ar atmosférico, através de simples orifícios ou bocais de aspersores. A razão de aplicação de água, bem como a quantidade de água aplicada, pode ser facilmente adaptada às exigências do projeto.

Os principais sistemas por aspersão estão classificados como: sistemas convencionais, sistema de montagem direta, sistemas de aspersores autopropelidos e sistemas de linhas laterais autopropelidos.

O sistema de irrigação pressurizado tipo pivô central tem como vantagens principais economia de mão de obra e economia de tubulações e como limitação o alto consumo de energia. O pivô quando bem dimensionado apresenta uma boa uniformidade de aplicação de água. Em virtude da utilização contínua do equipamento (se pode irrigar durante 24 horas por dia) o emprego do sistema pivô central bastante vantajoso, por permitir a aplicação de pequenas lâminas de irrigação em curtos intervalos de tempo. Dessa forma, a umidade do solo estará sempre próxima à capacidade de campo, e as perdas de água por percolação serão mínimas, (GOMES, 1994).

O pivô central consiste numa linha lateral com aspersores, autopropelidos, que se movimentam em círculo e em torno de um ponto a uma velocidade prefixada e constante. Por causa do sistema ser autopropelido, a mão-de-obra fica substancialmente reduzida na operação da irrigação. Permite também a aplicação direta de fertilizantes e defensivos. Segundo Gentil (2000), o Brasil tinha em 1999, aproximadamente 300 mil hectares irrigados com pivô central em um total de 4100 unidades de 30 a 120 hectares cada um. De acordo com Christofidís (1999) o Brasil em 1998, possuía 549.286 mil hectares irrigado por pivô central, correspondendo a 19,1% do total da irrigação do País.

O pivô central permite o uso de um aspersor de alta pressão no final de sua lateral, com a finalidade de aumentar a área irrigada e reduzir os custos totais do sistema por hectare. Entretanto, o uso destes aspersores no final na linha lateral, que funciona com aspersores de baixa pressão, requer uma pressurização adicional (bomba booster) a fim de não comprometer o desempenho do sistema, (SCALOPPI & ALLEN 1993).

De acordo com Lopez (1975) o elemento climático de maior importância na aspersão é o vento, devendo-se ter, por um lado, uma idéia aproximada de sua velocidade que desempenha um papel significativo na eficiência de aplicação.

Matsura (1987) e Frizzone (1992), citam o coeficiente de uniformidade de distribuição, a eficiência de aplicação, a eficiência de distribuição, a eficiência de aplicação em potencial, a eficiência de armazenamento e perdas por percolação profunda como parâmetros para testar a qualidade da irrigação no sistema pivô central.

## 2.2 – vazão e pressão

No pivô central cada unidade de comprimento tem que irrigar uma maior área, à medida que se afasta do centro do pivô. Sendo assim, para se ter uma aplicação uniforme, é necessário que a vazão aplicada por unidade de comprimento aumente à medida que se afastar do centro do pivô (BERNARDO, 1995). A lâmina de água que é requerida numa irrigação independe do tipo de sistema de irrigação em uso, mas a lâmina aplicada, que é a razão entre a quantidade de água requerida e a eficiência do sistema, é uma função da eficiência de aplicação a qual depende do equipamento de irrigação e práticas de manejo usado pelo agricultor, (GILLEY & SUPALLA, 1983).

Considerando que em muitos pivôs existe um aspersor canhão no final da lateral, Keller e Blinier (1990) apresentam a seguinte equação para determinar a capacidade do sistema.

$$Q_s = K \frac{A * d}{f * T} \quad (1)$$

Onde:

$Q_s$  – capacidade do sistema ( $l s^{-1}$ );

$K$  – 2,78 (constante de conversão);

$A$  – área irrigada (ha);

$d$  – lâmina bruta (mm);

f – tempo de operação para uma irrigação completa;

T – tempo de operação do sistema diário ( $\text{hdia}^{-1}$ ).

A capacidade requerida pelo sistema pivô central depende do tamanho de área a ser irrigada, de lâmina bruta necessária a cada irrigação e do tempo necessário para aplicar essa lâmina.

De acordo com Assis (1990), a pressão no ponto do pivô, ou seja, a pressão no início da tubulação principal, não influencia a uniformidade, mas sim a pressão do bocal quando o sistema apresenta regulador de pressão, e a velocidade de operação do sistema não influencia nos resultados do coeficiente de uniformidade, sendo que com elevadas velocidades de vento, associadas à pressão de serviço dos bocais superior à recomendada, provocam baixos valores de coeficiente de uniformidade em alguns raios, devido à redução da superposição do jato pulverizado. A pressão também pode influenciar na uniformidade de distribuição de águas dos sistemas de irrigação por aspersão; Kincaid & Heermann (1969) comentam que devem ser mantidas pressões adequadas através do sistema de irrigação para se obter as vazões desejadas e uma aplicação uniforme de água pelos aspersores.

A necessidade de reduzir o consumo de energia e ao mesmo tempo, manter a uniformidade e a eficiência de aplicação de água passou a ser uma grande preocupação. Segundo Gilley e Watts (1977) e Gilley et al. (1990), a redução de pressão de operação pela utilização de emissores de baixa pressão é a maneira mais fácil de reduzir o consumo de energia dos sistemas pivô central. Os emissores de baixa pressão foram desenvolvidos para substituir os tradicionais aspersores de impacto, aplicando a mesma lâmina de água, com uniformidade comparável e menor utilização de energia. Para Folegatti et al. (1998) pivô central que trabalha com pressão reduzida tende a apresentar problemas de manejo de água e solo, com aumento da taxa de aplicação (predisposição para escoamento superficial), perdas pelo vento e evaporação, além de redução na uniformidade devido a menor superposição. De acordo com New & Fipps (2001) emissor de impacto de alta pressão eram prevaletidos nos anos sessenta quando os princípios de energia e a conservação da água não pareciam tão importantes. Para New & Fipps (2001), a aplicação de água é muito eficiente quando os aplicadores são posicionados de 0,40 a 0,45 m sobre a superfície do solo, de forma que a água é aplicada dentro da cultura. Quando não houver nenhum vento, aplicadores de baixa pressão distanciados de 1,5 a 2,1 m sobre a superfície do solo, pode aplicar água com eficiência acima de 90%, (New & Fipps, 2001).

Para New & Fipps (2001), comentam sobre um sistema de aplicação de precisão e de baixa energia denominado de LEPA. Neste sistema os aplicadores estão situados de 0,30 a 0,45 sobre a superfície do solo.

Broner (2002) estudando pressão típica, taxa de aplicação, tamanhos das gotas, evaporação e perdas pelo vento para sistemas com emissores de LEPA, alta e baixa pressão descreve a seguinte TABELA:

A tabela 2, descrita por Fipps & New (1990) mostra a relação entre pressão, horas de operação, altura monométrica total e eficiência de irrigação em função do sistema usado pelo pivô central.

TABELA 1 Relações entre sistemas de alta e baixa pressão, e LEPA

| Sistemas (pressão)   | alta                           | baixa                          | LEPA               |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Pressão típica (Psi) | 80                             | 35                             | 25                 |
| Taxa de aplicação    | baixa                          | alta                           | muito alta         |
| Tamanho das gotas    | grande                         | pequena                        | variável           |
| Evaporação e perdas  | depende da velocidade do vento | pequena usando tubo de descida | nenhuma pelo vento |

TABELA 2. Pressão e horas de operação, altura monométrica total e eficiência de irrigação em função do sistema usado pelo pivô central.

| Sistemas                | Horas de operação (1) | TDH (2) (Ft) | Eficiência (3) (%) |
|-------------------------|-----------------------|--------------|--------------------|
| Alta pressão de impacto | 250                   | 509          | 60                 |
| Baixa pressão           | 1875                  | 393          | 80                 |
| LEPA                    | 1579                  | 347          | 95                 |

- (1) Horas anuais comuns de operação que responde pela eficiência de aplicação de cada sistema.
- (2) TDH = cabeça dinâmica total = bombeando elevador + perdas de fricção + pressão operacional.
- (3) Eficiência de aplicação assumido por cada sistema.

### 2.3 – Uniformidade de distribuição de água

Pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) a uniformidade de distribuição de água na aspersão é a estimativa da uniformidade de precipitação sobre o terreno.

Atualmente, o conceito de uniformidade de distribuição da água em irrigação por aspersão tem tido um grande avanço. Devido à crescente necessidade de conservação do recurso água; à competitividade pela água; ao custo da energia; ao custo dos insumos, e à estabilização dos preços dos produtos agrícolas, os sistemas de irrigação e os métodos de manejo da água devem proporcionar uma aplicação uniforme e eficiente. Em uma irrigação com baixa uniformidade, algumas zonas recebem menos água que a quantidade necessária, o que pode acarretar prejuízos para o desenvolvimento das plantas. Da mesma forma as partes irrigadas que recebem uma quantidade de água superior à necessária, estarão sujeitas a encharcamento e erosão do solo, ou no melhor dos casos a perdas de água por percolação e lavagem de nutrientes, (COELHO,1990).

No sistema de irrigação pivô central (rebocável) o movimento descontínuo da lateral afeta a uniformidade de distribuição dos sistemas móveis de irrigação (Hanson & Wallender, 1986), especialmente quando o raio de alcance dos emissores é próximo do espaço percorrido pelas torres do pivô em cada deslocamento (GILLEY & MIELKE, 1980). Este decréscimo na uniformidade será importante quando pivôs equipados com sprays de baixa pressão forem utilizados em quimigação (HEERMANN et al., 1990).

Para Ring & Heermann (1978), a uniformidade de distribuição de água é uma característica que pode ser usada para comparar sistemas. Uma uniformidade pobre resulta num excesso e/ou déficit dentro de uma área cultivada. Assim um sistema de baixa uniformidade, para obter os mesmos rendimentos culturais, deve aumentar a distribuição de água. Grande número de sistemas de aspersão, principalmente o de pivô central fazem aplicações de produtos químicos, sendo que, nesse caso, as áreas com baixa uniformidade recebem uma excessiva aplicação produzindo efeitos danosos à cultura.

A irrigação por aspersão tem como um dos seus objetivos distribuir a água uniformemente sobre o solo de tal maneira que esta possa se infiltrar sem que ocorram perdas por escoamento superficial, no entanto sabe-se que diversos fatores contribuem para a desuniformidade de aplicação de água por parte deste sistema, tais como tamanho e tipo de bocal dos aspersores, pressão de serviço, velocidade, direção do vento e temperatura local. A ação destes fatores geralmente é avaliada em termos de um coeficiente de uniformidade, através do qual pode ser analisada a performance do sistema. Existem alguns critérios que

permitem avaliar o grau de uniformidade da irrigação por aspersão. O mais conhecido e mais utilizado é o método proposto por Christiansen, cujo coeficiente de uniformidade (CUC) se determina através de dados experimentais, obtidos com aspersores rotativos instalados no campo (GOMES 1994 e BERNARDO 1995).

Segundo Bernardo (1995), as razões que justificam o uso do pivô central são a economia da mão-de-obra e alta produtividade. Para obter alta produtividade é preciso irrigar com boa frequência e boa uniformidade. A possibilidade de irrigação com alta frequência é inerente ao sistema pivô central. Quanto à uniformidade de aplicação, na irrigação com pivô central facilmente se obtém  $CUC \geq 80\%$ . Normalmente, recomendam-se os seguintes valores de CUC:

- Cultivar com alto valor comercial ou sistema radicular raso:  $CUC \geq 88\%$ ;
- Cultivar extensivo e sistema radicular médio: CUC de 80 a 90%;
- Cultivar com sistema radicular profundo: CUC de 75 a 85%.

Apesar da alta uniformidade da aplicação de água, típica dos pivôs centrais, é comum obter-se considerável variação na produção dentro da mesma área cultivada. Tal variação é, frequentemente, atribuída a variabilidade espacial na capacidade do solo em reter água e nutriente; entretanto, outro fator que deve ser considerado dentro desse contexto é a ocorrência do escoamento superficial em algumas regiões dentro da área cultivada (RODRIGUES et. al 2001)

Em irrigação por aspersão altos índices de uniformidade em geral estão relacionados com menores espaçamentos entre aspersores, proporcionando um elevado custo do sistema de irrigação. Para cultura de alto valor econômico, especialmente aquelas de sistema radicular pouco profundo, o mais econômico sistema de irrigação geralmente é aquele que proporciona alta uniformidade de distribuição de água (CUD superior a 80% ou CUC superior a 88%). Para culturas com sistema radicular profundo, como frutíferas, especialmente onde a irrigação é suplementar, os valores de uniformidade de distribuição podem ser menores (CUD de 50 a 70% ou CUC de 70 a 82%). Para culturas com profundidade média do sistema radicular, recomenda-se entre 70 a 80% para CUD e 82 a 88% para CUC, (Frizzone, 1992). Zocoler (1999) recomenda valores entre 70 a 80% e 82 a 88% para CUD e CUC, respectivamente, para as culturas cujo sistema radicular explora, basicamente, os primeiros 40 cm de solo. Muitos pesquisadores têm avaliado os diversos sistemas de irrigação pela uniformidade de distribuição de água na superfície do solo. Segundo Rocha et al. (1998) a avaliação desses parâmetros apenas por medida na superfície

do solo, desconsiderando-se a redistribuição da água no seu perfil, que é tridimensional e de grande importância nas relações água-solo-planta, pode subestimar sua eficiência de funcionamento.

Coefficiente de uniformidade abaixo da superfície do solo possui valores mais altos que os valores acima da superfície o que quer dizer que a uniformidade subsuperficial pouco depende da uniformidade acima da superfície (REZENDE et al., 1993).

No dimensionamento de um pivô central o coeficiente de uniformidade é de fundamental importância. Para computar a uniformidade atual torna-se necessário o reconhecimento de dados de topografia da área, detalhes e informações sobre o pivô, tais como seqüência de início e parada de funcionamento em cada torre, a correta localização dos aspersores, bem como os espaçamentos entre os bocais ao longo da linha lateral, Wilmes et al. (1994).

Valores bem comuns de coeficiente de uniformidade para pivô central bem dimensionado com aspersores de impactos estão compreendidos em uma faixa de 93 a 96%, enquanto que os pivôs com aspersores tipo difusores possuem um coeficiente de uniformidade no intervalo de 91 a 95%, Keller & Bliesner, (1990).

Para Abo-Ghobar (1992), os parâmetros usados para se avaliar um sistema de irrigação tipo pivô central são: uniformidade de distribuição (CUD), eficiência potencial de aplicação (EPA), e o coeficiente de uniformidade de Christansen (CUC). Os valores de CUD menores que 67% não é considerado aceitável, e 90% é o máximo admitido. Os valores de EPA são geralmente inferior aos valores de CUD, valor de CUC menor de 75% é considerado inaceitável.

Segundo Lopez (1975), o vento é o fator que produz maiores variações na uniformidade de distribuição de água. A sua velocidade tem um papel importante na eficiência do sistema. Conforme analisa Fry & Gray (1969), o vento é um fator que não pode ser controlado, embora se possa minimizar os seus efeitos na uniformidade de distribuição de água com o emprego correto de alguns parâmetros calculados no projeto.

A pressão também pode influenciar na uniformidade de distribuição de águas dos sistemas de irrigação por aspersão; Kincaid & Heermann (1969) comentam que devem ser mantidas pressões adequadas através do sistema de irrigação para se obter as vazões desejadas e uma aplicação uniforme de água pelos aspersores.

De acordo com Assis (1990), a pressão no ponto do pivô, ou seja, a pressão no início da tubulação principal, não influencia a uniformidade, mas sim a pressão do bocal quando o sistema apresenta regulador de pressão, e a velocidade de operação do sistema não



influencia nos resultados do coeficiente de uniformidade, sendo que com elevadas velocidades de vento, associadas à pressão de serviço dos bocais superior à recomendada, provocam baixos valores de coeficiente de uniformidade em alguns raios, devido à redução da superposição do jato pulverizado.

Para James & Blair (1984), Denículi et al. (1993) e Miranda et al. (1994), a utilização de tubos de descida prejudica a sobreposição dos jatos, provocando um decréscimo na uniformidade de distribuição da água.

### **2.3 – Eficiência de aplicação na aspersão**

Eficiência de aplicação na aspersão é a estimativa da percentagem do total de água aplicada na irrigação por aspersão que atinge a superfície do solo e/ou as plantas (ABNT, 1994).

Gomes (1994), define eficiência de aplicação como sendo a relação entre a quantidade de água retirada no solo, a disposição das raízes das plantas e a quantidade de água aplicada. Em geral a eficiência de aplicação da irrigação por aspersão varia durante o dia entre 60%, em zonas semi-áridas, a 75%, em zona de clima moderado.

Keller (1984), afirma que a eficiência da aplicação é o parâmetro mais usado na definição da eficiência de irrigação por aspersão. O autor define eficiência de aplicação como sendo a razão entre a altura da lâmina de água armazenada na zona radicular e a altura média de água aplicada. A eficiência oferece uma indicação das perdas, no entanto, pode não fornecer boa adequacidade da irrigação, pois em uma irrigação deficiente pode se alcançar valores de até 100%. A eficiência estima a perda de água por evaporação e por arrastamento pelo vento, no trajeto das gotas. Velocidade do vento, umidade relativa do ar, e a temperatura, são as principais variáveis que afetam estas perdas.

As medidas de eficiência quantificam fisicamente a qualidade de irrigação, por incorporarem algumas conseqüências da uniformidade. Se por um lado às medidas de uniformidade dependem somente do grau de dispersão com que a água é aplicada, por outro lado, as medidas de eficiência dependem tanto da uniformidade como da forma com que o sistema de irrigação é operado, (FRIZZONE, 1992).

Segundo Bernardo (1995), os principais elementos climáticos que afetam o uso da irrigação por aspersão são: o vento, a umidade relativa do ar e a temperatura. A uniformidade de distribuição dos aspersores é afetada pelo vento, juntamente com a temperatura e a umidade relativa do ar, que afetam a perda de água por evaporação.

## 2. 4 – Perdas de água na irrigação por aspersão

Na irrigação por aspersão as perdas de água que podem ocorrer são conseqüências da deriva pelo vento, da evaporação, da percolação abaixo da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e do escoamento superficial para fora da área irrigada.

Para Scaloppi (1986), parte da água lançada sob pressão no ar, através dos bocais dos aspersores, evapora-se antes de atingir a superfície do solo ou as plantas. A amplitude dessas perdas depende das dimensões das gotas e do poder evaporativo da atmosfera. Perdas maiores estão associadas a um aumento da temperatura, a velocidade do vento, a pressão de operação e a fragmentação do jato, a uma redução da umidade relativa do ar e do diâmetro dos bocais. As perdas ocasionadas pela deriva ao vento assumem valores típicos, variáveis entre 5 e 10%, Keller & Bliesner (1990).

Medeiros Filho (1983) citando Hermsmeir (1973), afirma que as perdas por evaporação na irrigação por aspersão podem ser minimizadas ajustando-se adequadamente a pressão de funcionamento, (o diâmetro dos bocais do aspersor e o tempo de operação do sistema).

Bernardo (1995) afirma que as perdas são inversamente proporcionais à duração da irrigação e, em geral, 3 a 4 vezes maiores durante o dia do que à noite.

Medeiros Filho (1983), citando Sternberg (1967) em trabalho realizado na Califórnia estudou as perdas de água por evaporação de um sistema de irrigação por aspersão. Os resultados obtidos demonstram que para os teste realizados durante o dia, com velocidade do vento entre 3,2 kmh<sup>-1</sup> e 6,5 kmh<sup>-1</sup>, temperatura do ar entre 27,7 e 33,3 °C e umidade relativa entre 24 e 46%, as perdas variam de 17 a 25% da vazão dos aspersores. Essas perdas caíram para uma faixa de 11 a 16% para os testes realizados durante a noite nas mesmas condições de velocidade do vento, mas com temperatura do ar abaixo de 21 °C e umidade relativa acima de 61%.

Paz (1990), encontrou perdas de água variando de 17 a 43% do volume aplicado, valores estes resultantes do somatório das perdas por evaporação e arrastamento pelo vento. O experimento foi conduzido em São Gonçalo – PB, no qual a velocidade do vento variou entre 3,2Km/h a 16,6 kmh<sup>-1</sup>, temperatura média do ar entre 26 e 35 °C e umidade relativa média entre 24 e 26%.

Azevedo (1995) afirma que uma das maneiras de se diminuir os problemas com perdas por evaporação no sistema de aspersão tipo pivô central é aumentando o diâmetro dos aspersores.

### **3 – MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – localização dos ensaios**

Os dados de campos foram coletados na Fazenda Capim, pertencente à Destilaria Miriri do Grupo Cavalcanti de Moraes, localizada no município de Capim-PB. O solo predominante na fazenda é uma associação de Podzólico Vermelho Amarelo variação acinzentado (SUDENE, 1872). A fazenda situa-se na Latitude 6°56', na Longitude de 35°07' e tem uma área irrigada de aproximadamente 600 ha, com dois pivôs centrais rebocáveis (PV1 e PV2) que se deslocam em seis bases de 50 ha cada, sendo que os ensaios foram feitos apenas com o pivô 1 e em apenas três bases (B2, B4 e B5), Por serem estas as que mais atendiam as condições determinadas para as realizações dos ensaios dando uma área experimental de aproximadamente 150 ha, FIGURA 1. A altitude do local é de 10 mm, a temperatura média anual de 28 °C, a precipitação média anual é de 1000 mm, com seis meses seco; o clima é quente e úmido com chuvas de outono a inverno (As' segundo W. Koeppen), sendo o bioclima classificado como Mediterrâneo ou Nordeste quente de seca atenuada (SECRETARIA DE EDUCAÇÃO – PB & UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, 1985).

A fonte de água da Fazenda Capim é o açude Curralinho, que além de beneficiar a maioria dos moradores da região é utilizado na irrigação suplementar da cana-de-açúcar pelo sistema de irrigação pivô central rebocável.

#### **3.2 – Caracterização dos Sistemas de irrigação**

O pivô central rebocável avaliado apresenta baixa pressão, grande porte e vazão elevada onde sua torre central está posicionada sobre quatro rodas, sendo estas articuladas para serem posicionadas com o objetivo de ser rebocadas para as bases, maximizando o uso do sistema, o sistema é acionado por um painel digital que é instalado junto à torre central do pivô, onde através deste são inseridos seqüências de programação diferentes para o pivô executar. O sistema de irrigação tipo pivô central rebocável, da marca Irrigabrás, modelo 658R PC 07 – 638/L4/IRRIGAB, ano 1999, 7 torres móveis, comprimento total de 398,30m, com a seguinte composição estrutural: 7 lances de 6.5/8” e 01 lance balanço de

6.5/8” . Distribuídos ao longo da lateral encontrava-se 145 emissores tipo rotator/SPINNER 3000 NIC, com tubos de descida e todos apresentando reguladores de pressão LF 20 PSI ST NIC e HF 20 PSI ST NIC. O projeto foi dimensionado para trabalhar com uma pressão de 392,3 kPa, com uma velocidade de deslocamento de  $46 \text{ mh}^{-1}$  dando uma vazão de aproximadamente  $362,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  e uma lâmina de 16 mm em 22 horas permanecendo na mesma base durante dois dias.

### **3.3 – Instalação do experimento**

#### **3.3.1 – Pivô Central**

O ensaio teve seu início no dia 2 de novembro de 2000 e foi concluído em 26 de janeiro de 2001, cuja cultura instalada na área era cana-de-açúcar.

A avaliação do sistema baseou-se nas normas da ABNT (1994) constituindo-se de uma linha de coletores com diâmetro de 100 mm, e altura de 150 m. O primeiro coletor foi colocado a 3 m do ponto do pivô, sendo que os demais foram espaçados de 6 em 6 m, totalizando 66 coletores. Com a finalidade de se obter um melhor alinhamento na distribuição desses coletores utilizou-se barbantes e estacas formando 4 (quatro) eixos a partir do ponto do pivô, com ângulo de  $90^\circ$  graus entre si, medidos com o auxílio de uma bússola, formando assim 4 (quatro) raios ortogonais em relação ao ponto do pivô, identificados pelas letras N, S, L, W.

Os testes tinham seu início quando a água lançada pelo pivô central atingia o primeiro coletor, e tinha seu final quando a água deixava de atingir o mesmo, com um tempo médio de 3 horas de duração. Ao final de cada ensaio se media o volume coletado com proveta de 500 ml.

### **3.4 – Dados Coletados no campo**

#### **3.4.1 – Evaporação, Velocidade do Vento e temperatura**

Com o objetivo de determinar a evaporação durante a realização dos testes, 3 coletores com volumes de água conhecidos foram instalados próximos a área dos ensaios; no

término de cada teste media-se novamente o volume (ml), sendo a diferença correspondente a perda por evaporação. A velocidade do vento foi determinada através de um anemômetro a cada trinta minutos enquanto a temperaturas foi medida através de um termômetro com leituras no início e final de cada ensaio.

### 3.4.2 – Pressão e Vazão

No ponto do pivô foi medida a pressão através de um manômetro existente no seu centro, nos emissores e no final da tubulação a pressão foi lida através do manômetro com tubo de Pittot. Foi tomada a pressão média no início da tubulação com a finalidade de determinar se o tipo de sistema pivô central existente se enquadrava nos limites proposto por Gilley (1984), conforme a Tabela 1.

A vazão aplicada por cada emissor foi medida através de um tubo de 6 mm de diâmetro e 5 m de comprimento, em que uma boca era encaixada no emissor e a outra era direcionada para dentro de um recipiente graduado de oito litros, cronometrando-se o tempo de enchimento do recipiente, cujo valor da vazão, é a relação entre o volume e o tempo. Esta vazão foi determinada em todos os aspersores e no canhão existente no final da lateral.

TABELA 3 – Pressão recomendada e raio de alcance para diferentes tipos de sistemas de pivô central, Gilley (1984).

| Tipo de sistema                       | Pressão Aproximada do Pivô (Kpa) | Raio aproximado Aspersor (m) |
|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Aspersor de impacto com alta pressão  | 450 – 520                        | 20                           |
| Aspersor de impacto com média pressão | 275 - 350                        | 14                           |
| Aspersor de impacto com baixa pressão | 170 – 240                        | 10                           |
| Difusores 360° de pequena pressão     | 170 – 240                        | 5                            |
| Difusores 180° de pequena pressão     | 170 – 240                        | 3 <sup>a</sup>               |

a = Apenas uma direção

### 3,5 - Uniformidade de Aplicação

Para se determina à uniformidade de aplicação do sistema pivô central, instalou-se coletores (pluviômetros) numerados, em ordem crescente, a partir do ponto do pivô, e distanciados entre si de seis metros. À medida que se afasta do centro do pivô, tem-se que ponderar os valores de precipitação coletada, uma vez que cada coletor representa uma área maior. O fator de ponderação é o número de ordem do coletor, isto é, o volume ponderado equivale ao produto do volume coletado pelo número de ordem do coletor.

Calculou-se a uniformidade de aplicação isoladamente com as precipitações coletadas em cada um dos raios bem como para a média dos valores coletados nos raios, utilizando-se para tanto os seguintes coeficientes de uniformidade:

- a) Christiansen (1942) modificado por Heermann e Hein (1968)

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |Y_i - Y_{mp}|}{Y_{mp} \sum_{i=1}^n S_i} \quad (2)$$

Onde:

CUC - coeficiente de Uniformidade de Christiansen modificado por Heermann e Hein, em %;

$Y_{mp}$  - lâmina média ponderada, considerando todos os coletores, em mm;  $Y_i$ , lâmina precipitada no coletor  $i$ , em mm;  $S_i = i$ , para  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , quando os coletores estão eqüidistantes.

A lâmina de cada coletor foi determinada pela relação entre o volume coletado e a área do coletor. A relação encontrada na transformação dos volumes, em ml, nas respectivas lâminas, em mm, foi: Lâmina (mm) = 0,127 X Volume (ml).

- b) USDA (Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos), 1968.

$$CUD = \frac{Y_{mp25}}{Y_{mp}} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição, em %,  $Y_{mp25}$ , lâmina média ponderada de 25% da área total que recebeu as menores precipitações, em mm.

### 3.6 – Eficiência de aplicação

É a relação entre o volume total de água armazenado na profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e quantidade de água aplicada. Esse índice engloba a eficiência de distribuição e a eficiência em potencial de aplicação, dando idéia das perdas de água por percolação e evaporação.

$$EA = \frac{Y_s}{Y_m} * \frac{Y_m}{Ya} \quad (4)$$

Onde:

$Y_a$  - lâmina média de água aplicada, estimada com base na área irrigada, na vazão aplicada e no tempo de aplicação;

$Y_s$ , lâmina média de água armazenada no solo em disponibilidade para as plantas;

$Y_m$ , lâmina média de água coletada (infiltrada).

Ou podemos dizer que:

$$EA = ED * EPA \quad (5)$$

Onde:

ED - eficiência de distribuição, EPA, eficiência em potencial de aplicação.

A eficiência em potencial de irrigação é de fundamental importância para o Nordeste e para as regiões cuja umidade relativa é muito baixa. Segundo Bernardo (1995) ela pode ser determinada pela seguinte equação:

$$EPA = \frac{\bar{H}}{Hm} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

$\bar{H}$  - lâmina média coletada ponderada (mm);

$Hm$  - lâmina média aplicada (mm).

A lâmina média aplicada pode ser assim calculada:

$$H_m = \frac{Q.T}{10.A} \quad (7)$$

Onde:

Q - vazão do pivô central em m<sup>3</sup>/h;

T - tempo gasto por rotação em h; A, área total irrigada, em ha.

### 3.7 – Eficiência de distribuição

A eficiência de distribuição mede a água armazenada na zona efetiva do sistema radicular em relação a água infiltrada, o qual dá uma estimativa das perdas de água por percolação profunda. É descrita por Frizone (1992) como:

$$ED = \frac{Y_s}{Y_m} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

Y<sub>s</sub> - lâmina média de água armazenada no solo em disponibilidade para as plantas, que corresponde a toda lâmina menor ou igual à lâmina requerida pela cultura; Y<sub>m</sub>, lâmina média de água coletada (infiltrada).

### 3.8 – Eficiência de armazenamento

Este parâmetro define a fração da lâmina de água necessária para suprir o déficit, que se encontra armazenada na zona das raízes. É descrita por Frizone (1992) como:

$$ES = \frac{Y_s}{Y_r} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

Y<sub>r</sub> - lâmina de água total necessária para suprir o déficit hídrico.



A lâmina de água líquida necessária para suprir o déficit hídrico foi obtida através da evapotranspiração da cultura (em mm/dia), sendo, determinada a partir do tanque classe "A" através da equação.

$$ETP_c = K_t \times E_v \times K_c \quad (10)$$

Onde:

$K_t$  - Coeficiente do tanque classe A, que é função dos dados meteorológicos da região e do meio em que foi instalado o tanque o valor estimado foi 0,7;

$E_v$  - Evaporação média do tanque em mm/dia;

$K_c$  - Coeficiente de cultivo.

### **3.9 – Perda por percolação, Evaporação e arrastamento pelo vento.**

Perda por percolação é a relação entre a quantidade de água percolada abaixo do sistema radicular e a quantidade total aplicada. Pode ser determinada pela equação proposta por (FRIZONE, 1992):

$$PP = 100 - ED \quad (11)$$

As perdas por evaporação e arrastamento pelo vento podem ser determinadas pela seguinte equação: (ALVES e CASTRO, 1996).

$$PEV = 100 - EPA \quad (12)$$

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Pressão e vazão do pivô

Os resultados da avaliação do pivô central no que diz respeito à vazão e pressão por base estão apresentados na Tabela 4.

Constata-se, pelos resultados apresentados na Tabela 4, que a menor vazão foi determinada na base 5, devido esta apresentar a menor pressão, uma vez que a vazão é função da pressão de operação do sistema, ou seja, baixa pressão acarreta em baixa vazão. A baixa pressão anotada na base 5, deve-se ao fato de que esta é abastecida por uma adutora de 700 m, o que contribuiu para uma maior perda de carga. A base 4 apresenta problemas semelhantes ao da base acima citada, sendo o seu desempenho um pouco melhor, devido a sua base ser abastecida por uma adutora menor (300 m) o que de certa forma ajudou para uma menor perda de carga. A base 2 registrou a maior pressão e conseqüentemente uma maior vazão entre as bases estudadas, uma vez que esta base capta água diretamente de um canal próximo a base o que favorece a uma menor perda de carga.

Estas diferentes vazões decorrentes de alterações da pressão resultam em variações nas precipitações. Observa-se que esta alteração de pressão provoca variação de vazão e conseqüentemente desuniformidade na aplicação de água. Assis (1990), afirma que quando um pivô central trabalha com regulador de pressão, quem influencia a uniformidade é a pressão do bocal e a velocidade de operação do sistema e não a pressão no ponto do pivô.

TABELA 4 – Pressão e vazão ao longo das bases.

| Base | Pressão de projeto (kPa) | Pressão encontrada (kPa) | Vazão projetada ( $m^3h^{-1}$ ) | Vazão encontrada ( $m^3h^{-1}$ ) |
|------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 2    | 392,3                    | 392,3                    | 362,47                          | 377,1                            |
| 4    | 392,3                    | 294,3                    | 362,47                          | 338,1                            |
| 5    | 392,3                    | 196,1                    | 362,47                          | 228,2                            |

Kincaid & Heermann (1969) comentam que devem ser mantidas pressões adequadas através do sistema de irrigação para se obter as vazões desejadas e uma aplicação uniforme de água pelos aspersores.

A Tabela 5 relata a vazão aplicada por quartil ao longo do pivô nas bases 2, 4 e 5. Observa-se que de um modo geral a vazão diminui com o posicionamento do pivô em cada base. No que diz respeito aos quartis observa-se que, o 1º quartil foi o que apresentou maior vazão, a menor vazão foi anotada no 4º quartil para todas as bases estudadas. Quanto mais perto do pivô maior foi a vazão encontrada. Na base 2 a diferença entre o 1º e o 4º quartil ficou em torno de 18,35%, enquanto que na base 4 e 5 esta diferença está em torno de 36,74 e 34,96% respectivamente, mostrando que a base 2 possui uma melhor uniformidade que as demais bases.

TABELA 5 – Vazão aplicada ao longo do pivô por quartil

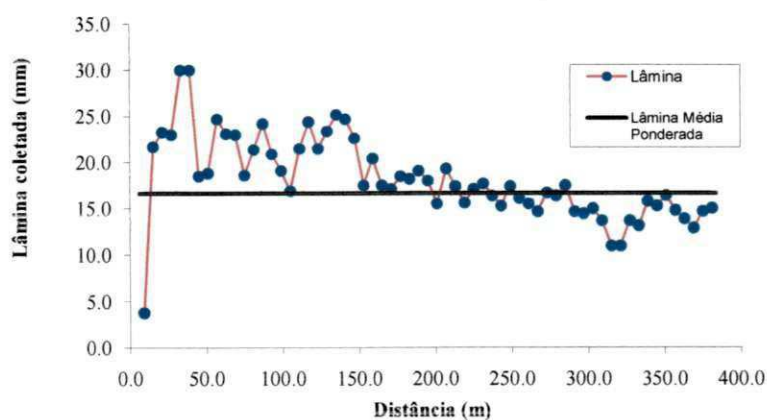
| Base | 1º                                  | 2º                                  | 3º                                  | 4º                                  |
|------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|      | R = 199,5 (m)                       | R = 82,7 (m)                        | R = 63,4 (m)                        | R = 53,4 (m)                        |
|      | Q (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) | Q (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) | Q (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) | Q (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) |
| 2    | 98,1                                | 103,9                               | 95,0                                | 80,1                                |
| 4    | 100,7                               | 96,3                                | 77,4                                | 63,7                                |
| 5    | 73,5                                | 55,5                                | 51,4                                | 47,8                                |

1º, 2º, 3º e 4º = (quartil)

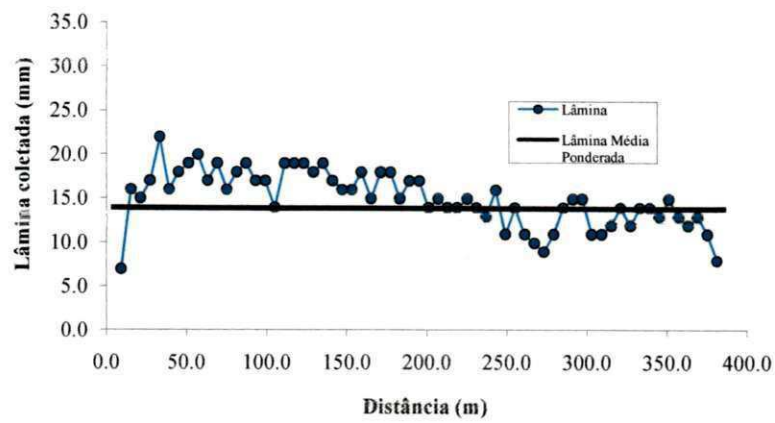
#### 4.2 – Lâminas médias coletadas com os raios simultâneos

O perfil de precipitação por base ao longo da lateral do pivô encontra-se na Figura 2, 2.1 e 2.2. Os valores da lâmina coletada foram submetidos ao processo da média móvel, por 3 vezes, conforme utilizado por Kelso & Gilley (1983) e Pessoa (1994), para suavizar a curva e visualizar a tendência dos dados. Nas figuras abaixo se observa que, existe uma grande dispersão das lâminas de água aplicadas em relação ao valor médio e que a lâmina média coletada foi inferior à lâmina média projetada em que o equipamento aplicou menor quantidade de água que o projetado, podendo comprometer a eficiência de aplicação de água no solo. Analisando-se a Figura 2, observa-se que foi na base 2 que o equipamento aplicou a maior quantidade de água, em relação as Figuras 2.1 e 2.2 e que sua maior deficiência de

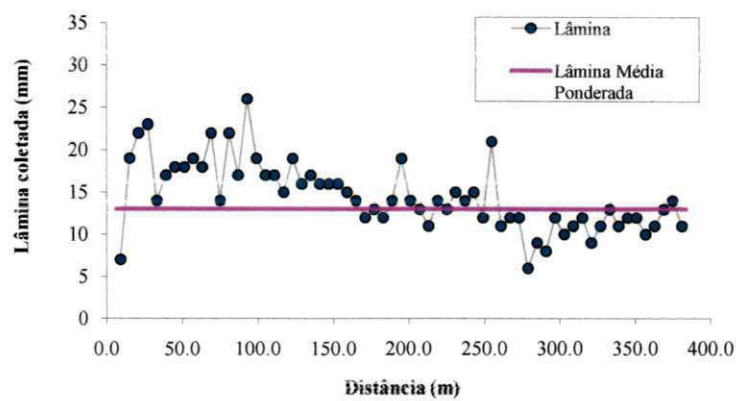
água encontra-se a partir de 250 m de distância. A este melhor desempenho constatado na base 2 como mostra a Fig. 1, se deve ao fato desta captar água diretamente do canal construído nas suas proximidades, o que de certa forma favorece a uma menor perda de carga, conseguindo esta base fornecer uma pressão no ponto do pivô igual a projetada vê a Tabela 3, enquanto que a base 4 e 5 capta água da adutora de 300 e 700 m, respectivamente, o que favorece a uma maior perda de carga. Apesar da base 5 possuir uma pressão de 33,4% inferior a pressão da base 4 como mostra a Tabela 3, se compararmos as suas lâminas média como é relatada na Fig. 1.1 e 1.2, esta diferença não foi tão relevante, ficando a lâmina média da Fig. 1.2, 6,47% inferior ao da Fig. 1.1.



**Figura 1.** Perfil de precipitação ao longo da linha lateral do pivô na base 2



**Figura 1.1** Perfil de precipitação ao longo da linha lateral do pivô na base 4



**Figura 1.2** Perfil de precipitação ao longo da linha lateral do pivô na base 5

### 4.3 – Uniformidade de aplicação de água

A Tabela 7 relata os resultados dos coeficientes de uniformidade por base para os raios individualmente, quanto para a média dos valores das precipitações consideradas simultaneamente, de acordo com a metodologia proposta por Christiansen, modificado por Heermann & Hein (1968), USDA (1968).

Observa-se pelos resultados da Tabela 7, que entre as bases analisadas a base 2 foi a que obteve melhor desempenho, ficando o pior resultado registrado na base 5. Para todos os coeficientes estudados o raio N da base 4 foi o que apresentou maiores valores. Os piores valores foram encontrados no raio S da base 5, conseqüentemente as plantas localizada nesta faixa de atuação do pivô central (rebocável) sofreram os efeitos de déficit ou excesso de água.. De maneira geral, os valores dos coeficientes de uniformidade por raios individuais foram menor do que os calculados com a média das precipitações dos raios simultâneos. Esta tendência também foi detectada por Soares et al (1992), por exemplo, o valor médio do CUC por raio foi de 81,5%, enquanto que o CUC foi de 85% quando calculado pela precipitação média dos raios. Por isso a importância de se calcular raio por raio, para observar os pontos de baixa uniformidade.

Tabela 7 - Coeficientes de uniformidade por base em raio individual e com os raios simultâneos.

| Raios<br>Coeficientes (%) /<br>base | N    | S    | L    | W    | Média dos raios<br>Simultâneos |
|-------------------------------------|------|------|------|------|--------------------------------|
| <b>CUC base 2</b>                   | 81,4 | 80,3 | 84,5 | 79,4 | 85,2                           |
| <b>CUC base 4</b>                   | 87,5 | 80,0 | 83,0 | 71,8 | 84,6                           |
| <b>CUC base 5</b>                   | —    | 70,0 | 81,8 | 81,0 | 81,0                           |
| <b>CUD base 2</b>                   | 73,7 | 72,3 | 74,2 | 75,4 | 79,5                           |
| <b>CUD base 4</b>                   | 75,7 | 71,8 | 74,9 | 67,0 | 78,4                           |
| <b>CUD base 5</b>                   | —    | 57,0 | 74,4 | 79,0 | 77,0                           |

Ao avaliar-se o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), observa-se que este possui os menores valores quando comparado com os valores do CUC. Sendo, essa observação comumente aceita, já que, para o cálculo do CUD considera-se a lâmina média ponderada de 25% da área total que recebeu as menores precipitações.

Soares et al (1992), analisando um sistema pivô central, trabalhando com aspersores de baixa pressão, encontraram valores médios de 63% para CUC e 53% para o CUD. Pessoa & Folegatti (1995), avaliando o desempenho de um sistema pivô central, com diferente configuração de emissores, encontraram valor de 88% para o CUC, quando utilizou-se difusores fixos. Folegatti et al. (1998) estudando o desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão obteve valores de 91,1% para o CUC e 85,9% para o CUD.

Valores típicos de coeficiente de uniformidade para pivô central bem dimensionado com aspersores tipo difusores estão no intervalo de 91 a 95% (Keller & Blisner, 1990). Para o caso das plantas forrageiras Merrian (1973) e Bernardo (1995), recomendam valores de coeficiente de uniformidade (CUC) maior que 88%. Segundo Abo-Ghobar (1992), diz que são considerados inaceitáveis valores de CUD menores que 67% e de CUC menores que 75%. Rodrigues et al (1997), testando diferentes coeficientes de uniformidade, verificaram que o CUC foi um dos menos sensíveis às mudanças dos fatores operacionais.

#### **4.4 – Índices de eficiência e perda por percolação**

Os resultados dos índices de eficiência e a perda por percolação avaliados no trabalho para os quatro raios individuais e para a média dos valores das precipitações consideradas simultaneamente estão apresentados na Tabela 7. Analizou-se a Eficiência Potencial de Aplicação (EPA), Eficiência de Distribuição (ED), Eficiência de Aplicação (EA) e a Eficiência de Armazenamento (ES).

Observa-se, pela Tabela 7, que os valores percentuais encontrado para eficiência potencial de aplicação para todos os raios e para as médias dos valores de precipitação considerados simultaneamente nas bases 2 e 4 são aceitáveis dentro do limite proposto pela maioria das bibliografias consultadas, como por exemplo, Almeida (1999) estudando um sistema de irrigação por pivô central encontrou valor de EPA igual a 75%. Ficando fora

## **5 – CONCLUSÕES**

- 1 – O equipamento apresentou uma adequada uniformidade de distribuição de água para as bases estudadas com exceção do raio S na base 5;
- 2 – Constatou-se problemas de uniformidade e de eficiência em alguns setores quando a análise foi feita por raio individualmente, indicando setores com déficit e outros com excesso de água.
- 3 – Verificou-se que há uma dispersão das lâminas de água aplicadas em relação ao valor médio;
- 4 – A velocidade do vento e sua direção foi o fator climático que mais influenciou, os setores que apresentaram baixos percentuais nos coeficientes de uniformidade;
- 5 – As pressões de entrada do pivô estão muito abaixo da pressão projetada na base 4 e base 5 levando o equipamento a fornecer uma baixa vazão;
- 6 – As lâminas aplicadas estão abaixo da especificada no projeto para as bases 4 e 5.

### **Recomendação**

Existe uma necessidade revisão do equipamento, pois há índicos de reguladores de pressão funcionando precariamente, ou emissores obstruídos, bocais instalados em posição incorreta ou mesmo diâmetro dos bocais calculados incorretamente.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABO-GHOBAR, H.M. Losses from low-pressure center-pivot irrigation systems in a desert climate as affected by nozzle height. *Agric. Water Manag.* V.21, p.23-32, 1992.

ALMEIDA, R.L.S. **AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO INSTALADOS NA PROPRIEDADE LAGOA DO OURO NO MUNICÍPIO DE JEQUIÉ-BAHIA.** Campina Grande: UFPB 1999. 64p. (Dissertação de Mestrado).

ALVES, A.S.; CASTRO, P.T. Desempenho do sistema de irrigação por aspersão tipo canhão hidráulico sob diferentes condições de velocidade do vento na região de Paracuru – CE/Brasil. *Eng. Rural.* V.7, p.17-22, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de Irrigação por Pivô Central. Caracterização do Desempenho: Projeto 12:02:08-005.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 16p.

ASSIS, L.L. **Avaliação de sistemas de irrigação pivô central de baixa pressão.** Fortaleza: UFC, 1990. 93p. (Dissertação de Mestrado)

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 5.ed. Viçosa: UFV, 1995. 596p

BRONER, BY I. **Center-pivot irrigation systems.** Colorado State University Cooperative Extension, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. **Recurso Hídricos e Irrigação no Brasil.** Brasília: CDS – UNB, 1999.

COELHO, R.D. **Regulagem de aspersores seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas.** Piracicaba: ESALQ, 1990. 14p. (Dissertação de Mestrado).

DENÍCULI, W.; ITABORAHY, C.R.; LOUREIRO, B.T.; RAMOS, M.M. Uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação por aspersão com deslocamento contínuo equipado com tubos de descida flexíveis. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22.,** 1993, Ilhéus. *Anais....* Jaboticabal: SBEA, 1993. p.2787-2801.

D.S.F. **Projeto de Irrigação: pivô central rebocável.** Rio Tinto, PB: União Agrícola LTDA, 1999. 73p.

FOLEGATTI, M.V.; PESSOA, P.C.S.; PAZ, V.P.S. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. *Scientia Agrícola.* V.55, n.1, Piracicaba: ESALQ, 1998.

- FRIZZONE, J. A **Irrigação por aspersão. Uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ 1992. 52p. (Série Didática, 3).
- FRY, A.W.; GRAY, A.S. **Sprinkler irrigation handbook**. 8 ed. Glendorra: Rain Bird Sprinkler, 1969, 36p.
- GENTIL, L.V. **Pivô central para empresários rurais**. Brasília – DF, p. 1, 2000.
- GILLEY, J.R.; MIELKE, L.N Conserving energy with low-pressure center-pivots. **Journal of irrigation and Drainage Division**, v.106, n.1R1, p.49-59, Mar. 1980.
- GILLEY, J.R. Suitability of reduced pressure center-pivots. **J. Irrig. Drain. Eng.**, v.110, n.1, p.22-34, 1984
- GILLEY, J.R.; SUPALLA, R.J. Economic analysis of energy saving practices in irrigation. **Trans. ASAE. (Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.26, N.6, p.1784-1792, 1983.
- GILLEY, J.R.; WATTS, D.G. Possible energy savings in irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.103, n.1R4, p.445-457, Dec. 1977.
- GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação. Hidráulica dos sistemas pressurizados aspersão e gotejamento**. João Pessoa: Editora Universitária, 1994. 344p.
- HARGREAVES, G. H. **Potential evapotranspiration irrigation requirements for Northeast Brazil**. Utah: Utah State University, Department of Agricultural and Irrigation Engineering, 1974. 54p.
- HANSON, B.R.; WALLENDER, W.W.; Bidirecional uniformity of water applied by continuous-move sprinkler machine. **Transactions of ASAE**, v.29, n.4, p.1047-1053, July/Aug. 1986.
- HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation systems. **Trans. ASAE> (Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.11, n.1, p.11-14, 1968.
- HEERMANN, D.F.; WALENDER, W.W.; BOS, M.G. Irrigation efficiency and uniformity. In: HOFFMAN, G.J; HOWEL, T.A; SOLOMON, K.N., (Ed.) **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1990. p.125-149.
- JAMES, L.G.; BLAIR, S.K. Performance of low pressure center-pivot systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.27, n.6, p.1753-1757, 1984.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, (1990). 652p.
- KELLER, J. **Sprinkle irrigation**. Logan : Utah State University, 1984. 621p.
- KELSO, G.L.; GILLEY, J.R. **A system for measuring infiltration rates under center pivot irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. 25p. (ASAE Paper, 83-2517).

- KINCAID, D.C.; HEERMANN, D.F.; Application rates and runoff in center-pivot sprinkler irrigation. **Trans. ASAE. (Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.12, n.6, p.790-794, 1969.
- LOPEZ, E.M. **Riego por aspersion**. Petrolina: SUDENE / IICA, 33p. 1975.
- MATSURA, E.E. **Eficiência de irrigação e uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por aspersion**. Piracicaba ESALQ, 1987.124p. (Dissertação de Mestrado).
- MEDEIROS FILHO, J. C. **Avaliação de um sistema de irrigação por aspersion em uma área do município de Mossoró-RN**. Campina Grande: UFPB 1983. 77p. (Dissertação de Mestrado).
- MERRIAM, J.L.; ALFARO, J. **Irrigation system evaluation and improvement**. Logan: Utah State University, 1973. 167p.
- MIRANDA, F.R. de; RAMOS, M.M.; DENICULI, W.; SOARES, A.A. Uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação, do tipo linear e de baixa pressão, em função da altura de instalação e do tipo de placa defletora. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 23., 1994, Campinas. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 1994. p.119.
- PAZ, V.P.S. **Perdas de água e uniformidade de distribuição na irrigação por aspersion**. Viçosa: UFV, 1990. 59p. (Dissertação de Mestrado).
- PESSOA, P.C.S. Desempenho de um sistema de irrigação pivô central com diferentes configurações de emissores ao longo do ciclo de uma cultura de milho (*Zea Mays*, L}. Piracicaba, 1994. 95p. Dissertação – (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- PESSOA, P.C.S.; FOLEGATTI, M.V. Desempenho de um sistema de irrigação pivô central com diferentes configurações de emissores ao longo do ciclo de uma cultura de milho (*Zea Mays*, L}. **Eng. Agrícola**, v.15, p15-33, 1995.
- REZENDE.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.B. Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto á uniformidade de distribuição de água, abaixo e acima da superfície do solo. **Eng. Na agricultura**, v.2, n.19, p.1-7, 1993.
- RING, L.; HEERMANN, D.F. **Determining Center – pivot sprinkler uniformities**. St. Joseph: ASAE, 1978. 19p. (ASAE Paper, 78 – 2001).
- ROCHA, E.M.M.; MAPURUNGA, S.M.S.; COSTA, R.N.T.; CASTRO, P.T.; AGUIAR, O.S. Uniformidade e eficiência de aplicação de água de irrigação por aspersion convencional na superfície e perfil do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais....** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998, p.286-8.

- RODRIGUES, L.N.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D; MARTINEZ, A.M. GEOPIVO: modelo para simulação do desempenho de sistemas de irrigação tipo pivô central. **AGRIAMBI**, v.5, n.3, p.397-402, 2001.
- RODRIGUES, L.N.; PIMENTA MELLO, J.L.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Coeficiente de uniformidade: Sensibilidade e mudanças nos fatores operacionais. **IRRIGA**, v.2, p.90-99, 1997.
- SCALOPPI, E.J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Inf. Agropec.**,v.12, n.139, p.54-62, 1986.
- SCALOPPI, E.J.; ALLEN, R.G Hidráulicos of center – pivot laterais. **J. Irrig. Drain. Eng.**, v.119. n.3, p.554-567, 1993
- SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; LUCATTO JÚNIOR, J.; SCHINEIDER, A. Desempenho e otimização de um sistema de irrigação tipo pivô central. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, **Anais...** Santa Maria: UFSM/SBEA, v.2B, p.836-846.
- SOUSA, F. Modelo computacional para a análise hidráulica de um sistema de irrigação pivô central. **Eng. Rural**, v.5, n.2, p.01-20, 1994.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Consertion Service. **Sprinkler Irrigation**. Washington, 1968. 82p. (National Irrigation Handbook. Irrigation, 11).
- WILMES, G.J.; MARTIN, D.L.; SUPALLA, R.J. Decision Support System for Design of Centert Pivots. **Trans. ASAE. (Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.37, n.1, p.165-175, 1994.
- ZOCOLER, J.L. Avaliação do desempenho de sistema de irrigação In: Curso de Capacitação em Agricultura Irrigada, 1999, Ilha Solteira, **Anais...** Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 1999, 55p.

**APÊNDICE**

Quadro 1. Resultado dos volumes coletados no raio N (ml) na base 2.

| Nº        |          | Volume | Volume    | Nº        |          | Volume | Volume    | Nº        |          | Volume | Volume    |
|-----------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|
| coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado | coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado | coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado |
| 1         | 0        | 0      | 0         | 31        | 100      | 100    | 3100      | 61        | 90       | 90     | 5490      |
| 2         | 10       | 10     | 20        | 32        | 110      | 110    | 3520      | 62        | 70       | 70     | 4340      |
| 3         | 200      | 200    | 600       | 33        | 100      | 100    | 3300      | 63        | 95       | 95     | 5985      |
| 4         | 150      | 150    | 600       | 34        | 120      | 120    | 4080      |           |          |        |           |
| 5         | 200      | 200    | 1000      | 35        | 125      | 125    | 4375      |           |          |        |           |
| 6         | 180      | 180    | 1080      | 36        | 105      | 105    | 3780      |           |          |        |           |
| 7         | 250      | 250    | 1750      | 37        | 115      | 115    | 4255      |           |          |        |           |
| 8         | 120      | 120    | 960       | 38        | 120      | 120    | 4560      |           |          |        |           |
| 9         | 100      | 100    | 900       | 39        | 100      | 100    | 3900      |           |          |        |           |
| 10        | 120      | 120    | 1200      | 40        | 110      | 110    | 4400      |           |          |        |           |
| 11        | 150      | 150    | 1650      | 41        | 95       | 95     | 3895      |           |          |        |           |
| 12        | 115      | 115    | 1380      | 42        | 120      | 120    | 5040      |           |          |        |           |
| 13        | 125      | 125    | 1625      | 43        | 85       | 85     | 3655      |           |          |        |           |
| 14        | 115      | 115    | 1610      | 44        | 90       | 90     | 3960      |           |          |        |           |
| 15        | 140      | 140    | 2100      | 45        | 90       | 90     | 4050      |           |          |        |           |
| 16        | 120      | 120    | 1920      | 46        | 180      | 180    | 8280      |           |          |        |           |
| 17        | 130      | 130    | 2210      | 47        | 150      | 150    | 7050      |           |          |        |           |
| 18        | 100      | 100    | 1800      | 48        | 90       | 90     | 4320      |           |          |        |           |
| 19        | 125      | 125    | 2375      | 49        | 85       | 85     | 4165      |           |          |        |           |
| 20        | 100      | 100    | 2000      | 50        | 100      | 100    | 5000      |           |          |        |           |
| 21        | 110      | 110    | 2310      | 51        | 120      | 120    | 6120      |           |          |        |           |
| 22        | 115      | 115    | 2530      | 52        | 100      | 100    | 5200      |           |          |        |           |
| 23        | 115      | 115    | 2645      | 53        | 55       | 55     | 2915      |           |          |        |           |
| 24        | 160      | 160    | 3840      | 54        | 50       | 50     | 2700      |           |          |        |           |
| 25        | 125      | 125    | 3125      | 55        | 80       | 80     | 4400      |           |          |        |           |
| 26        | 120      | 120    | 3120      | 56        | 85       | 85     | 4760      |           |          |        |           |
| 27        | 140      | 140    | 3780      | 57        | 100      | 100    | 5700      |           |          |        |           |
| 28        | 110      | 110    | 3080      | 58        | 95       | 95     | 5510      |           |          |        |           |
| 29        | 90       | 90     | 2610      | 59        | 80       | 80     | 4720      |           |          |        |           |
| 30        | 115      | 115    | 3450      | 60        | 90       | 90     | 5400      |           |          |        |           |

Quadro 2. Resultado dos volumes coletados no raio S (ml) na base 2.

| Nº        |          | Volume | Volume    | Nº        |          | Volume | Volume    | Nº        |          | Volume | Volume    |
|-----------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|
| coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado | coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado | coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado |
| 1         | 0        | 0      | 0         | 30        | 135      | 135    | 4050,0    | 59        | 105      | 105    | 6195,0    |
| 2         | 5        | 5      | 10,0      | 31        | 130      | 130    | 4030,0    | 60        | 95       | 95     | 5700,0    |
| 3         | 75       | 75     | 225,0     | 32        | 115      | 115    | 3680,0    | 61        | 90       | 90     | 5490,0    |
| 4         | 235      | 235    | 940,0     | 33        | 140      | 140    | 4620,0    | 62        | 80       | 80     | 4960,0    |
| 5         | 200      | 200    | 1000,0    | 34        | 110      | 110    | 3740,0    | 63        | 95       | 95     | 5985,0    |
| 6         | 190      | 190    | 1140,0    | 35        | 125      | 125    | 4375,0    | 64        | 115      | 115    | 7360,0    |
| 7         | 240      | 240    | 1680,0    | 36        | 115      | 115    | 4140,0    | 65        | 75       | 75     | 4875,0    |
| 8         | 125      | 125    | 1000,0    | 37        | 110      | 110    | 4070,0    | 66        | 40       | 40     | 2640,0    |
| 9         | 105      | 105    | 945,0     | 38        | 120      | 120    | 4560,0    |           |          |        |           |
| 10        | 125      | 125    | 1250,0    | 39        | 105      | 105    | 4095,0    |           |          |        |           |
| 11        | 140      | 140    | 1540,0    | 40        | 120      | 120    | 4800,0    |           |          |        |           |
| 12        | 120      | 120    | 1440,0    | 41        | 85       | 85     | 3485,0    |           |          |        |           |
| 13        | 125      | 125    | 1625,0    | 42        | 105      | 105    | 4410,0    |           |          |        |           |
| 14        | 110      | 110    | 1540,0    | 43        | 105      | 105    | 4515,0    |           |          |        |           |
| 15        | 135      | 135    | 2025,0    | 44        | 100      | 100    | 4400,0    |           |          |        |           |
| 16        | 160      | 160    | 2560,0    | 45        | 90       | 90     | 4050,0    |           |          |        |           |
| 17        | 125      | 125    | 2125,0    | 46        | 95       | 95     | 4370,0    |           |          |        |           |
| 18        | 95       | 95     | 1710,0    | 47        | 95       | 95     | 4465,0    |           |          |        |           |
| 19        | 130      | 130    | 2470,0    | 48        | 200      | 200    | 9600,0    |           |          |        |           |
| 20        | 250      | 250    | 5000,0    | 49        | 85       | 85     | 4165,0    |           |          |        |           |
| 21        | 120      | 120    | 2520,0    | 50        | 75       | 75     | 3750,0    |           |          |        |           |
| 22        | 130      | 130    | 2860,0    | 51        | 80       | 80     | 4080,0    |           |          |        |           |
| 23        | 115      | 115    | 2645,0    | 52        | 95       | 95     | 4940,0    |           |          |        |           |
| 24        | 150      | 150    | 3600,0    | 53        | 55       | 55     | 2915,0    |           |          |        |           |
| 25        | 125      | 125    | 3125,0    | 54        | 65       | 65     | 3510,0    |           |          |        |           |
| 26        | 125      | 125    | 3250,0    | 55        | 95       | 95     | 5225,0    |           |          |        |           |
| 27        | 145      | 145    | 3915,0    | 56        | 85       | 85     | 4760,0    |           |          |        |           |
| 28        | 110      | 110    | 3080,0    | 57        | 95       | 95     | 5415,0    |           |          |        |           |
| 29        | 100      | 100    | 2900,0    | 58        | 95       | 95     | 5510,0    |           |          |        |           |

Quadro 3. Resultado dos volumes coletados no raio L (ml) na base 2.

| Nº        |          | Volume | Volume    | Nº        |          | Volume | Volume    | Nº        |          | Volume | Volume    |
|-----------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|
| coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado | coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado | coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado |
| 1         | 0        | 0      | 0         | 30        | 125      | 125    | 3750      | 59        | 90       | 90     | 5310      |
| 2         | 15       | 15     | 30        | 31        | 130      | 130    | 4030      | 60        | 70       | 70     | 4200      |
| 3         | 80       | 80     | 240       | 32        | 110      | 110    | 3520      | 61        | 95       | 95     | 5795      |
| 4         | 100      | 100    | 400       | 33        | 120      | 120    | 3960      | 62        | 90       | 90     | 5580      |
| 5         | 50       | 50     | 250       | 34        | 105      | 105    | 3570      | 63        | 95       | 95     | 5985      |
| 6         | 155      | 155    | 930       | 35        | 110      | 110    | 3850      | 64        | 70       | 70     | 4480      |
| 7         | 105      | 105    | 735       | 36        | 105      | 105    | 3780      | 65        | 75       | 75     | 4875      |
| 8         | 80       | 80     | 640       | 37        | 90       | 90     | 3330      | 66        | 85       | 85     | 5610      |
| 9         | 120      | 120    | 1080      | 38        | 105      | 105    | 3990      |           |          |        |           |
| 10        | 105      | 105    | 1050      | 39        | 115      | 115    | 4485      |           |          |        |           |
| 11        | 110      | 110    | 1210      | 40        | 95       | 95     | 3800      |           |          |        |           |
| 12        | 125      | 125    | 1500      | 41        | 90       | 90     | 3690      |           |          |        |           |
| 13        | 125      | 125    | 1625      | 42        | 95       | 95     | 3990      |           |          |        |           |
| 14        | 120      | 120    | 1680      | 43        | 120      | 120    | 5160      |           |          |        |           |
| 15        | 115      | 115    | 1725      | 44        | 105      | 105    | 4620      |           |          |        |           |
| 16        | 110      | 110    | 1760      | 45        | 110      | 110    | 4950      |           |          |        |           |
| 17        | 105      | 105    | 1785      | 46        | 85       | 85     | 3910      |           |          |        |           |
| 18        | 90       | 90     | 1620      | 47        | 90       | 90     | 4230      |           |          |        |           |
| 19        | 105      | 105    | 1995      | 48        | 90       | 90     | 4320      |           |          |        |           |
| 20        | 110      | 110    | 2200      | 49        | 80       | 80     | 3920      |           |          |        |           |
| 21        | 110      | 110    | 2310      | 50        | 125      | 125    | 6250      |           |          |        |           |
| 22        | 100      | 100    | 2200      | 51        | 80       | 80     | 4080      |           |          |        |           |
| 23        | 110      | 110    | 2530      | 52        | 60       | 60     | 3120      |           |          |        |           |
| 24        | 120      | 120    | 2880      | 53        | 95       | 95     | 5035      |           |          |        |           |
| 25        | 110      | 110    | 2750      | 54        | 85       | 85     | 4590      |           |          |        |           |
| 26        | 105      | 105    | 2730      | 55        | 60       | 60     | 3300      |           |          |        |           |
| 27        | 105      | 105    | 2835      | 56        | 60       | 60     | 3360      |           |          |        |           |
| 28        | 85       | 85     | 2380      | 57        | 95       | 95     | 5415      |           |          |        |           |
| 29        | 105      | 105    | 3045      | 58        | 75       | 75     | 4350      |           |          |        |           |



Quadro 4. Resultado dos volumes coletados no raio W(ml) na base 2.

| Nº        |          | Volume | Volume    | Nº        |          | Volume | Volume    | Nº        |          | Volume | Volume    |
|-----------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|
| coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado | coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado | coletores | Ensaio 1 | médio  | ponderado |
| 1         | 0        | 0      | 0         | 30        | 205      | 205    | 6150      | 59        | 240      | 240    | 14160     |
| 2         | 90       | 90     | 180       | 31        | 210      | 210    | 6510      | 60        | 210      | 210    | 12600     |
| 3         | 325      | 325    | 975       | 32        | 265      | 265    | 8480      | 61        | 160      | 160    | 9760      |
| 4         | 245      | 245    | 980       | 33        | 205      | 205    | 6765      | 62        | 165      | 165    | 10230     |
| 5         | 270      | 270    | 1350      | 34        | 150      | 150    | 5100      | 63        | 175      | 175    | 11025     |
| 6         | 415      | 415    | 2490      | 35        | 245      | 245    | 8575      | 64        | 155      | 155    | 9920      |
| 7         | 345      | 345    | 2415      | 36        | 220      | 220    | 7920      | 65        | 50       | 50     | 3250      |
| 8         | 255      | 255    | 2040      | 37        | 175      | 175    | 6475      | 66        | 100      | 100    | 6600      |
| 9         | 265      | 265    | 2385      | 38        | 190      | 190    | 7220      |           |          |        |           |
| 10        | 425      | 425    | 4250      | 39        | 235      | 235    | 9165      |           |          |        |           |
| 11        | 325      | 325    | 3575      | 40        | 190      | 190    | 7600      |           |          |        |           |
| 12        | 360      | 360    | 4320      | 41        | 210      | 210    | 8610      |           |          |        |           |
| 13        | 210      | 210    | 2730      | 42        | 225      | 225    | 9450      |           |          |        |           |
| 14        | 325      | 325    | 4550      | 43        | 195      | 195    | 8385      |           |          |        |           |
| 15        | 370      | 370    | 5550      | 44        | 190      | 190    | 8360      |           |          |        |           |
| 16        | 265      | 265    | 4240      | 45        | 170      | 170    | 7650      |           |          |        |           |
| 17        | 0        | 0      | 0         | 46        | 165      | 165    | 7590      |           |          |        |           |
| 18        | 245      | 245    | 4410      | 47        | 180      | 180    | 8460      |           |          |        |           |
| 19        | 315      | 315    | 5985      | 48        | 170      | 170    | 8160      |           |          |        |           |
| 20        | 305      | 305    | 6100      | 49        | 210      | 210    | 10290     |           |          |        |           |
| 21        | 335      | 335    | 7035      | 50        | 155      | 155    | 7750      |           |          |        |           |
| 22        | 390      | 390    | 8580      | 51        | 190      | 190    | 9690      |           |          |        |           |
| 23        | 450      | 450    | 10350     | 52        | 175      | 175    | 9100      |           |          |        |           |
| 24        | 345      | 345    | 8280      | 53        | 140      | 140    | 7420      |           |          |        |           |
| 25        | 350      | 350    | 8750      | 54        | 145      | 145    | 7830      |           |          |        |           |
| 26        | 200      | 200    | 5200      | 55        | 195      | 195    | 10725     |           |          |        |           |
| 27        | 250      | 250    | 6750      | 56        | 185      | 185    | 10360     |           |          |        |           |
| 28        | 245      | 245    | 6860      | 57        | 205      | 205    | 11685     |           |          |        |           |
| 29        | 240      | 240    | 6960      | 58        | 215      | 215    | 12470     |           |          |        |           |

Quadro 5. Resultado dos volumes coletados no raio N (ml) na base 4.

| N°<br>coletores | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Volume | Volume    | N°<br>coletores | Volume | Volume    | N°        | Volume | Volume    |
|-----------------|----------|----------|----------|--------|-----------|-----------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|
|                 |          |          |          | médio  | ponderado |                 | médio  | ponderado | coletores | médio  | ponderado |
| 1               | 0        | 0        | 0        | 0      | 0         | 31              | 165    | 80        | 90        | 112    | 3472      |
| 2               | 50       | 50       | 25       | 42     | 84        | 32              | 140    | 110       | 125       | 125    | 4000      |
| 3               | 115      | 90       | 50       | 85     | 255       | 33              | 210    | 105       | 105       | 140    | 4620      |
| 4               | 130      | 90       | 90       | 63     | 252       | 34              | 120    | 110       | 115       | 115    | 3910      |
| 5               | 145      | 60       | 70       | 92     | 460       | 35              | 150    | 100       | 5         | 85     | 2975      |
| 6               | 175      | 90       | 90       | 118    | 708       | 36              | 170    | 80        | 90        | 113    | 4068      |
| 7               | 140      | 70       | 60       | 90     | 630       | 37              | 160    | 90        | 90        | 113    | 4181      |
| 8               | 145      | 85       | 85       | 105    | 840       | 38              | 280    | 90        | 90        | 153    | 5814      |
| 9               | 175      | 100      | 110      | 128    | 1152      | 39              | 155    | 100       | 95        | 117    | 4563      |
| 10              | 160      | 110      | 110      | 127    | 1270      | 40              | 191    | 80        | 75        | 115    | 4600      |
| 11              | 160      | 110      | 105      | 125    | 1375      | 41              | 245    | 100       | 60        | 135    | 5535      |
| 12              | 185      | 100      | 105      | 130    | 1560      | 42              | 35     | 125       | 45        | 68     | 2856      |
| 13              | 130      | 115      | 125      | 115    | 1495      | 43              | 105    | 115       | 85        | 102    | 4386      |
| 14              | 145      | 95       | 105      | 115    | 1610      | 44              | 190    | 60        | 75        | 108    | 4752      |
| 15              | 230      | 130      | 125      | 162    | 2430      | 45              | 115    | 50        | 40        | 68     | 3060      |
| 16              | 155      | 125      | 110      | 130    | 2080      | 46              | 150    | 70        | 75        | 98     | 4508      |
| 17              | 130      | 100      | 90       | 107    | 1819      | 47              | 150    | 90        | 100       | 113    | 5311      |
| 18              | 105      | 75       | 85       | 88     | 1584      | 48              | 145    | 100       | 10        | 85     | 4080      |
| 19              | 175      | 110      | 110      | 132    | 2508      | 49              | 250    | 70        | 75        | 132    | 6468      |
| 20              | 180      | 100      | 105      | 128    | 2560      | 50              | 230    | 75        | 70        | 125    | 6250      |
| 21              | 170      | 100      | 110      | 127    | 2667      | 51              | 165    | 55        | 25        | 82     | 4182      |
| 22              | 170      | 90       | 95       | 118    | 2596      | 52              | 165    | 75        | 70        | 103    | 5356      |
| 23              | 175      | 95       | 95       | 122    | 2806      | 53              | 215    | 80        | 45        | 113    | 5989      |
| 24              | 135      | 120      | 125      | 127    | 3048      | 54              | 100    | 100       | 125       | 108    | 5832      |
| 25              | 135      | 105      | 105      | 115    | 2875      | 55              | 175    | 90        | 85        | 117    | 6435      |
| 26              | 165      | 100      | 100      | 122    | 3172      | 56              | 180    | 95        | 95        | 123    | 6888      |
| 27              | 290      | 105      | 100      | 165    | 4455      | 57              | 165    | 95        | 85        | 115    | 6555      |
| 28              | 170      | 105      | 110      | 128    | 3584      | 58              | 165    | 100       | 90        | 118    | 6844      |
| 29              | 180      | 100      | 90       | 123    | 3567      | 59              | 125    | 100       | 90        | 105    | 6195      |
| 30              | 170      | 110      | 115      | 132    | 3960      | 60              | 100    | 115       | 125       | 113    | 6780      |

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|---------------------|
| 61              | 105      | 90       | 80       | 92              | 5612                |
| 62              | 165      | 100      | 85       | 117             | 7254                |
| 63              | 145      | 55       | 75       | 92              | 5796                |
| 64              | 160      | 65       | 70       | 98              | 6272                |
| 65              | 90       | 70       | 30       | 63              | 4095                |
| 66              | 10       | 45       | 0        | 18              | 1188                |

Quadro 6. Resultado dos volumes coletados no raio S (ml) na base 4.

| Nº        |          |          |          | Volume | Volume    | Nº        | Volume | Volume    | Nº        | Volume | Volume    |
|-----------|----------|----------|----------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|
| coletores | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | médio  | ponderado | coletores | médio  | ponderado | coletores | médio  | ponderado |
| 1         | 0        | 40       | 0        | 13     | 13        | 31        | 110    | 90        | 125       | 108    | 3348      |
| 2         | 30       | 75       | 50       | 52     | 104       | 32        | 120    | 110       | 100       | 110    | 3520      |
| 3         | 140      | 105      | 140      | 128    | 384       | 33        | 90     | 90        | 95        | 92     | 3036      |
| 4         | 80       | 155      | 180      | 138    | 552       | 34        | 100    | 95        | 115       | 103    | 3502      |
| 5         | 140      | 115      | 210      | 155    | 775       | 35        | 75     | 100       | 110       | 95     | 3325      |
| 6         | 140      | 100      | 385      | 208    | 1248      | 36        | 110    | 90        | 125       | 108    | 3888      |
| 7         | 120      | 75       | 80       | 92     | 644       | 37        | 80     | 95        | 80        | 85     | 3145      |
| 8         | 125      | 90       | 0        | 72     | 576       | 38        | 75     | 100       | 125       | 100    | 3800      |
| 9         | 120      | 100      | 100      | 107    | 963       | 39        | 110    | 95        | 125       | 110    | 4290      |
| 10        | 125      | 80       | 115      | 107    | 1070      | 40        | 65     | 105       | 100       | 90     | 3600      |
| 11        | 95       | 90       | 95       | 93     | 1023      | 41        | 65     | 90        | 60        | 72     | 2952      |
| 12        | 150      | 105      | 125      | 127    | 1524      | 42        | 60     | 80        | 80        | 73     | 3066      |
| 13        | 100      | 105      | 100      | 102    | 1326      | 43        | 105    | 80        | 175       | 120    | 5160      |
| 14        | 105      | 115      | 175      | 132    | 1840      | 44        | 100    | 75        | 85        | 87     | 3828      |
| 15        | 130      | 100      | 100      | 110    | 1650      | 45        | 85     | 65        | 75        | 75     | 3375      |
| 16        | 105      | 90       | 150      | 115    | 1840      | 46        | 85     | 60        | 60        | 68     | 3128      |
| 17        | 100      | 90       | 80       | 90     | 1530      | 47        | 100    | 70        | 40        | 70     | 3290      |
| 18        | 110      | 105      | 105      | 107    | 1926      | 48        | 85     | 75        | 75        | 78     | 3744      |
| 19        | 100      | 110      | 105      | 105    | 1995      | 49        | 110    | 80        | 90        | 93     | 4557      |
| 20        | 230      | 100      | 165      | 165    | 3300      | 50        | 105    | 55        | 45        | 68     | 3400      |
| 21        | 140      | 105      | 165      | 137    | 3003      | 51        | 100    | 70        | 70        | 80     | 4080      |
| 22        | 155      | 105      | 170      | 143    | 3146      | 52        | 75     | 75        | 35        | 62     | 3224      |
| 23        | 125      | 115      | 170      | 137    | 3151      | 53        | 75     | 60        | 55        | 63     | 3339      |
| 24        | 125      | 100      | 170      | 132    | 3168      | 54        | 85     | 50        | 105       | 80     | 4320      |
| 25        | 115      | 90       | 100      | 102    | 2550      | 55        | 100    | 65        | 50        | 72     | 3960      |
| 26        | 105      | 115      | 95       | 105    | 2730      | 56        | 80     | 85        | 75        | 80     | 4480      |
| 27        | 135      | 90       | 180      | 135    | 3645      | 57        | 115    | 85        | 105       | 102    | 5814      |
| 28        | 125      | 110      | 80       | 105    | 2940      | 58        | 95     | 100       | 85        | 93     | 5394      |
| 29        | 125      | 85       | 130      | 113    | 3277      | 59        | 80     | 85        | 65        | 77     | 4543      |
| 30        | 115      | 100      | 145      | 120    | 3600      | 60        | 70     | 95        | 80        | 82     | 4920      |

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|---------------------|
| 61              | 80       | 90       | 65       | 78              | 4758                |
| 62              | 115      | 80       | 45       | 80              | 4960                |
| 63              | 60       | 95       | 10       | 55              | 3465                |
| 64              | 35       | 85       | 50       | 57              | 3648                |
| 65              | 15       | 45       | 85       | 48              | 3120                |
| 66              | 65       | 40       | 10       | 38              | 2508                |

Quadro 7. Resultado dos volumes coletados no raio L (ml) na base 4.

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado | Ensaio | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|---------------------|--------|-----------------|---------------------|
| 1               | 0        | 0        | 10       | 3               | 3                   | 105    | 128             | 3978                |
| 2               | 50       | 85       | 55       | 63              | 127                 | 160    | 155             | 4960                |
| 3               | 120      | 125      | 45       | 97              | 290                 | 115    | 178             | 5885                |
| 4               | 100      | 115      | 60       | 92              | 367                 | 100    | 125             | 4250                |
| 5               | 160      | 110      | 75       | 115             | 575                 | 115    | 142             | 4958                |
| 6               | 230      | 190      | 60       | 160             | 960                 | 105    | 127             | 4560                |
| 7               | 255      | 115      | 80       | 150             | 1050                | 100    | 142             | 5242                |
| 8               | 255      | 75       | 120      | 150             | 1200                | 90     | 122             | 4623                |
| 9               | 220      | 125      | 165      | 170             | 1530                | 120    | 127             | 4940                |
| 10              | 265      | 165      | 100      | 177             | 1767                | 65     | 123             | 4933                |
| 11              | 245      | 120      | 75       | 147             | 1613                | 100    | 138             | 5672                |
| 12              | 275      | 210      | 115      | 200             | 2400                | 75     | 103             | 4340                |
| 13              | 180      | 170      | 125      | 158             | 2058                | 50     | 165             | 7095                |
| 14              | 265      | 175      | 110      | 183             | 2567                | 55     | 112             | 4913                |
| 15              | 225      | 170      | 105      | 167             | 2500                | 45     | 90              | 4050                |
| 16              | 245      | 125      | 100      | 157             | 2507                | 40     | 82              | 3757                |
| 17              | 270      | 155      | 80       | 168             | 2862                | 80     | 87              | 4073                |
| 18              | 230      | 120      | 105      | 152             | 2730                | 90     | 77              | 3680                |
| 19              | 200      | 135      | 90       | 142             | 2692                | 45     | 85              | 4165                |
| 20              | 135      | 150      | 100      | 128             | 2567                | 55     | 103             | 5167                |
| 21              | 265      | 150      | 80       | 165             | 3465                | 45     | 165             | 8415                |
| 22              | 189      | 190      | 100      | 160             | 3513                | 80     | 110             | 5720                |
| 23              | 195      | 140      | 135      | 157             | 3603                | 95     | 125             | 6625                |
| 24              | 185      | 75       | 85       | 115             | 2760                | 100    | 107             | 5760                |
| 25              | 185      | 130      | 140      | 152             | 3792                | 95     | 132             | 7242                |
| 26              | 175      | 160      | 110      | 148             | 3857                | 110    | 162             | 9053                |
| 27              | 185      | 130      | 100      | 138             | 3735                | 90     | 114             | 6517                |
| 28              | 155      | 150      | 115      | 140             | 3920                | 70     | 120             | 6960                |
| 29              | 150      | 180      | 120      | 150             | 4350                | 50     | 115             | 6785                |
| 30              | 135      | 175      | 135      | 148             | 4450                | 70     | 113             | 6800                |

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|---------------------|
| 61              | 135      | 150      | 55       | 113             | 6913                |
| 62              | 165      | 125      | 55       | 115             | 7130                |
| 63              | 145      | 170      | 45       | 120             | 7560                |
| 64              | 100      | 135      | 55       | 97              | 6187                |
| 65              | 30       | 140      | 65       | 78              | 5092                |
| 66              | 15       | 130      | 25       | 57              | 3740                |

Quadro 8. Resultado dos volumes coletados no raio W (ml) na base 4.

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado | Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|---------------------|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|---------------------|
| 1               | 45       | 0        | 0        | 15              | 15                  | 31              | 90       | 195      | 75       | 120             | 3720                |
| 2               | 70       | 60       | 25       | 52              | 103                 | 32              | 100      | 235      | 95       | 143             | 4587                |
| 3               | 365      | 50       | 115      | 177             | 530                 | 33              | 70       | 190      | 85       | 115             | 3795                |
| 4               | 195      | 185      | 125      | 168             | 673                 | 34              | 80       | 135      | 95       | 103             | 3513                |
| 5               | 280      | 115      | 125      | 173             | 867                 | 35              | 85       | 120      | 90       | 98              | 3442                |
| 6               | 260      | 185      | 125      | 190             | 1140                | 36              | 80       | 135      | 85       | 100             | 3600                |
| 7               | 230      | 155      | 120      | 168             | 1178                | 37              | 80       | 170      | 85       | 112             | 4132                |
| 8               | 220      | 165      | 85       | 157             | 1253                | 38              | 60       | 110      | 75       | 82              | 3103                |
| 9               | 250      | 165      | 115      | 177             | 1590                | 39              | 70       | 80       | 65       | 72              | 2795                |
| 10              | 245      | 215      | 145      | 202             | 2017                | 40              | 60       | 115      | 80       | 85              | 3400                |
| 11              | 160      | 245      | 105      | 170             | 1870                | 41              | 100      | 165      | 140      | 135             | 5535                |
| 12              | 200      | 130      | 110      | 147             | 1760                | 42              | 90       | 125      | 90       | 102             | 4270                |
| 13              | 150      | 165      | 110      | 142             | 1842                | 43              | 60       | 180      | 95       | 112             | 4802                |
| 14              | 125      | 150      | 110      | 128             | 1797                | 44              | 60       | 40       | 65       | 55              | 2420                |
| 15              | 200      | 170      | 115      | 162             | 2425                | 45              | 50       | 90       | 75       | 72              | 3225                |
| 16              | 195      | 160      | 25       | 127             | 2027                | 46              | 60       | 40       | 60       | 53              | 2453                |
| 17              | 195      | 175      | 100      | 157             | 2663                | 47              | 50       | 100      | 95       | 82              | 3838                |
| 18              | 100      | 120      | 20       | 80              | 1440                | 48              | 60       | 425      | 30       | 172             | 8240                |
| 19              | 230      | 155      | 240      | 208             | 3958                | 49              | 55       | 105      | 95       | 85              | 4165                |
| 20              | 210      | 205      | 120      | 178             | 3567                | 50              | 60       | 370      | 35       | 155             | 7750                |
| 21              | 245      | 185      | 110      | 180             | 3780                | 51              | 55       | 105      | 40       | 67              | 3400                |
| 22              | 255      | 160      | 20       | 145             | 3190                | 52              | 55       | 100      | 70       | 75              | 3900                |
| 23              | 185      | 165      | 150      | 167             | 3833                | 53              | 45       | 135      | 70       | 83              | 4417                |
| 24              | 220      | 165      | 95       | 160             | 3840                | 54              | 50       | 145      | 70       | 88              | 4770                |
| 25              | 95       | 175      | 90       | 120             | 3000                | 55              | 50       | 100      | 75       | 75              | 4125                |
| 26              | 100      | 135      | 130      | 122             | 3163                | 56              | 55       | 215      | 75       | 115             | 6440                |
| 27              | 120      | 115      | 125      | 120             | 3240                | 57              | 55       | 165      | 90       | 103             | 5890                |
| 28              | 90       | 145      | 105      | 113             | 3173                | 58              | 60       | 95       | 70       | 75              | 4350                |
| 29              | 190      | 130      | 190      | 170             | 4930                | 59              | 80       | 310      | 140      | 177             | 10423               |
| 30              | 150      | 165      | 165      | 160             | 4800                | 60              | 65       | 135      | 90       | 97              | 5800                |



| Nº        | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Volume | Volume    |
|-----------|----------|----------|----------|--------|-----------|
| coletores |          |          |          | médio  | ponderado |
| 61        | 65       | 155      | 65       | 95     | 5795      |
| 62        | 60       | 165      | 80       | 102    | 6303      |
| 63        | 100      | 100      | 60       | 87     | 5460      |
| 64        | 50       | 45       | 65       | 53     | 3413      |
| 65        | 60       | 155      | 55       | 90     | 5850      |
| 66        | 15       | 15       | 10       | 13     | 880       |

Quadro 9. Resultado dos volumes coletados no raio S (ml) na base 5.

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado | Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|-----------------|---------------------|-----------------|----------|-----------------|---------------------|
| 1               | 0        | 0               | 0                   | 31              | 90       | 90              | 2790                |
| 2               | 60       | 60              | 120                 | 32              | 95       | 95              | 3040                |
| 3               | 160      | 160             | 480                 | 33              | 105      | 105             | 3465                |
| 4               | 330      | 330             | 1320                | 34              | 125      | 125             | 4250                |
| 5               | 310      | 310             | 1550                | 35              | 110      | 110             | 3850                |
| 6               | 5        | 5               | 30                  | 36              | 70       | 70              | 2520                |
| 7               | 55       | 55              | 385                 | 37              | 65       | 65              | 2405                |
| 8               | 103      | 103             | 824                 | 38              | 100      | 100             | 3800                |
| 9               | 110      | 110             | 990                 | 39              | 155      | 155             | 6045                |
| 10              | 100      | 100             | 1000                | 40              | 55       | 55              | 2200                |
| 11              | 100      | 100             | 1100                | 41              | 75       | 75              | 3075                |
| 12              | 145      | 145             | 1740                | 42              | 70       | 70              | 2940                |
| 13              | 70       | 70              | 910                 | 43              | 65       | 65              | 2795                |
| 14              | 155      | 155             | 2170                | 44              | 70       | 70              | 3080                |
| 15              | 85       | 85              | 1275                | 45              | 50       | 50              | 2250                |
| 16              | 285      | 285             | 4560                | 46              | 70       | 70              | 3220                |
| 17              | 100      | 100             | 1700                | 47              | 45       | 45              | 2115                |
| 18              | 110      | 110             | 1980                | 48              | 80       | 80              | 3840                |
| 19              | 105      | 105             | 1995                | 49              | 25       | 25              | 1225                |
| 20              | 115      | 115             | 2300                | 50              | 80       | 80              | 4000                |
| 21              | 75       | 75              | 1575                | 51              | 50       | 50              | 2550                |
| 22              | 100      | 100             | 2200                | 52              | 80       | 80              | 4160                |
| 23              | 115      | 115             | 2645                | 53              | 55       | 55              | 2915                |
| 24              | 100      | 100             | 2400                | 54              | 65       | 65              | 3510                |
| 25              | 105      | 105             | 2625                | 55              | 50       | 50              | 2750                |
| 26              | 100      | 100             | 2600                | 56              | 45       | 45              | 2520                |
| 27              | 90       | 90              | 2430                | 57              | 75       | 75              | 4275                |
| 28              | 100      | 100             | 2800                | 58              | 60       | 60              | 3480                |
| 29              | 80       | 80              | 2320                | 59              | 55       | 55              | 3245                |
| 30              | 95       | 95              | 2850                | 60              | 50       | 50              | 3000                |

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|-----------------|---------------------|
| 61              | 65       | 65              | 3965                |
| 62              | 55       | 55              | 3410                |
| 63              | 90       | 90              | 5670                |
| 64              | 60       | 60              | 3840                |
| 65              | 70       | 70              | 4550                |
| 66              | 30       | 30              | 1980                |

Quadro 10. Resultado dos volumes coletados no raio L (ml) na base 5.

| Nº coletores | Ensaio 1 | Volume médio | Volume ponderado | Nº coletores | Ensaio 1 | Volume médio | Volume ponderado |
|--------------|----------|--------------|------------------|--------------|----------|--------------|------------------|
| 1            | 0        | 0            | 0                | 31           | 130      | 130          | 4030             |
| 2            | 15       | 15           | 30               | 32           | 110      | 110          | 3520             |
| 3            | 80       | 80           | 240              | 33           | 120      | 120          | 3960             |
| 4            | 100      | 100          | 400              | 34           | 105      | 105          | 3570             |
| 5            | 50       | 50           | 250              | 35           | 110      | 110          | 3850             |
| 6            | 155      | 155          | 930              | 36           | 105      | 105          | 3780             |
| 7            | 105      | 105          | 735              | 37           | 90       | 90           | 3330             |
| 8            | 80       | 80           | 640              | 38           | 105      | 105          | 3990             |
| 9            | 120      | 120          | 1080             | 39           | 115      | 115          | 4485             |
| 10           | 105      | 105          | 1050             | 40           | 95       | 95           | 3800             |
| 11           | 110      | 110          | 1210             | 41           | 90       | 90           | 3690             |
| 12           | 125      | 125          | 1500             | 42           | 95       | 95           | 3990             |
| 13           | 125      | 125          | 1625             | 43           | 120      | 120          | 5160             |
| 14           | 120      | 120          | 1680             | 44           | 105      | 105          | 4620             |
| 15           | 115      | 115          | 1725             | 45           | 110      | 110          | 4950             |
| 16           | 110      | 110          | 1760             | 46           | 85       | 85           | 3910             |
| 17           | 105      | 105          | 1785             | 47           | 90       | 90           | 4230             |
| 18           | 90       | 90           | 1620             | 48           | 90       | 90           | 4320             |
| 19           | 105      | 105          | 1995             | 49           | 80       | 80           | 3920             |
| 20           | 110      | 110          | 2200             | 50           | 125      | 125          | 6250             |
| 21           | 110      | 110          | 2310             | 51           | 80       | 80           | 4080             |
| 22           | 100      | 100          | 2200             | 52           | 60       | 60           | 3120             |
| 23           | 110      | 110          | 2530             | 53           | 95       | 95           | 5035             |
| 24           | 120      | 120          | 2880             | 54           | 85       | 85           | 4590             |
| 25           | 110      | 110          | 2750             | 55           | 60       | 60           | 3300             |
| 26           | 105      | 105          | 2730             | 56           | 60       | 60           | 3360             |
| 27           | 105      | 105          | 2835             | 57           | 95       | 95           | 5415             |
| 28           | 85       | 85           | 2380             | 58           | 75       | 75           | 4350             |
| 29           | 105      | 105          | 3045             | 59           | 90       | 90           | 5310             |
| 30           | 125      | 125          | 3750             | 60           | 70       | 70           | 4200             |

| N°<br>coletores | Ensaio 1 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|-----------------|---------------------|
| 61              | 95       | 95              | 5795                |
| 62              | 90       | 90              | 5580                |
| 63              | 95       | 95              | 5985                |
| 64              | 70       | 70              | 4480                |
| 65              | 75       | 75              | 4875                |
| 66              | 85       | 85              | 5610                |

Quadro 11. Resultado dos volumes coletados no raio W (ml) na base 5.

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado | Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|-----------------|---------------------|-----------------|----------|-----------------|---------------------|
| 1               | 0        | 0               | 0                   | 31              | 65       | 65              | 2015                |
| 2               | 45       | 45              | 90                  | 32              | 75       | 75              | 2400                |
| 3               | 170      | 170             | 510                 | 33              | 60       | 60              | 1980                |
| 4               | 95       | 95              | 380                 | 34              | 60       | 60              | 2040                |
| 5               | 80       | 80              | 400                 | 35              | 85       | 85              | 2975                |
| 6               | 100      | 100             | 600                 | 36              | 60       | 60              | 2160                |
| 7               | 80       | 80              | 560                 | 37              | 115      | 115             | 4255                |
| 8               | 75       | 75              | 600                 | 38              | 80       | 80              | 3040                |
| 9               | 85       | 85              | 765                 | 39              | 80       | 80              | 3120                |
| 10              | 85       | 85              | 850                 | 40              | 105      | 105             | 4200                |
| 11              | 75       | 75              | 825                 | 41              | 85       | 85              | 3485                |
| 12              | 95       | 95              | 1140                | 42              | 90       | 90              | 3780                |
| 13              | 85       | 85              | 1105                | 43              | 70       | 70              | 3010                |
| 14              | 90       | 90              | 1260                | 44              | 65       | 65              | 2860                |
| 15              | 90       | 90              | 1350                | 45              | 60       | 60              | 2700                |
| 16              | 70       | 70              | 1120                | 46              | 75       | 75              | 3450                |
| 17              | 75       | 75              | 1275                | 47              | 50       | 50              | 2350                |
| 18              | 70       | 70              | 1260                | 48              | 75       | 75              | 3600                |
| 19              | 90       | 90              | 1710                | 49              | 55       | 55              | 2695                |
| 20              | 100      | 100             | 2000                | 50              | 75       | 75              | 3750                |
| 21              | 105      | 105             | 2205                | 51              | 60       | 60              | 3060                |
| 22              | 95       | 95              | 2090                | 52              | 65       | 65              | 3380                |
| 23              | 85       | 85              | 1955                | 53              | 25       | 25              | 1325                |
| 24              | 85       | 85              | 2040                | 54              | 45       | 45              | 2430                |
| 25              | 90       | 90              | 2250                | 55              | 60       | 60              | 3300                |
| 26              | 90       | 90              | 2340                | 56              | 65       | 65              | 3640                |
| 27              | 80       | 80              | 2160                | 57              | 60       | 60              | 3420                |
| 28              | 65       | 65              | 1820                | 58              | 60       | 60              | 3480                |
| 29              | 60       | 60              | 1740                | 59              | 60       | 60              | 3540                |
| 30              | 75       | 75              | 2250                | 60              | 75       | 75              | 4500                |

| Nº<br>coletores | Ensaio 1 | Volume<br>médio | Volume<br>ponderado |
|-----------------|----------|-----------------|---------------------|
| 61              | 60       | 60              | 3660                |
| 62              | 75       | 75              | 4650                |
| 63              | 85       | 85              | 5355                |
| 64              | 105      | 105             | 6720                |
| 65              | 70       | 70              | 4550                |
| 66              | 30       | 30              | 1980                |