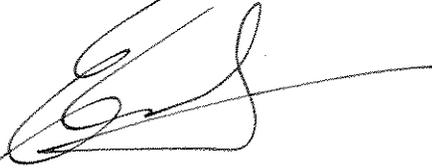


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Delvio Sandri e aprovada pela Comissão Julgadora em 26 de março de 1999. Campinas, 02 de junho de 1999.



*
Presidente da Banca

**AVALIAÇÃO DO DESGASTE POR ABRASÃO EM
BOCAIS DE ASPERSORES ROTATIVOS**

POR
DELVIO SANDRI

Campinas, SP
Março de 1999

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

AVALIAÇÃO DO DESGASTE POR ABRASÃO EM
BOCAIS DE ASPERSORES ROTATIVOS

POR
DELVIO SANDRI

Orientador:

Prof. Dr. EDSON EIJI MATSURA

Dissertação apresentada em cumprimento
parcial aos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de
Concentração: Água e Solo.

Campinas, SP
Março de 1999

9915149



UNIDADE	BC
V. CATEGORIA:	
V. SÉRIE:	
V. EX.	
TOMOS BC/	38.316
PROC.	229/99
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	11/08/99
N.º CPO	

CM-00125549-3

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sa57a Sandri, Delvio
Avaliação do desgaste por abrasão em bocais de
aspersores rotativos. / Delvio Sandri.--Campinas, SP: [s.n.],
1999.

Orientador: Edson Eiji Matsura
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Irrigação por aspersores. 2. Hidráulica. I. Matsura,
Edson Eiji. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Aos meus pais e irmãos

dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor Edson Eiji Matsura pela orientação, ensinamentos, estímulo e sugestões.

Aos professores Evaldo Miranda Coiado, Júlio Satto, José Euclides Stipp Paterniani, Roberto Testezlaf e Tarlei Arrial Botrel pelas sugestões e apoio recebidos.

À Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, pela oportunidade oferecida, através do Departamento de Água e Solo para poder participar do curso de Pós-Graduação.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Estado de São Paulo, pelo suporte financeiro ao desenvolvimento da pesquisa.

Aos Técnicos de Laboratório Túlio A. P. Ribeiro e Gelson, pelo auxílio na montagem do experimento em laboratório e levantamento dos dados.

Ao bolsista do Laboratório de informática do Laboratório de Hidráulica e Irrigação Júlio Henrique Maschio, pelo auxílio na formatação do trabalho.

À Técnica do Laboratório de solos Célia, pela colaboração nas análises realizadas.

Aos funcionários da oficina mecânica da FEAGRI, pelo auxílio na montagem do sistema hidráulico.

À Empresa FABRIMAR S.A. Indústria e Comércio na pessoa do sr. Aymerê Boock, pelo fornecimento de equipamentos para realização dos ensaios.

Ao CT – Centro de Tecnologia da UNICAMP, pela realização das medidas de diâmetro dos bocais dos aspersores, na pessoa dos Engenheiros Naoyuky Sugimori e José A. Serra Ghirotto e do Técnico Vilson.

Aos meus pais Nelson e Evani pela vida, amparo e incentivo em todos os momentos.

Aos meus irmãos pelo estímulo e incentivo.

Aos participantes do Grupo de Estudo em Hidráulica Irrigação e Drenagem (GEHIDRE) pela amizade e importante troca de conhecimentos.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, Ana Carolina, Adalberto, Christiane, Claudinei, Evandro, Fernanda, Miller, Marcelus, Calhau e Sebastião, pela demonstração de amizade.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE QUADROSxi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. RESISTÊNCIA E DURABILIDADE DE BOCAIS	4
3.1.1. Ensaios de desgastes abrasivo em bocais.....	6
3.1.2. Efeito abrasivo em bocais	8
3.2. MANUTENÇÃO E DURABILIDADE DO SISTEMA HIDRÁULICO.....	12
3.2.1. Condições de funcionamento e manejo do sistema	12
3.2.2. Efeito da pressão de serviço.....	13
3.2.3. Efeito do diâmetro do bocal	13
3.3. PARÂMETROS HIDRÁULICOS DOS BOCAIS.....	13
3.3.1. Estudo do escoamento de líquidos através dos bocais.....	13
3.3.2. Pressão de teste de aspersores	20
3.3.3. Tempo de ensaio.....	21
3.4. QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA IRRIGAÇÃO	21
3.5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM RIOS	23
4. METODOLOGIA	26
4.1. LOCAL DA INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL	26

4.2. ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	26
4.3. DESCRIÇÃO DO CIRCUITO HIDRÁULICO	27
4.3.1. Tubulações de Sucção e Recalque.....	29
4.3.2. Motobomba Principal e Misturadora.....	30
4.3.3. Regulador de Pressão.....	30
4.3.4. Totalizador de Horas.....	31
4.3.5. Proteção das motobombas.....	31
4.3.6. Reservatório da mistura sólido - líquida (areia - água).....	31
4.3.7. Cúpula de captação da mistura.....	32
4.3.8. Outros materiais.....	32
4.4. ASPERSORES UTILIZADOS E BOCAIS AVALIADOS.....	32
4.4.1. Aspersores utilizados	32
4.4.2. Bocais avaliados	33
4.4.3. Confecção dos moldes dos bocais	36
4.5. SÓLIDOS UTILIZADOS NO PREPARO DA MISTURA.....	38
4.5.1. Peso específico real da areia.....	38
4.5.2. Água utilizada no preparo da mistura.....	39
4.5.3. Preparo da mistura sólido - líquida (areia - água)	39
4.6. Determinação do desgaste abrasivo dos aspersores	39
4.6.1. Determinação da vazão.....	40
4.6.2. Determinação do Coeficiente de descarga (Cd).....	41
4.6.3. Determinação da concentração média de sólido	41
4.6.4. Determinação da massa dos bocais.....	42
4.6.5. Medição do diâmetro dos bocais	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1 AVALIAÇÃO DOS SISTEMA HIDRÁULICO	44
5.2. COMPORTAMENTO DOS ASPERSORES DURANTE O ENSAIO	45
5.3. AVALIAÇÃO DO DESGASTE ABRASIVO DOS BOCAIS.....	46
5.3.1. Análise da vazão.....	46
5.3.2. Análise do Coeficiente de descarga (Cd).....	50

5.3.3. Análise da concentração média de sólido em suspensão	52
5.3.4. Análise da variação de massa dos bocais.....	54
5.3.5. Análise do diâmetro dos bocais.....	58
6. CONCLUSÕES.....	62
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICE.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 - Formato das bordas de entrada dos bocais convergentes	15
2 - Comportamento do jato líquido na passagem por um bocal convergente	16
3 - Formato de bocais de aspersores mais comumente encontrados.	17
4 - Esquema do ângulo de contração interno de um bocal.....	19
5 - Tipos de escoamento em função da velocidade e do tamanho das partículas.....	25
6 - Esquema de funcionamento do circuito hidráulico utilizados nos ensaios.....	28
7 - Esquema geral dos dois circuitos hidráulico utilizados para levantamento dos dados de ensaio dentro de um depósito maior contendo água.....	29
8 - Vista parcial dos aspersores ensaiados	33
9 - Vista parcial dos bocais de latão, plástico e bronze e seus respectivos moldes.....	34
10 - Esquema das características dimensionais dos bocais de latão, plástico e bronze.....	35
11 - Gráfico da variação de vazão experimental em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido C_1	48
12 - Gráfico da variação de vazão experimental em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido C_2	48
13 - Gráfico da concentração média de sólidos C_1 e C_2 verificada em cada intervalo de ensaio	54
14 - Gráfico da variação da massa em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze para a concentração de sólido C_1	56

15 - Gráfico da variação de massa em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze para a concentração de sólido C_2	56
16 - Gráfico da variação do diâmetro (\varnothing_1) em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze em função das horas de ensaio para a concentração de sólido C_1	59
17 - Gráfico da variação do diâmetro (\varnothing_1) em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze em função das horas de ensaio para a concentração de sólido C_2	60

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 - Características dos aspersores avaliados.....	33
2 - Peneiras utilizadas e proporção de sólido para cada intervalo.....	38
3 - Vazão experimental para os bocais de latão, plástico e bronze para as concentrações C_1 e C_2 para todo o período de ensaio.....	47
4 - Vazão teórica (q) para os bocais de latão, plástico e bronze para as concentrações de sólido C_1 e C_2	50
5 - Coeficiente de descarga (C_d) para os bocais de latão, plástico e bronze para as concentrações de sólido C_1 e C_2	51
6 - Valores da concentração média de sólidos verificada para cada intervalo de ensaio.	53
7 - Variação da massa para os bocais de latão, plástico e bronze em função do tempo de ensaio para as concentrações C_1 e C_2	55
8 - Resumo dos principais resultados obtidos quanto ao diâmetro \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 para os aspersores de latão, plástico e bronze para as concentrações de sólido C_1 e C_2	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

A_{bocal}	- área do bocal, (m^2)
g	- aceleração da gravidade (m/s^2)
C_1 e C_2	- concentração de sólido de 140 e 230 mg/L respectivamente
C_d	- coeficiente de descarga
c.v.	- cavalo vapor
g/cm^2	- quilograma força por centímetro quadrado
kPa	- quilo Pascal
H	- carga sobre o centro do bocal (m)
I_s	- Índice de saturação
mg/L	- miligrama por litro
m/s	- metros por segundo
P.T.Gc.	- peso do coletor de amostras cheio
P.T.Gv.	- peso do coletor de amostras vazio
Q	- vazão experimental (L/s)
q	- vazão teórica (m^3/h)
t	- tempo (s)
V	- volume (L)
γ_{AS}	- peso específico da areia (g/cm^3)
$\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$	- peso específico da água em g/cm^3 à temperatura de ensaio

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito abrasivo ocasionado pela mistura sólido-líquida (areia-água) em bocais de aspersores rotativos, determinando-se a vazão, a variação de massa, dimensões dos bocais e coeficiente de descarga. Os ensaios foram realizados junto ao Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Água e Solos, da Faculdade de Engenharia Agrícola -FEAGRI/UNICAMP.

Foram ensaiados três aspersores com bocais de diferentes materiais, latão, plástico e bronze, submetidos a duas concentrações de sólido $140 \text{ mg/L} \pm 10\%$ (C_1) e $230 \text{ mg/L} \pm 10\%$ (C_2), com granulometria variando de $0,0625 \text{ mm}$ à $0,125 \text{ mm}$ a uma pressão de serviço de 300 kPa (3 kgf/cm^2) durante todo o período de ensaio. As variáveis em estudo foram analisadas a cada 150 horas de ensaio até um total de 2100 horas.

As medidas de vazão feitas por leitura direta, mostraram um aumento de 2,88%, 1,94% e 0,95% para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente sendo iguais para as duas concentrações. A partir das leituras das dimensões dos bocais foi constatado uma variação nos dados de vazão teórica entre as concentrações, onde os valores foram maiores para o tratamento com a concentração C_2 , com valores de 5,18%, 3,63% e 1,56%, enquanto que para a concentração C_1 os valores foram de 3,86%, 2,24% e 0,92% para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente.

As dimensões dos diâmetros dos bocais foram obtidas de forma indireta, através da confecção de moldes com o uso de uma resina especial para tal finalidade. Os resultados indicam que para o diâmetro de saída \varnothing_1 , o aumento relativo percentual de desgaste no diâmetro médio até o final do ensaio para a concentração C_1 foi de 1,96%, 1,12% e 0,48%, enquanto que para a concentração C_2 os valores foram 2,63%, 1,53% e 0,78% para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente.

Durante o ensaio o aspersor de latão foi substituído várias vezes em função do desgaste excessivo em alguns componentes do aspersor. Por outro lado, os aspersores de plástico e bronze foram utilizados para todo o período de ensaio, mostrando melhor durabilidade. A variação do desgaste abrasivo provocado pelas duas concentrações de sólido utilizadas nos ensaios, não provocaram alterações suficientes no diâmetro dos bocais, que justificassem a substituição dos mesmos em ambos os materiais estudados.

ABSTRACT

The main of this work is to evaluate the abrasive effect caused by the solid – liquid sister (sand-water) in nozzles of rotative sprinklers to determine the flow, the variation of mass and dimensions of the nozzles and the discharge coefficient (Cd). The experiments were made in Laboratorio de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Água e Solos, of the Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP.

Three sprinklers using different materials of nozzles was studied: brass, plastic, bronze. It was used two concentration of solid, 140 mg/L \pm 10% (C₁) and 230 mg/L \pm 10% (C₂), and controlled granulometric (0.0625 – 0.125 mm) at 300 kPa (3 kgf/cm²) of pressure. The tests were realized each 150 h until a total of 2100 h.

Small oscillations in the mass loss for the plastic nozzles were obtained, while even for the brass and the bronze nozzles the variation were larger and wore constants.

The flow variation increased 2.88 %, 1.94 % and 0.95 % for the brass, plastic and bronze, respectively. The measurements of the nozzles dimensions show a difference in the flow data in both concentrations. The higher value was found for concentrations C₂ being 5.18 %, 3.63 % and 1.56 %, while for C₁ the values were 3.86 %, 2.24 % and 0.92 % for brass, plastic and bronze nozzles, respectively.

The dimension of the diameter of the nozzles were obtained resin. The results show for the outlet diameter \varnothing_1 , that the increase in the wear of the end of the experiments for concentration C₁ was 1.96 %, 1.12 % and 0.48 %, and for concentration C₂ was 2.63 %, 1.53 % and 0.78 % for brass, plastic and bronze nozzles, respectively.

It was need to substitute the brass sprinkler before change the nozzles because of the excessive wear in some components of the sprinkler. On the other hand, the plastic and bronze sprinkler were used for the whole experiment period, showing better durability. The variations of the abrasive wear provoked by the two solid concentrations used did not change so much the diameter of the nozzles, then, it was not necessary the substitution of the same ones.

1. INTRODUÇÃO

O uso da irrigação é praticado há muito tempo, sendo que a eficiência dos sistemas, a uniformidade de distribuição de água e outros fatores que envolvem a irrigação, não eram motivo de muita preocupação por parte dos fabricantes e agricultores. Porém, com as necessidades de se economizar água, devido a escassez de água de boa qualidade, buscou-se aperfeiçoar os métodos de irrigação, as técnicas de manejo e mais recentemente, as condições hidráulicas e durabilidade dos equipamentos frente as diferentes condições de uso e funcionamento a que são submetidos, visando prolongar a vida útil e alcançar melhores resultados na produção agrícola. No entanto, existem poucos estudos referentes aos danos sofridos pelos equipamentos usados nos sistemas de irrigação, como por exemplo quando se pretende conhecer ou estimar a vida útil dos mesmos como é o caso de aspersores e seus bocais.

Os fatores básicos que podem influenciar no desgaste abrasivo, são a densidade, dureza, tamanho e forma das partículas sólidas; concentração e viscosidade da mistura; composição, forma e dureza dos materiais de fabricação dos equipamentos; pressão de funcionamento; características de escoamento e vazão; velocidade da mistura e ângulo de impacto das partículas sólidas, BOMAM & PARSONS (1993), KARMELI et al. (1982) e TRUSCOTT (1972).

Nos últimos anos, as fontes hídricas estão ficando cada vez mais escassas e comprometidas, por falta de um controle de sua qualidade, pelo uso indiscriminado, políticas prejudiciais aos usos múltiplos das águas e pelas altas cargas poluidoras de origem urbana, industrial e agrícola. Em algumas regiões do Brasil, com o intenso crescimento industrial, urbano e agrícola, constatou-se uma grande alteração, tanto da qualidade como da quantidade dos recursos hídricos, o que levou as autoridades a implantarem políticas de recursos hídricos, que visam controlar o uso incorreto da água. Sendo uma das medidas previstas a cobrança pelo seu uso, ou mesmo pelo lançamento de descargas poluidoras, CARBONARI (1997).

Desta forma, tanto os consumidores urbanos como agrícolas, deverão adotar medidas que permitam a utilização da água estritamente necessária a sua atividade, diminuindo assim os custos com energia e manutenção de sua atividade, evitando desperdícios e conseqüentemente aumentando seus lucros.

No caso específico da irrigação, o desperdício de água poderá se dar de várias formas, entre elas podem ser citados o uso de sistemas de irrigação inadequados a cultura, ao solo e ao clima, tempo de irrigação acima do necessário para suprir a demanda hídrica da cultura, vazamentos nos equipamentos do sistema de irrigação, devido a sua má instalação. Assim, fica evidente a necessidade de tecnologias que permitam ao irrigante minimizar o desperdício de água.

No caso do desgaste dos bocais de aspersores, este efeito pode ser minimizado através do uso de um sistema de irrigação melhor planejado, garantindo um funcionamento equilibrado do sistema, permitindo que o aspersor, que é o componente mais importante, não sofra grandes alterações em suas características originais de funcionamento, uma vez que, é ele o responsável pela distribuição da água na superfície do solo. Desta forma, pressões de funcionamento e velocidade de escoamento do líquido inadequados, juntamente com a presença de partículas sólidas em suspensão, pode alterar o diâmetro dos bocais, aumentando sua vazão e resultando em diminuição da uniformidade de distribuição de água, KARMELI et al. (1982).

Na condução de água para irrigação por aspersão, nem sempre são utilizados sistemas de filtragem para retirada das partículas sólidas em suspensão, acelerando o processo de desgaste dos bocais pelo atrito dessas partículas com as paredes internas do mesmo. A conseqüência pode ser um desequilíbrio hidráulico do sistema, comprometendo a uniformidade de distribuição de água. O desgaste dos bocais pode aumentar com o tempo de funcionamento de acordo com a característica e concentração de sólidos em suspensão, resultando numa maior aplicação de água, podendo superar a capacidade da motobomba, comprometendo a rede de distribuição, BOMAM & PARSONS (1993).

Com a expansão da área irrigada, usando aspersores como meio de distribuição de água e da incerteza quanto a qualidade da água, este trabalho teve por objetivo estudar o efeito abrasivo sofrido pelos bocais dos aspersores, verificando a variação do diâmetro, da massa, da vazão e do coeficiente de descarga (Cd), devido a presença de partículas sólidas na água, para diferentes tempos de operação, de forma a determinar a durabilidade dos aspersores e seus bocais.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da abrasão provocado pela mistura sólido - líquida (areia - água) em bocais de aspersores fabricados em latão, plástico e bronze, para 2100 horas de operação com intervalos de leitura de 150 horas e duas concentrações de sólido, analisando a variação de vazão, da massa, do diâmetro e do coeficiente de descarga dos bocais, de forma a determinar a durabilidade dos aspersores e dos bocais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Resistência e Durabilidade de Bocais

Segundo BREE (1975) o desgaste abrasivo aumenta em proporções diretas com o diâmetro das partículas sólidas em suspensão e da distribuição granulométrica, sendo que partículas de diâmetro maior, tem a tendência de causarem maiores danos aos bocais.

Trabalho realizado por BOMAM & PARSONS (1993), com o objetivo de determinar se o desgaste em emissores ao longo de seu uso e o efeito na variação de vazão, utilizando água limpa nos ensaios, para três formas de controle de vazão, duas pressões de funcionamento (138 e 207 kPa) e em diferentes tempos de operação (0, 500, 1000 e 2000 horas), demonstram que para 2000 horas de operação à 207 kPa, os emissores estudados com diâmetros de 0,97, 1,30 e 1,30 mm, com controle de vazão em orifício (CO), vórtice (CV) e pressão compensação (PC) respectivamente, aumentaram sua vazão em média 7,5%. No mesmo tempo, os emissores com maiores diâmetros, 1,22, 1,70 e 1,65 mm com controle de vazão em orifício, vórtice e pressão compensação respectivamente, variaram mais ligeiramente, cerca de 11%. Com aumento da pressão de 138 kPa para 207 kPa, à 2000 horas de operação, a velocidade da água aumentou cerca de 18% para os emissores de diâmetro menor e 23% para os de diâmetro maior, sendo suficiente para acelerar o desgaste dos bocais dos emissores. Alguns orifícios, apresentaram reduções na vazão durante as primeiras 500 horas de operação, podendo ser causado pelas mudanças ocorridas no material elastomérico, devido a absorção de água ou aquecimento do diafragma. O subsequente aumento em valores de vazão pode ter sido devido as mudanças na elasticidade do diafragma em operação prolongada e/ou aumento na área de passagem devido ao desgaste. Há necessidade de considerar em projetos de microirrigação o efeito do desgaste em componentes do sistema, bombas, filtros e outros componentes do sistema, devendo ser dimensionados para permitir um

aumento de vazão de 10% ou mais devido ao desgaste do orifício dos emissores com CO e VC. A quantidade do aumento é dependente de fatores críticos como a pressão de operação, tipo de emissor, material usado na fabricação dos emissores, origem da água, filtração e horas de operação.

Um modelo para manutenção de aspersores, através da substituição periódica de seus bocais foi desenvolvido por KARMELI et al. (1982). O custo de desperdício de água devido ao desgaste dos bocais e variação de pressão foram considerados com respeito aos parâmetros de aplicação dos aspersores. Existem bocais reguláveis quanto a sua passagem de água através da expansão e contração de seus diâmetros em resposta a variação de pressão. O modelo foi desenvolvido em duas seções, a primeira considerando o problema do desgaste em bocais reguláveis e a segunda considerando o problema da variação de pressão em adição ao desgaste de forma a ter um custo mínimo para a substituição dos bocais com escoamento reguláveis. Para bocais normais, a economia de água alcança de 80 à 90% do custo total, devido a substituição dos bocais em função de seu desgaste. Em condições de médio e alto desgaste os bocais mostram a necessidade de serem substituídos entre 7 à 15 vezes durante a vida útil dos aspersores, ou aproximadamente a cada ano. No entanto, em bocais de alta qualidade, o desgaste é reduzido e o bocal pode ser substituído uma única vez ou duas durante a vida do aspersor. Para bocais com vazão regulável, a economia alcança de 90 à 99% do custo total do consumo de água devido ao desgaste e variação de pressão dos bocais.

Peri & Karmeli citados por KARMELI et al. (1982), encontraram excessivo desgaste chegando a um aumento de 22% de vazão em testes conduzidos em uma grande amostra de diferentes tipos de aspersores quando operados em campo, por períodos variando de 400 à 15000 horas com diferente qualidade da água pela sua substituição.

Trabalho realizado por Bode et al. citado por PADOVAN (1998), utilizando teste de desgaste acelerado, para comparar bicos de pulverizadores agrícolas confeccionados em náilon, latão e aço inox, com 2 vazões diferentes (0,8 e 2,3 L/min), usando como abrasivo a sílica hidratada, na concentração de 20 g/L de água, a intervalos de medidas progressivas de 0,5 à 16 horas e ficando a pressão de teste mantida à 176 kPa (40 psi). Os resultados mostraram que todos os bicos tiveram maior variação de vazão nas primeiras horas de trabalho; onde a ordem de resistência ao desgaste foi: aço inox, latão e náilon, e que bicos de menor vazão se desgastaram mais rapidamente.

Para os testes de desgaste de bicos de pulverizadores existe uma norma que estabelece as características físicas e químicas dos abrasivos, bem como a concentração a ser utilizada nos testes. Mesmo havendo uma série de abrasivos normalizados, a bibliografia a respeito de desgaste dos bicos de pulverização apresenta consideráveis diferenças entre os resultados das pesquisas. Estes fatores segundo REICHARD et al. (1991) são: 1) tipo e fonte do abrasivo, 2) tamanho das partículas sólidas, 3) distribuição das partículas sólidas, 4) formato das partículas sólidas, 5) concentração do abrasivo, 6) tempo de uso da calda, 7) metodologia usada, entre outros.

PADOVAN (1998), utilizando a metodologia da ABNT – NBR 13769 (1997), selecionou e avaliou nove produtos abrasivos, (Corindon – Grão 800, Carbetto de Silício SOC 800, Caulin OB 2150, Alumina Calcinaada APC-2011 SG, Carbetto sw Silício SIC 240, Carbetto de Silício SIC 500, Óxido de Alumínio Branco (FFF), Bióxido de Silício Tixosil 73 e Areia de Fundição), com o objetivo de avaliar suas atuações no desgaste acelerado de seis diferentes tipos de bico de jato plano (Cerâmica XR, Cerâmica ADI, Kamatal UF, Kamatal LD, Aço Inox XR, Aço Inox DG), concluindo que não houve um único produto abrasivo que fosse ideal para determinação do desgaste acelerado dos diversos tipos de materiais de confecção dos bicos. Propondo desta forma, uma possível revisão da norma ABNT – NBR 13769 – “Bicos de pulverização agrícola – Métodos de ensaio” de janeiro de 1997, no que se refere à indicação do material abrasivo.

3.1.1. Ensaio de desgastes abrasivo em bocais

Para o ensaio de desgaste abrasivo de bocais de aspersores agrícolas, não existe uma norma específica para esse fim. No entanto, REICHARD et al. (1991) criaram uma seqüência de procedimentos para teste de desgaste acelerado de bicos de pulverizadores em 1990, a qual em 1991 serviu de base para a Norma ASAE S471, *Procedure for measuring sprayer nozzle wear rate* e reafirmada em 1995. Segundo os autores o desgaste das partículas do abrasivo pode ser dada pela equação abaixo:

$$T = k \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (1)$$

Onde:

T = tempo que a mistura deve ser trocada, h;

V = volume da mistura no tanque, L;

Q = vazão que passa através de todos os bocais, L/h e

K = constante que indica o número de vezes que a partícula do abrasivo deve circular durante o tempo T.

Usando o Caulim como material abrasivo nos ensaios, os autores chegaram ao valor de $k = 300$, ficando a equação igual a:

$$T = 300 \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (2)$$

A norma define outros parâmetros como: todos os bicos devem ter vazão inicial dentro de $\pm 5\%$ da vazão média de todos os demais bicos de cada tipo usado no teste; a temperatura do líquido no tanque, nunca deve exceder à $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante todo o teste; a agitação da mistura dentro do tanque não deve ser excessiva; a bomba não deve causar desgaste excessivo nas partículas abrasivas, uma bomba tipo diafragma é mais recomendada, bombas tipo centrifugas ou similar devem ser evitadas; a pressão deve ser mantida dentro de $2,5\%$ da pressão desejada durante o teste; o material abrasivo para formar a mistura deve conter 60 ± 2 gramas de pó por litro de água limpa, o pó deve ser composto de cristais de hidróxido de silicato de alumínio (Kaolin Clay); a vazão deve ser determinada com água à $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Em condições de laboratório, os ensaios de desgaste acelerado de bicos de pulverizadores agrícolas segue normas sendo uma delas a NBR 13769 (1997). O teste acelerado é muito usado, onde envolve o uso de uma mistura de material abrasivo mais um líquido, geralmente a água, que visa acelerar o processo de desgaste fornecendo resultados rápidos, com menor utilização de mão-de-obra e com a vantagem de ser comparativo com outros testes. Para o ensaio de desgaste de bocais de aspersores, ao contrario, não existe uma norma específica que define os materiais abrasivos que podem ser usados e nem outras condições necessárias ao ensaio.

Ao contrario de bocais de aspersores, o ensaio de desgaste de bicos de pulverizadores está bem mais avançado, existindo muitos trabalhos, sendo a maioria realizados através de teste de desgaste acelerado, onde são definidos vários produtos abrasivos normalizados e em várias situações de ensaio.

3.1.2. Efeito abrasivo em bocais

Mesmo havendo um tratamento inicial da água de irrigação, certas partículas sólidas em suspensão sempre irão existir. Segundo FARRELL (1989), para manter a vida útil do sistema, como previsto em projeto por mais tempo, é necessário o uso de um sistema de filtragem da água para retirada de partículas inorgânicas (silte, areia e argila).

No caso especial da irrigação por aspersão, a presença de areia é comum, embora indesejável, com conseqüente alteração do peso específico da água bombeada. Desta forma, o equipamento de irrigação pode sofrer desgaste de origem abrasiva desde a sua captação, condução e distribuição da água pelos aspersores.

Segundo KARMELI et al. (1982), o desgaste pode resultar em aumento gradual no diâmetro dos bocais e conseqüentemente para uma dada pressão de operação, ocorrerá um gradual aumento de vazão. A variação nos resultados de vazão reduzem a uniformidade de distribuição e levam a aplicação excessiva de água, afetando desfavoravelmente a produção das culturas e outros problemas como escoamento superficial e/ou percolação profunda.

HUGGETT & WALKER (1988), definem abrasão como sendo o desgaste provocado pelo atrito ou impacto das partículas sólidas sobre a superfície interna das bombas, registros, tubulações, etc., ocasionando a retirada do material de fabricação, e erosão como sendo a perda progressiva do material original de uma superfície sólida devida à interação mecânica entre aquela superfície e: um fluido, um fluido com vários componentes, ou partículas sólidas ou líquidos em colisão. A diferença entre erosão e abrasão é que a erosão envolve uma transferência de energia cinética da partícula para o substrato ou material desgastante, enquanto que a abrasão não. A erosão pode ocorrer de três formas:

a - Erosão por deslizamento: Ocorre em áreas onde as concentrações são altas, e a energia cinética é transferida do transporte médio e de interações partícula - partícula. As partículas percorrem as paredes do substrato em ângulos próximo a tangente.

b - Erosão por impacto aleatórios: Ocorre em áreas onde existem vórtices e correntes de turbilhonamento, e não há ângulos de impactos específicos.

c - Erosão por impacto direto: Ocorre em áreas onde a corrente principal de partículas muda de direção com o escoamento (curvas, cotovelos, etc.).

De acordo com NOUR (1991), o desgaste abrasivo é influenciado pelo tipo de sólido, pela sua densidade relativa, dureza e rugosidade superficial. Assim, pode-se assumir que o desgaste abrasivo aumenta em proporções diretas com o diâmetro e forma das partícula sólida onde a distribuição granulométrica também pode influir no desgaste, já que, as partículas de tamanho maior interferem mais rapidamente no desgaste.

TRUSCOTT (1972) cita em seu trabalho, os fatores básicos que afetam o desgaste abrasivo em máquinas hidráulicas que são:

- a - Partículas sólidas:** dureza, tamanho, forma, densidade relativa e concentração;
- b - Materiais de construção das máquinas hidráulicas:** composição, estrutura e dureza;
- c - Escoamento:** velocidade do líquido, ângulo de impacto das partículas, tensões de cisalhamento turbulentos.

O desgaste aumenta rapidamente quando a dureza da partícula excede a da superfície do material sujeito a ação, sendo maior quanto maior for o diâmetro e concentração das partículas.

De acordo com BREE (1975), para o transporte de sedimentos, o tipo de solo bombeado é o fator mais importante na determinação do grau de desgaste. Desta forma, classificou os solos em três grupos principais para determinar a relação entre o desgaste e o tipo de solo:

- I - Solos plásticos coesivos (argila, silte e similares, com diâmetros inferiores a 0,016 mm);
- II - Solos não coesivos (areia e cascalho com diâmetro entre 0,063 e 64 mm e iguais a 0,063 e 64 mm);
- III - Material consolidado coesivo (ardósia, granito, coral e similares com diâmetros superior a 64 mm);

Para solos do grupo (I), o desgaste é pequeno, sendo que para misturas compostas pelos solos (I), mais (II) ou (III), onde o solo (I) é o principal componente, o desgaste é bem menor, do que se fossem utilizados os solos (II) e (III). Para os solos do grupo (II), a taxa de desgaste aumenta acentuadamente em comparação com os do grupo (I).

NOUR (1991), estudando o efeito abrasivo da areia com e sem uso de polímeros redutores de arraste em componentes internos de bombas centrífugas, com rotores de ferro fundido, para duas concentrações de areia: 7% de areia em volume, funcionando por um

período de 12 horas e 13% funcionando por um período de 6 horas, com diâmetro das partículas de areia variando de 0,07 a 2 mm, mostraram ser suficientes para causar grande abrasividade, o que proporcionou desgastes sensíveis. Destaca ainda, que a concentração de areia de 13% provocou menores danos, no entanto ocorreu maiores perdas de carga devido a diminuição da turbulência das partículas no interior do rotor.

Ainda segundo NOUR (1991), para as duas concentrações de sólidos testada, 7,0% como para 13,0% em volume, o desgaste do rotor foi maior no início, diminuindo com o tempo devido ao formato hidrodinâmico adquirido, atingindo um mínimo de desgaste, voltando a aumentar devido ao início da perda do formato hidrodinâmico, até a inutilização completa.

A abrasão também afeta o valor da corrosão, uma vez que a remoção contínua da camada de passivação (formada durante o processo de corrosão sobre a superfície oxidada) torna o material mais susceptível às reações químicas, resultando em elevação da corrosão. Desta forma, no transporte hidráulico de sólidos, o desgaste pode ser causado pela corrosão e/ou abrasão.

A corrosão depende da velocidade de escoamento e da turbulência, sendo causada pelo oxigênio dissolvido (O_2) e ácidos, pH da mistura sólido - líquida e sais, podendo ser controlada pela adição de inibidores à mistura, oferecendo melhores condições de segurança.

Os diferentes materiais utilizados na fabricação dos equipamentos de irrigação, sofrem agressão em função do tipo de material utilizado e da concentração do produto químico adicionado na água quando for o caso. Por isso, é necessário conhecer previamente o grau de tolerância contra o efeito corrosivo de cada material, afim de evitar agressões aos equipamentos de irrigação, que venham a comprometer a vida útil do sistema.

O Quadro 1, apresenta o limite de alguns parâmetros químicos para a água, que prejudicam os materiais, como: o pH, alcalinidade e cálcio para níveis de prevenção generalizada e localizada.

Quadro 1 - Limites de alguns parâmetros para água como o pH, alcalinidade total e cálcio para dois níveis de prevenção : **generalizada e localizada**

NIVEIS DE PREVENÇÃO	PARÂMETROS	LIMITES
Minimizar corrosão Generalizada	PH	> 7,0
	Alcalinidade total (mmol/L)	> 1
	Ca ²⁺ (mmol/L)	> 0,5
Minimizar corrosão Localizada	PH	> 7,5
	Alcalinidade total (mmol/L)	> 2
	$\frac{\{Cl^{-}\}}{2} + \frac{1}{2} \{SO_4^{-2}\}$ alcalinidade total	< 1

Fonte: Norma DIN 50930

O nível de corrosividade da água é obtido através do cálculo do índice de saturação (I_s), sendo consideradas águas não corrosivas aquelas que apresentam I_s superiores a 0,5. Águas com I_s inferiores a - 0,5 são consideradas de alta corrosividade, ASBRASIL A.S. (1994).

O índice de saturação é dado por:

$$I_s = pH(\theta) - C - pCaCO_3 - pCa \dots\dots\dots (3)$$

Onde:

I_s = Índice de saturação

$pH(\theta)$ = pH in natura medido à temperatura θ

C = constante obtida à partir dos sólidos dissolvidos (ppm) e da temperatura θ (°F)

$pCaCO_3$ = alcalinidade expressa em ppm de $CaCO_3$

pCa = dureza de cálcio expressa em ppm de $CaCO_3$

3.2. Manutenção e durabilidade do sistema hidráulico

3.2.1. Condições de funcionamento e manejo do sistema

As partes internas dos equipamentos (motobombas, aspersores, etc.), em que as partículas sólidas em suspensão na água estejam em contato, devem ser de preferência de material não abrasivo e não corrosivo, afim de evitar danos excessivos.

Segundo COSTA et al. (1986), quando do uso de fertilizantes, estes devem ser altamente solúveis, apresentar alto grau de pureza, para evitar entupimentos e danos, principalmente no caso da irrigação localizada.

Segundo boletim técnico da ASBRASIL S.A (1994), quando da aplicação de produtos químicos, o equipamento deve continuar operando somente com água por mais 15 a 30 minutos, para que sejam eliminados possíveis resíduos existentes. É importante observar que essa recomendação pode limitar o uso de certos produtos, que não podem ser lavados. Da mesma forma os pontos de acúmulo de produto na tubulação devem ser completamente drenados, evitando-se tempo de exposição prolongado do mesmo com a superfície do material. Sabe-se que a diminuição da eficiência e da vida útil de emissores de água, é proporcional ao aumento no teor de impurezas na água de irrigação. Entretanto, não se dispõe atualmente de muitos dados que correlacionam a queda da eficiência e vida útil dos aspersores na presença de partículas sólidas ou mesmo produtos químicos em suspensão na água de irrigação. Também não se conhece com precisão o comportamento desse declínio, para aspersores fabricados de diferentes materiais, para as várias condições de operação que são submetidos, como a pressão de operação do sistema, velocidade da água, etc. durante a vida útil do aspersor.

Segundo BOMAM & PARSONS (1993), a água não filtrada poderá conter algas e partículas sólidas onde, juntamente com a não manutenção do sistema, são problemas que podem provocar danos diversos aos bocais dos aspersores, como o desgaste abrasivo, podendo desta forma levar a um desequilíbrio no sistema de irrigação, decorrente da alteração das condições hidráulicas de funcionamento. Desta forma, a capacidade dos filtros, bombas e sistemas de canos, poderá se exceder com o tempo de funcionamento, além de provocar desperdício de água pelo aumento de vazão.

3.2.2. Efeito da pressão de serviço

Com o aumento da pressão no bocal, mais homogênea se torna a distribuição de água sobre a superfície do solo, devido a uma maior fragmentação do fluxo contínuo do jato, NETO (1983). No entanto, quanto maior a pressão maior é o desgaste no bocal.

LI et al. (1997), estudando o efeito do formato do bocal e formação das gotas, mostra que o diâmetro das gotas diminui com o aumento de pressão.

3.2.3. Efeito do diâmetro do bocal

Para uma mesma pressão, quanto maior o diâmetro melhor é a homogeneidade da distribuição da água. Este fato ocorre com o aumento do diâmetro do bocal, por se aproximar mais de um tubo, NETO (1983).

A mudança de bocal circular para bocal quadrado também tem-se uma diminuição do diâmetro das gotas. No entanto para altas pressões, para ambos o formatos de bocais o diâmetro das gotas diminui, LI et al. (1997).

3.3. Parâmetros hidráulicos dos bocais

3.3.1. Estudo do escoamento de líquidos através dos bocais

O estudo hidráulico de líquidos escoando pelos orifícios e bocais, pela importância que representa nas aplicações práticas, merece um estudo mais aprofundado. As aplicações práticas dos bocais são várias: aplicações de limpeza, combate a incêndio, aplicações agrícolas, serviços de construção, máquinas hidráulicas, etc.

De modo geral, para se obter uma melhor distribuição de água sobre o solo, quanto maior o diâmetro de saída do bocal maior deverá ser a pressão de operação do aspersor. Os aspersores rotativos podem ser de dois tipos: os de baixa velocidade de rotação, abaixo de 1 rpm e os de alta velocidade de rotação, acima de 5 rpm. Quanto maior a velocidade de rotação do aspersor menor é a área irrigada. A rotação lenta do aspersor aumenta a vida útil, devido a redução do desgaste. No entanto, estes aspersores provocam maiores variações na velocidade

de rotação, afetando consideravelmente a homogeneidade da distribuição de água, Christiansen, citado por COELHO (1985).

Trabalho realizado por COELHO (1985) sobre estudo dos jatos coaxiais para aplicação em irrigação, selecionou três variáveis como objeto de estudo:

- i) A proporção entre as áreas das seções de saída do jato externo e o jato interno (A_e/A_i);
- ii) A conicidade do jato externo (α) e
- iii) A pré-circulação do jato externo (γ).

Foram construídos 28 bocais coaxiais, cujas diferentes características geométricas permitiram fazer variar as condições iniciais dos escoamento obtidos. Assim, as variáveis estudadas foram determinadas dentro das seguintes faixas: $0,5 \leq A_e/A_i \leq 1,5$; $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$; $0^\circ \leq \gamma \leq 50^\circ$. Através destas variáveis chegou-se ao perfil de distribuição dos aspersores usados em sistemas de irrigação auto-propelido e sistemas estacionados. A seção de saída do jato central abandonava o jato por um orifício circular cujo o centro se situava no eixo de simetria do escoamento. O jato, externo saía do bocal por seis orifícios, com formato de setores de arco circular, radial e simetricamente dispostos em torno do orifício do jato interno.

Com base nos ensaios COELHO (1985), conclui que um bocal coaxial a ser usado em sistemas de irrigação estacionario deverá possuir, no jato externo, uma conicidade de 10° e a proporção de A_e/A_i entre 0,9 e 1,2. Por outro lado, os bocais coaxiais para sistemas de irrigação auto-propelido deverão possuir valores de α igual a 5° e A_e/A_i igual a 1. Nos bocais coaxiais com pré-circulação do jato externo, o ângulo que apresentou maiores vantagens foi $\gamma = 10^\circ$ para bocais de aspersores estacionários. Quanto a utilização destes bocais com pré-circulação em sistemas de irrigação auto-propelido não se verificou vantagem.

Bocais são peças tubulares adaptadas aos orifícios. Servem para dirigir o jato. O seu comprimento deve estar compreendido entre 1,5 e 5,0 D. Quando $L < \frac{D}{2}$ os orifícios são considerados como de paredes delgada; com $\frac{D}{2} < L < \frac{3D}{2}$ orifício em parede espessa; $\frac{3D}{2} < L < 5D$ bocal com tubo adicional; $5D < L < 100D$ tubos curtos e $L > 100D$ encanamentos, (sendo D o diâmetro e L o comprimento do bocal) GARCÊS (1977).

Segundo AZEVEDO NETTO (1977), as condições hidráulicas dos bocais são influenciadas principalmente pelo formato, condições de acabamento, ângulo de convergência

e comprimento do bocal. De um modo geral pode-se ter bocais cilíndricos (internos e externos) ou cônicos (convergentes e divergentes). O coeficiente de descarga (C_d), para bocais cônicos divergentes e convergentes, seu valor normalmente está compreendido entre 0,95 a 0,98.

Segundo LENCASTRE (1972), o coeficiente de descarga para bocais convergentes como mostra as Figuras 1a e 1b, variam com o ângulo de convergência, como mostrado na Quadro 2.

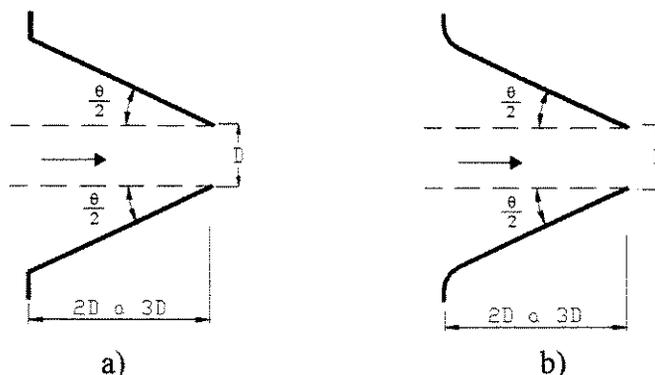


Figura 1 - Formato das bordas de entrada dos bocais convergentes

- a) bordas arestadas
- b) bordas com entradas arredondadas.

Quadro 2 - Valores do coeficiente de descarga (C_d) para bocais convergentes em função do ângulo de convergência

Ângulo (θ)	0°	5° 45'	11° 15'	22 30'	45°
Cd Fig. 1 a	0,83	0,94	0,92	0,85	-
Cd Fig. 1 b	0,97	0,95	0,92	0,88	0,75

Fonte: Lencastre, 1972. p. 245

Com a adição de um bocal em um orifício, novos pontos de perda de energia são criados. A pressão média existente na coroa de depressão que envolve a veia líquida dentro do bocal é menor que a pressão atmosférica. Desta forma, com o orifício a descarga ocorrerá contra a pressão atmosférica, com a adição do bocal a descarga é feita contra uma pressão menor, elevando-se a vazão.

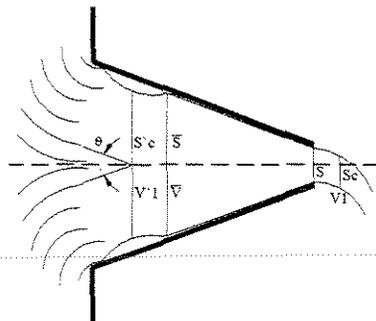


Figura 2 - Comportamento do jato líquido na passagem por um bocal convergente

Nos bocais convergentes, como mostra a Figura 2, a trajetória dos filetes formam dentro do bocal uma seção contraída $S'c$, correspondendo a uma velocidade $V'1$, voltando a expandir o jato até atingir a área \bar{S} com velocidade \bar{V} . Sendo S a área de saída do bocal, o jato na parte externa ao bocal, é contraído novamente a uma seção Sc de velocidade $V1$. Com o aumento do ângulo θ , a relação $\frac{S_c}{S}$ (coeficiente de contração - C_c) diminui, no entanto, o valor do coeficiente de velocidade (C_v) aumenta. Os valores do coeficiente de descarga ($C_v \cdot C_c$) tem seu valor aumentada quando o ângulo passa de 0° a $13^\circ 15'$, que é quando o C_d passa por um máximo, GARCÊS (1977).

De acordo com PIMENTA (1977), na maioria das vezes, o formato dos bocais são cônicos, originando uma maior vazão que os de formato cilíndrico. Experimentalmente verificou-se que nos bocais cônicos convergentes, a vazão é máxima para um ângulo (θ) igual a $13^\circ 30'$, resultando em um $C_d = 0,94$. Para bocais com bordas bem arredondadas, como mostra a Figura 1b, o coeficiente de descarga (C_d) médio é de 0,98, enquanto que para outros formatos de bocais o coeficiente de descarga diminui consideravelmente.

Da carga total inicial disponível em bocais cilíndricos, cerca $2/3$ incide no centro do bocal, ou seja $h = \frac{V^2}{2g}$. O restante $1/3$, corresponde a energia despendida na entrada do bocal,

correspondendo a aproximadamente $0,5 \frac{V^2}{2g}$, quando considerado C_v igual a 0,82. Em bocais com bordas bem arredondadas Figura 3a, eleva-se o valor de C_v para próximo de 0,98,

resultando em uma perda de energia de $0,04 \frac{V^2}{2g}$, o que mostra haver melhores condições de entrada.

Segundo PIMENTA (1977), nos bocais cônicos convergentes, Figura 3b, a pressão em S_1 é maior que em S . O coeficiente de contração (C_c), depende do seu ângulo θ , sendo máximo para 0° (cilíndrico) e mínimo para 180° (orifício). Assim, tem-se $0,62 < C_c < 1$. O Coeficiente de velocidade (C_v), depende da perda de carga no bocal, decorrente do atrito interno do líquido contra as paredes do bocal e da variação da seção do mesmo. Desta forma, quando θ passa de 0° a 180° , tem-se que $0,82 < C_v < 0,98$. Nos bocais cônicos divergentes, Figura 3c, os maiores valores do coeficiente de descarga (C_d) é conseguido com ângulo (θ) de 5° , combinado com o comprimento do tubo igual a cerca de nove vezes o diâmetro da seção estrangulada. A pressão em S_1 é maior que em S , sendo que quanto maior a diferença, mais eleva-se o coeficiente de descarga (C_d). Quando aumenta-se o θ , o C_v e a pressão em S_1 diminuem e a vazão aumenta. A pressão prática usada em S_1 , para evitar a cavitação (formação de bolhas de ar), é de 38 kPa, sendo que a pressão crítica (P_c), depende de diversos fatores como: quantidade de ar dissolvido no líquido, temperatura e existência de partículas sólidas no líquido.

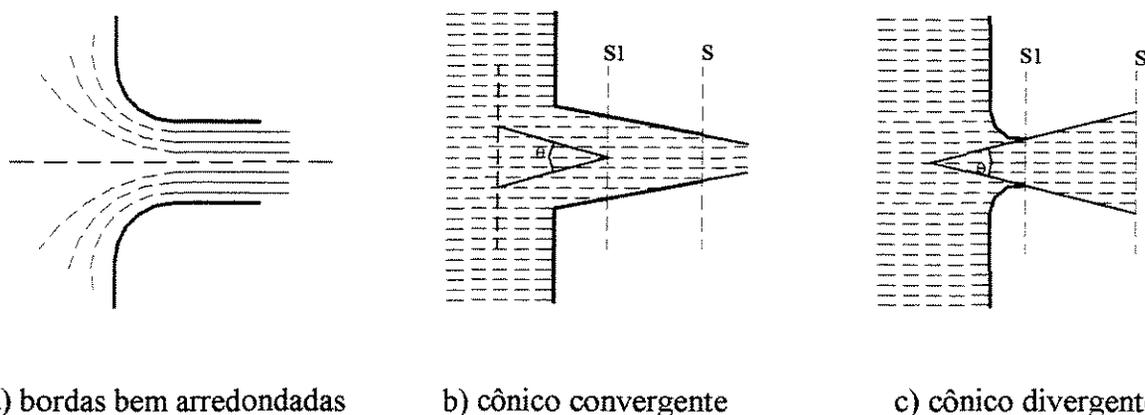


Figura 3 - Formato de bocais de aspersores mais comumente encontrados.

LI et al. (1995), cita alguns dos principais parâmetros dos bocais retangulares duplos que são, o ângulo de contração interno dos bocais, a relação comprimento pela altura da

abertura retangular, o espaçamento entre duas aberturas retangulares e o ângulo entre as duas aberturas adjacentes. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos dos parâmetros geométricos dos bocais com abertura retangular dupla em aspersores de impactos na aplicação de água, Figura 4. Os valores do expoente de descarga x , variaram de 0,483 à 0,527 com média de 0,502. Esta é uma variação normal se comparado com dados de outros pesquisas. Aparentemente, nenhum dos ângulos de contração interno e nem a variação de comprimento pela altura da abertura retangular afetam o valor de C_d . O raio de alcance do jato diminui significativamente com o aumento do espaçamento das aberturas retangulares. O raio de alcance do jato aumenta com a variação do comprimento pela altura. A rotação circular completa aumenta linearmente com o espaçamento da abertura para uma certa variação do comprimento pela altura para um dado espaçamento da abertura.

Um estudo foi realizado por LI et al. (1998), com o objetivo de determinar como o ângulo de contração interno dos bocais são afetados pela relação pressão-vazão, rotação do aspersor e modelo de distribuição de água. O ângulo de convergência do bocal pode afetar a velocidade inicial a difusão do jato líquido originado no orifício do bocal, influenciando desta forma na relação pressão- vazão do aspersor, rotação do aspersor e o modelo de distribuição de água. A relação entre a pressão e vazão para orifícios e bocais, geralmente dada pela equação: $q = C_d \cdot A \cdot (2gh)^x$, sendo x o expoente de vazão e C_d o coeficiente de descarga. Estes parâmetros são muito importantes para o desenvolvimento de novos modelos de aspersores e planejamento dos sistemas de irrigação por aspersão, devido a combinação do tamanho do bocal e pressão máxima a ser determinada para o funcionamento dos mesmos.

Neste trabalho, o ângulo de contração variou de 20° à 90° (θ), para estabelecer a melhor relação entre pressão e vazão. O valor do ângulo era alterado com a mudança do comprimento S como mostrado na Figura 4. A vazão aumentou exponencialmente com o aumento da pressão. O expoente de descarga é essencialmente independente do ângulo de convergência do bocal, podendo ser considerado igual a 0,50. No entanto, o C_d diminua consideravelmente com o aumento do ângulo de contração. A velocidade média de rotação do aspersor para diferentes ângulos de contração dos bocais diminui com aumento do ângulo. A distribuição de água foi testada para vários ângulos de contração, sendo que bocais com ângulo de contração variando de 20° a 60° produziram aproximadamente igual modelo de distribuição radial e similar perfil de distribuição de água, porém o modelo de distribuição radial teve redução

significativa para o ângulo de contração próximo a 60° . O ângulo de contração interno ótimo é de cerca de 30° .

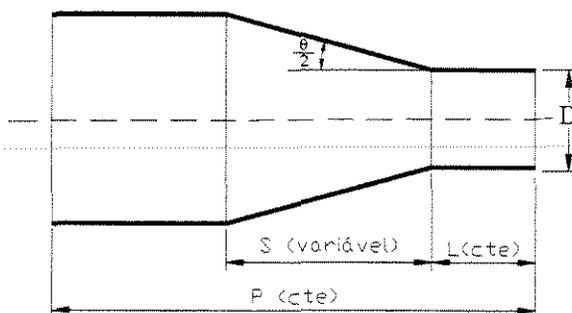


Figura 4 - Esquema do ângulo de contração interno de um bocal

Segundo LI et al. (1998), na irrigação por aspersão o aspersor é o principal elemento, onde a uniformidade de distribuição e sobreposição, tamanho das gotas, depende do desempenho hidráulico do mesmo, sendo influenciado essencialmente pela forma física do aspersor, configuração do bocal, pressão de operação, espaçamento entre aspersores e condições climáticas como, velocidade e direção do vento. Para evitar a influência da seção de estrangulamento, do valor do diâmetro de L/D Figura 4, no desempenho do aspersor, todos os bocais testados tiveram valores de L/D igual a 1. O valor do expoente de vazão médio para três ensaios de cada bocal, teve variação de 0,496 à 0,514 (20° à 90°) com valor médio de 0,502. O coeficiente de descarga praticamente não variou com a mudança do ângulo interno de 20° para 30° , entretanto diminuiu de 0,98 para 0,68 com o aumento do ângulo de convergência de 30° para 90° . A redução do C_d com o aumento do ângulo de contração pode ser devido a separação das paredes e a diminuição da área da seção transversal do jato.

Outro trabalho realizado por LI et al. (1996), para investigar a influência dos parâmetros geométricos em bocais quadrados e triangulares na vazão dos aspersores e modelos de distribuição de água, considerando como principal parâmetro a forma do bocal quadrado o ângulo de convergência e nos bocais triangulares o ângulo de convergência e a variação do comprimento-altura (L/D), concluíram que para bocais triangulares, a influência do ângulo de contração interno no C_d e na aplicação de água foi insignificante para ângulos entre 10° à 45° . Porém o perfil de aplicação de água verificado em um único aspersor foi sensível a variação do comprimento-altura do orifício. O C_d diminuiu de 0,97 para 0,78 quando

o ângulo de contração aumentou de 50° para 90°. Entretanto, o coeficiente foi de aproximadamente 0,96 com um valor de ângulo de 20° à 50°. O Cd é máximo com valor de 0,97 para um ângulo de contração de 30°. Para uma dada pressão, o bocal com diferente ângulo de contração interno resulta em aproximadamente igual alcance radial quando o ângulo muda de 20° para 50°, entretanto quando o ângulo exceder de 50°, o alcance radial é reduzido. Para se ter um melhor perfil de aplicação de água, com um melhor alcance do jato, o ângulo de contração interno deve estar entre 20 à 50°. A variação do comprimento-altura, com diferentes ângulos de contração entre 1,00 à 1,93, mostrou igual vazão para uma dada pressão. Para uma dada pressão, o raio de alcance aumenta com o aumento da variação da altura pelo comprimento, especialmente quando menor que 1,35.

3.3.2. Pressão de teste de aspersores

A pressão de teste para aspersores em operação deve ser declarada pelo fabricante, devendo ser determinada como limite de pressão. Na ausência de informações que declarem estes dados, a pressão de teste pode ser determinada de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 - Valores para teste de pressão

Diâmetro equivalente do bocal (mm)	Pressão de teste (kPa)
$d < 2$	200
$2 \leq d \leq 7$	300
$7 < d \leq 20$	400
$d > 20$	500

Fonte - Norma ISO 7749 - 1 : 1995 (E)

O diâmetro equivalente do bocal (d), para determinação da pressão de teste é dada pela equação seguinte:

$$d = \sqrt[3]{\frac{q}{3,14cd\sqrt{0,2gh}} \cdot \frac{1000}{60}} \dots\dots\dots (4)$$

Onde:

d = diâmetro equivalente (mm)

q = vazão (m^3/h)

cd = coeficiente de descarga

g = aceleração da gravidade, (9,81 m/s)

h = carga sobre o centro do bocal (m)

3.3.3. Tempo de ensaio

Segundo a Norma ISO 7749 - 1 : 1995 (E), usando água limpa para teste de durabilidade, deve-se operar os aspersores por 2000 horas, com pressão efetiva máxima ($P_{m\acute{a}x}$). Operar o aspersor continuamente por 4 à 5 dias, com intervalo de 1 à 2 dias em seqüência alternada, até atingir um total de 2000 horas de operação.

Segundo KELLER & BLIESNER (1993), normalmente o uso de microaspersores, alcança entre 150 a 200 horas de funcionamento por ano, podendo este tempo variar em função da precipitação, solo, taxa de vazão emitida, fertirrigação, operação de quimigação e fatores econômicos. Nestas condições, a vida normal dos microaspersores, por exemplo, é de aproximadamente 10 anos.

3.4. Qualidade dos recursos hídricos para irrigação

A qualidade de uma água está relacionada, com suas características biológicas, físicas e químicas. Com relação as impurezas de natureza física (silte, areia e argila), dependendo de sua composição e concentração dos sólidos em suspensão, ter-se-á maior ou menor ação física nos bocais dos aspersores. Pode-se ter também impurezas de origem biológica, como algas e microorganismos, porém estes elementos são mais críticos em sistemas de irrigação localizado.

SCALOPPI & BRITO (1986) afirmam que os aspectos físicos, químicos e biológicos da água, aliados a outros fatores, como propriedade do solo, características das culturas, condições climáticas e práticas de manejo, podem tornar a água inadequada para irrigação.

Segundo ZEIER & HILLS (1987), para o caso de determinar o desempenho de filtros de tela para micro - irrigação, a concentração de sólidos em suspensão na água de irrigação varia de 1 mg/l a 75 mg/l ou mais. Na metodologia adotada por estes autores, a granulometria da areia usada variou de 85 a 462 microns.

Segundo BERNARDO (1989), a qualidade da água para irrigação, refere-se à sua salinidade, com relação à quantidade de sólidos dissolvidos. No entanto, para correta interpretação da água para irrigação, devem ser analisados os parâmetros relacionados com seus efeitos no solo, na cultura e no manejo da irrigação.

Dados apresentados por CARBONARI (1997), compilados junto a órgãos e entidades que atuam nas bacias, no âmbito de seu respectivo comitê, mostram de forma direta o uso da água nas bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, quanto ao seu uso urbano, irrigação e industrial. Na bacia do Capivari, a demanda na irrigação é de 35%. Na bacia Atibaia e Piracicaba a demanda na irrigação é de 16% do total, nas bacias Carumbataí, Jaguari, Jundiaí são de 14%, 30% e 34% da demanda total respectivamente. O restante da demanda é distribuído entre os setores industrial e urbano. Estes dados mostram a necessidade do controle da qualidade da água, frente ao crescente uso na área agrícola, visando manter sua qualidade tanto qualitativa quanto quantitativa.

De acordo com a revisão bibliográfica apresentada neste trabalho, observa-se que no efeito abrasivo devem ser considerados, tanto a qualidade da água representada pela presença de material orgânico ou inorgânico, bem como o comportamento do escoamento da mistura sólido - líquida e as características dos materiais que compõem o sistema hidráulico. A velocidade de escoamento é outro fator de maior importância, podendo influenciar na homogeneidade da mistura sólido - líquida, influenciando significativamente no aumento do desgaste abrasivo.

3.5. Transporte de sedimentos em rios

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportado pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos, ou seja, irá influenciar a vida útil dos reservatórios e dos equipamentos do sistema.

A presença de sólidos em suspensão na água de bombeamento é uma causa típica de variação de seu peso específico, apresentando interesse prático em inúmeras aplicações tais como abastecimento em geral, irrigação, drenagem, etc. No caso particular deste trabalho, o que interessa para nós é a presença de areia na água de irrigação, o que embora indesejável é comum, com conseqüente alteração do peso específico da água bombeada.

Estudo realizado por FIGUEIREDO et al. (1995), para determinar a dinâmica da produção e transporte de sedimentos nas áreas de drenagem situada na parte alta e parte média da bacia do Rio Aguapeí - SP, analisando os dados de uso e manejo do solo, coletados nestas áreas, dados de vazões líquidas medidas e concentrações de sedimentos determinados de amostras coletadas na calha do rio durante 20 anos (1974 a 1991). Os resultados dos estudos indicaram que as partículas de areias média e fina, coletado nas margens esquerda do Rio Aguapeí e na margem de um de seus afluentes também na margem esquerda foram predominantes, apresentando diâmetros de 0,05 mm a 0,50 mm e porcentagens de 92,27 % à 97,90%. Enquanto que as partículas de argila e silte não foram predominantes apresentando diâmetros de 0,05 mm a < 0,002 mm e porcentagens de 2,00% a 7,14%. As partículas de areia grossa e média, também não foram predominantes apresentando diâmetros de 0,50 mm a 2,00 mm e porcentagens de 0,00% a 0,10%. As partículas de areia média e fina, coletadas no leito do Rio Aguapeí - SP e no leito de um dos afluentes da margem esquerda forma predominantes e apresentaram diâmetros de 0,05 mm a 0,50 mm e porcentagens de 94,90% a 98,35%. As partículas de argila e silte não foram predominantes apresentando diâmetros de 0,05 mm a < 0,002 mm e porcentagens de 1,39% a 5,00%. As partículas de areia grossa, não foram predominantes, com diâmetros de 0,50 mm a 2,00 mm e porcentagens de 0,02% a 0,38%.

Em função das características para a parte alta (próximo a nascente) e parte média do Rio Aguapeí - SP, os sedimentos transportados em suspensão denominado “Carga de lavagem”, tem-se o diâmetro limite que é menor ou igual a 0,095 mm (entre silte e areia fina).

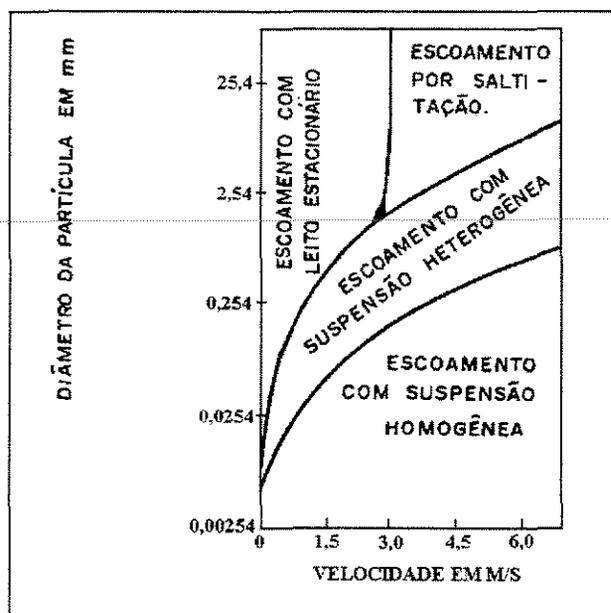
A proporção de sólidos transportados em suspensão em um rio, está intimamente relacionado às características do solo das margens do rio e principalmente da época do ano. Na ocasião das cheias, a concentração de sólidos é sensivelmente acentuada, no entanto, isso não traz inconvenientes, por ser períodos que não esta sendo realizado as irrigações.

O ponto de sucção da motobomba para abastecer sistemas de irrigação, deve ser instalada em pontos estratégicos, de forma a não captar na sucção quantidade excessiva de partículas sólidas, o que poderia trazer danos aos componentes do sistema de irrigação.

Segundo COIADO (1984), no início do escoamento as partículas do leito são submetidas a forças hidrodinâmica. Um acréscimo na velocidade acarretará num aumento dessa força hidrodinâmica capaz de movimentar as partículas sólidas do plano estacionário. O início do movimento dos grãos sólidos é denominado **condição crítica de escoamento**. As misturas sólido - líquidas transportadas por um conduto são classificadas em misturas sedimentáveis e misturas não sedimentáveis. As velocidades de sedimentação (V_s) das partículas sólidas das misturas sedimentáveis são maiores que 0,060 a 0,15 cm/s e das misturas não sedimentáveis menores que 0,060 a 0,15 cm/s. Com o aumento da velocidade média de escoamento, a distribuição vertical de concentração de sedimentos vai tornando-se uniforme. A uniformidade de escoamento de misturas sólido - líquidas depende do diâmetro das partículas e da velocidade média de escoamento do fluxo na tubulação. As partículas sólidas devido sua densidade podem sedimentar-se no leito da tubulação. Existe uma velocidade denominada **velocidade crítica de sedimentação (V_{cs})**, que para maiores valores de velocidade todas as partículas do leito estacionário estarão em suspensão. Para menores valores de velocidade, haverá troca de partículas entre o leito e o fluxo. Para comparação entre a velocidade média de escoamento e a velocidade crítica de sedimentação tem-se as seguintes situações:

a - Para $V < V_{cs}$, ocorrerão constantes trocas de partículas entre o leito e o fluxo. Partículas movimentam-se junto ao leito por saltitação. O leito apresenta-se bem instável com formação de dunas. Esta situação segundo Durand & Condolios¹ (citados por COIADO, 1984), mostrada na Figura 5, ocorrerá mesmo para velocidades altas, desde de que, as partículas sólidas tenham diâmetro superior a 0,15 mm.

¹Durand, R & Condolios, E – CONGRÉS DU CENTENAIRE DE 1^a. SOC. da L' Ind. Min. Paris, 1955.



Fonte : COLADO, 1984. p.33

Figura 5 - Tipos de escoamento em função da velocidade e do tamanho das partículas.

b - Para $V > V_{cs}$, as dunas são arrastadas, não ocorrerá sedimentação, todas as partículas do leito estarão em suspensão originando misturas em suspensão homogêneas ou heterogêneas. Na primeira, as partículas sólidas estão uniformemente distribuídas em toda a seção do conduto, ocorrendo, mesmo em baixas velocidades, para partículas de tamanho inferior a 0,03 mm. Nas misturas em suspensão heterogêneas as maiores concentrações encontram-se junto à parede do conduto.

4. METODOLOGIA

4.1. Local da Investigação Experimental

Os ensaios para levantamento de dados, foram realizados no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Água e Solos, da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

4.2. Ensaio de Laboratório

Como não se dispõe de uma norma específica para teste de desgaste abrasivo de bocais de aspersores, tomou-se como referência a Norma ISO 7749 - 1 1995 (E), usada para teste de durabilidade usando apenas água limpa, sendo o tempo total de ensaio definido em 2000 horas.

Também não é definido em norma, a concentração e características dos sólidos a serem adicionados ao meio líquido, para determinação de desgaste abrasivo de bocais de aspersores. No entanto, trabalho realizado por COIADO (1997), para verificar a velocidade de escoamento e concentração de sólidos em suspensão no Rio Atibaia/SP, encontrou uma concentração média de sólidos em suspensão entre 80 à 110 mg/L.

Trabalho realizado por FIGUEIREDO (1995), para analisar a concentração e granulometria dos sólidos na Rio Aguapeí, mostrou que cerca de 95% dos sólidos era de partículas de areia fina e média com diâmetros de 0,05 mm à 0,5 mm, enquanto que partículas de argila e silte não foram predominantes, apresentando diâmetros de 0,05 mm a 0,002 mm.

Tomando como base estes valores, procurou-se realizar os ensaios em condições de laboratório, utilizando-se duas concentrações de sólidos em suspensão para formar a mistura sólido – líquida (areia – água), 140 mg/L (C₁) e de 230 mg/L (C₂). A granulometria dos sólidos usada esteve entre 0,0625 mm à 0,125 mm de diâmetro, correspondendo a um intervalo de areia fina para média.

4.3. Descrição do Circuito Hidráulico

O esquema hidráulico utilizado para o levantamento dos dados deste trabalho, para avaliação de desgaste abrasivo dos bocais dos aspersores, pode ser visto na Figura 6. Durante os ensaios constatou-se um bom comportamento do sistema montado em relação a sua regularidade de funcionamento, tanto do conjunto motobomba, bem como dos demais componentes do sistema hidráulico. Em decorrência de um excessivo aquecimento verificado na mistura do reservatório do experimento e a rápida recirculação da mistura, os dois sistemas foram colocados dentro de um depósito maior, com dimensões de 3 x 6 m e altura do nível da água igual ao nível da mistura no reservatório, como mostra a Figura 7, permitindo a troca de calor entre a água do reservatório do experimento e a água do depósito maior, visando manter a temperatura da água dentro de um limite aceitável para ensaio de desgaste abrasivo.

Foram construídos dois sistemas hidráulicos semelhantes, com a finalidade de acelerar o processo de levantamento de dados, sendo que em cada sistema foi utilizado uma única concentração e três aspersores durante todo o período de ensaio. O sistema era composto por tubulações de uma polegada de diâmetro (0,0254 m), de três quartos de polegadas de diâmetro (0,01905 m) e meia polegada de diâmetro (0,0127 m).

As disposições das tubulações de sucção e recalque tanto da motobomba principal como misturadora, podem ser observados nas Figuras 6 e 7.

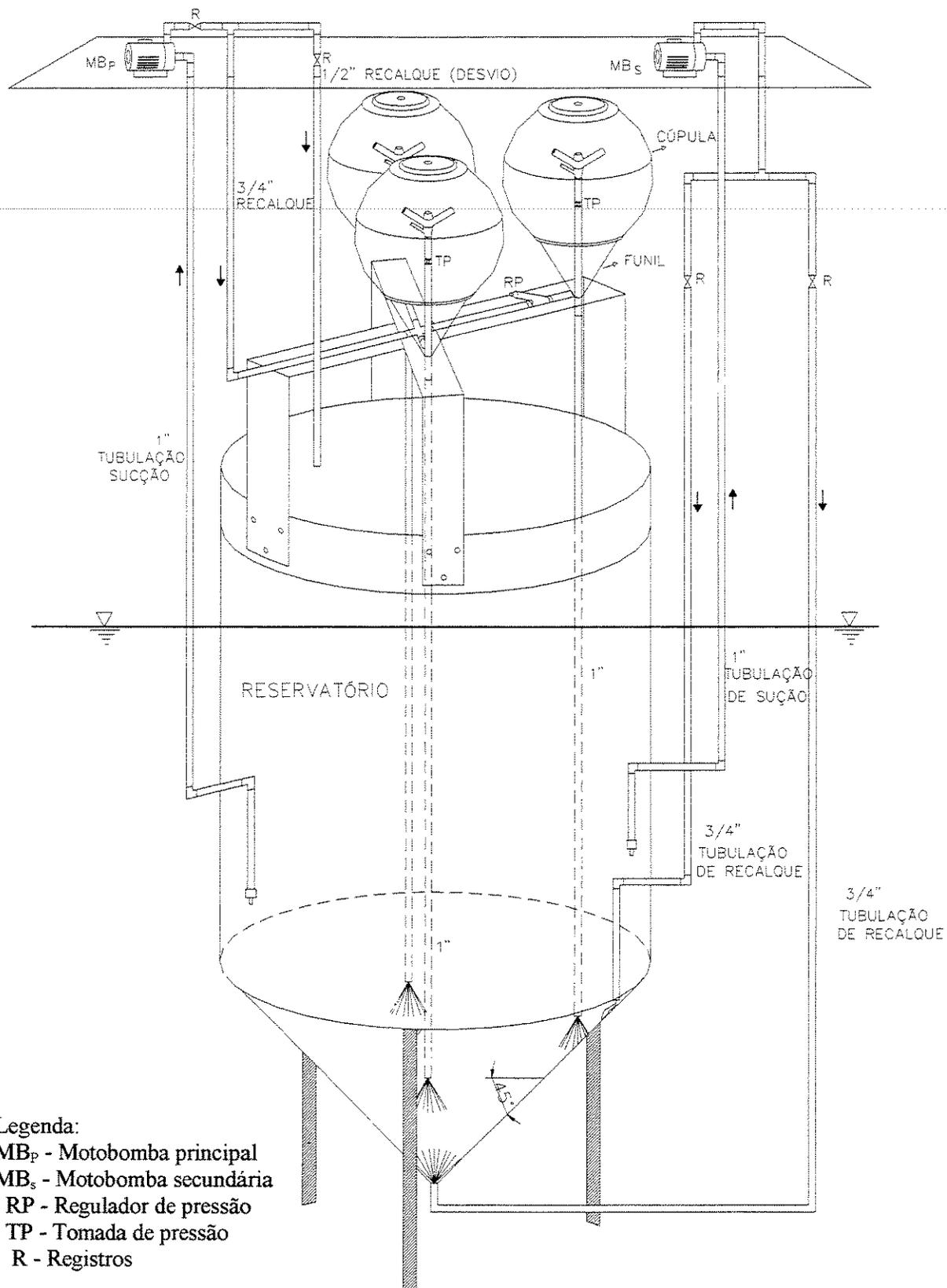


Figura 6 - Esquema de funcionamento do circuito hidráulico utilizados nos ensaios.

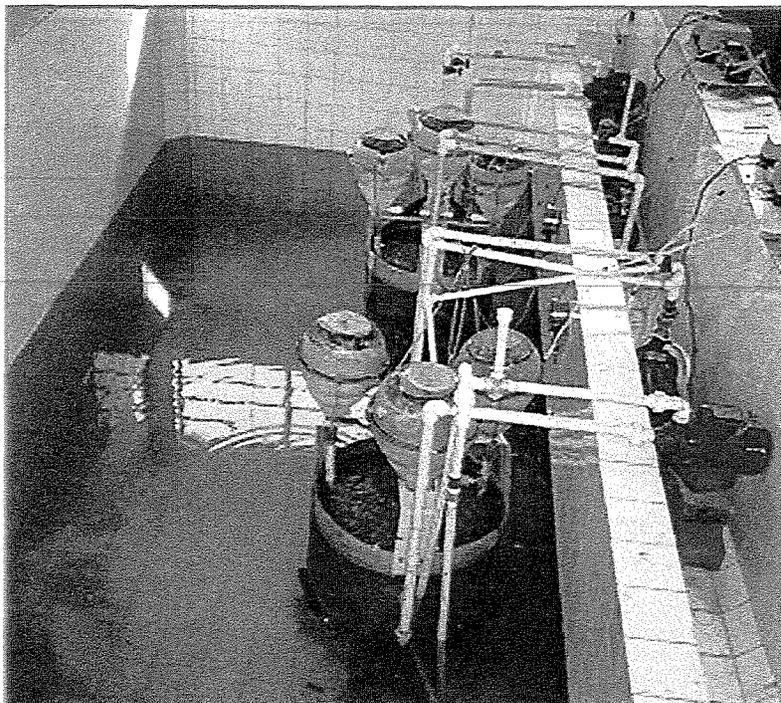


Figura 7 - Esquema geral dos dois circuitos hidráulico utilizados para levantamento dos dados de ensaio dentro de um depósito maior contendo água.

4.3.1. Tubulações de Sucção e Recalque

No recalque da motobomba misturadora, utilizou-se dois pontos de injeção no reservatório, de forma que o fluxo da mistura fosse direcionado parte pelo fundo do reservatório de forma vertical e a outra parte pela lateral, onde após a entrada da tubulação no reservatório, a mesma foi direcionada até o fundo do reservatório, onde foi instalando um “te” de 1/2”, distribuindo o fluxo da mistura radialmente no fundo do reservatório, a fim de provocar maior turbulência da mistura neste ponto do reservatório e evitando acúmulo de areia. As saídas foram reduzidas à 5 mm de diâmetro, aumentando a velocidade de saída da mistura, provocando maior turbulência da mesma e consequentemente melhorando a homogeneidade da mistura. Em cada tubo foi instalado um registro de gaveta para controlar o fluxo da mistura em cada ponto de injeção

A sucção da motobomba principal (responsável pelo recalque da mistura para os aspersores) foi feito próximo ao fundo do reservatório a uma altura de 20 cm e a 15 cm da lateral do reservatório.

Na base de cada cúpula foi fixado um funil, onde em sua extremidade, prendeu-se um tubo de PVC de 1 polegada de diâmetro, que estendeu-se até próximo ao fundo do reservatório, onde era descarregada a vazão dos aspersores. Desta forma, não permitiu-se acúmulo de areia no fundo do reservatório e sendo esta direcionada para o centro do reservatório de formato cônico (45°), de onde a areia era impulsionada no sentido vertical pela motobomba misturadora através da recalque feito pelo fundo do reservatório.

4.3.2. Motobomba Principal e Misturadora

A motobomba principal utilizada é da marca KSB Hidrobloc, modelo C-3000/T, com rotor de ferro fundido e potência de 3 c.v. e rotação de 3450 rpm. Teve a função de bombear a mistura sólido – líquida para os aspersores, onde seu retorno ao reservatório ocorria por gravidade. A capacidade da motobomba era superior a altura manométrica necessária para o experimento, desta forma, utilizou-se do excesso de vazão e pressão, para auxiliar na homogeneização da mistura, através da instalação de uma tubulação de recalque secundária, instalada após a saída da bomba e recalcado a um ponto estratégico dentro no reservatório. Como misturadora foi utilizado uma motobomba marca KSB Hidrobloc, modelo P-1000/T, com rotor de ferro fundido, potência de 1,0 c.v. e rotação de 3450 rpm. Teve a finalidade de auxiliar na homogeneização da mistura sólido - líquida dentro do reservatório.

4.3.3. Regulador de Pressão

Foi instalado um regulador de pressão antes de cada aspersor, permitindo melhor ajuste da pressão em cada um dos aspersores. O regulador de pressão era de ação direta, instalado na tubulação de recalque.

Os reguladores de pressão usados são da marca BERMAD, série PRV, modelo - 0075. Possuem molas diferenciadas por cores e ajustáveis à pressão de trabalho desejada. No caso específico deste trabalho, utilizou-se a mola de cor vermelha, que pode ser ajustada na faixa de pressão de 200 kPa à 400 kPa (2,0 à 4,0 Kgf/cm²).

4.3.4. Totalizador de Horas

Em cada motobomba principal foi instalado um totalizador de horas, de maneira a registrar o momento da parada, por uma possível queda de energia elétrica, contabilizando desta forma o tempo de ensaio já transcorrido.

O totalizador de horas era de ação eletromecânico, marca COEL, tipo DH, com precisão de 36 segundos, sendo acionado somente no momento em que a motobomba principal era ligada. Possui contagem progressiva e cumulativa, isto é, a contagem não retorna a zero após ser desenergizada a motobomba.

4.3.5. Proteção das motobombas

Para permitir que o sistema funcionasse por mais tempo, sem a necessidade de um monitoramento permanente, instalou-se um controlador de nível tipo PN, marca COEL, desligando e protegendo as duas motobomba de cada sistema automaticamente, caso o nível da mistura sólido - líquida dentro do reservatório baixasse de um nível estipulado anteriormente. Os eletrodos instalados dentro do reservatório, são do tipo pêndulo, onde toda vez que o nível da mistura descesse abaixo destes, o circuito elétrico era desenergizado e as duas motobombas do sistema hidráulico eram desligadas automaticamente, não permitindo que as mesmas funcionassem sem água, o que poderia provocar sérios danos as mesmas.

4.3.6. Reservatório da mistura sólido - líquida (areia - água)

Para cada concentração de areia foi usado um reservatório. Foram construídos em chapa de aço inox, com espessura de 3 mm, onde receberam uma pintura tanto interna como externa com tinta a base de óleo. As dimensões do reservatório são de 0,80 m de altura por 0,60 m de diâmetro com fundo em formato cônico de 45°, tendo capacidade para aproximadamente 200 litros de água, porém, para a realização dos ensaios foi colocado apenas 160 litro.

4.3.7. Cúpula de captação da mistura

Para captar a mistura sólido - líquida dos aspersores e conduzi-la ao reservatório, foi feita uma cúpula com o uso de duas bacias transparente, permitindo visualizar o funcionamento do aspersor e identificando possíveis problemas no funcionamento dos mesmos. Para cada aspersor utilizou-se duas bacias, formando uma cúpula, onde prendeu-se uma na outra por meio de parafusos, permitindo a retirada da bacia colocada na parte superior quando necessário. O fundo de uma foi removido, para permitir a subida do tubo de recalque e também a fixação de um funil para captar a mistura e conduzi-la ao reservatório.

4.3.8. Outros materiais

- Manômetro de bourdon com escala de zero a 100 psi e exatidão de 2% da pressão efetiva de trabalho (300 kPa), ligado ao o três reguladores de pressão de um mesmo sistema, de maneira a permitir a leitura em cada aspersor.
- Termômetros com escala de -10 a 110 °C e precisão de 2 °C, para monitoramento da temperatura da água do reservatório e da estufa utilizada para a secagem das amostras da mistura para verificação da concentração de sólidos.
- Cronometro digital com precisão de 0,01 centésimo de segundo.

4.4. Aspersores utilizados e bocais avaliados

4.4.1. Aspersores utilizados

Foram utilizados três aspersores de diferentes fabricantes e materiais de fabricação: latão, plástico e bronze e testados a uma pressão de serviço constante, para ambas as concentrações de sólidos. Dois aspersores de cada modelo foram testados, um para cada concentração de sólido.

Os três modelos de aspersores testados possuem dois bocais, onde um foi fechado com um tampão próprio para esse fim, sendo colocado em funcionamento apenas um para avaliação do desgaste abrasivo. Estes aspersores são indicados para várias aplicações práticas como para irrigar culturas de ciclo anual, hortifrutigranjeiros e jardins.

Os aspersores avaliados, possuem vazão próxima a $1 \text{ m}^3/\text{h}$, a pressão de serviço de 300 kPa e bocal com aproximadamente 4,0 mm diâmetro.

Os aspersores que foram utilizados e suas características estão apresentados na Tabela apresentada a seguir.

Tabela 1 - Características dos aspersores avaliados

Material do bocal	Latão	Plástico	Bronze
Fabricante	FABRIMAR	NAAN	RAIN BARD
Modelo	A1823	5022	30 BH
Pressão (kPa)	300	300	300
Vazão (m^3/h)	1,03	1,03	1,03
Diâmetro do Bocal	4,0	4,0	3,97

Obs.: os dados contidos na tabela foram retirados dos catálogos de seus respectivos fabricantes

Os três modelos de aspersores utilizados e suas características físicas podem ser visto na Figura 8.

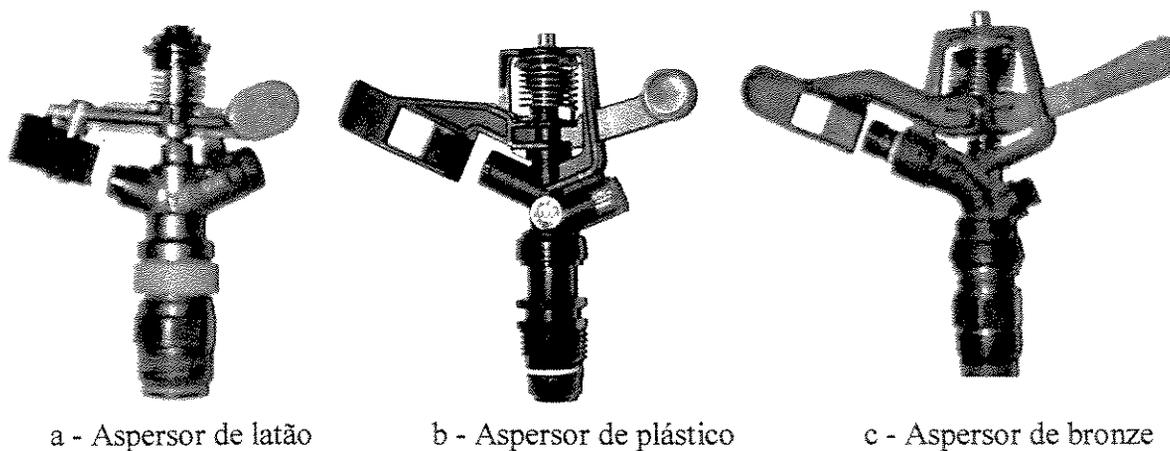
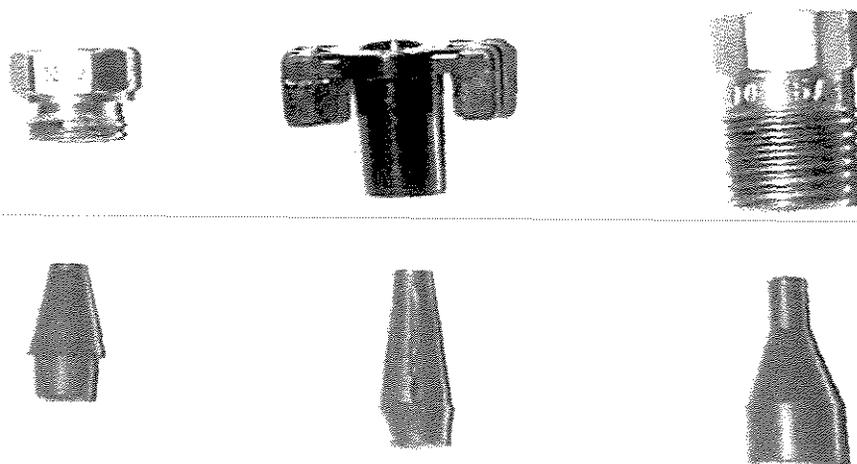


Figura 8 – Vista parcial dos aspersores ensaiados

4.4.2. Bocais avaliados

Os bocais dos aspersores de latão, plástico e bronze ensaiados e seus respectivos moldes podem ser vistos na Figura 9. Estes bocais apresentam características geométricas como ângulo de convergência, comprimento do bocal e formato diferenciados.



a – Bocal de latão

b – Bocal de plástico

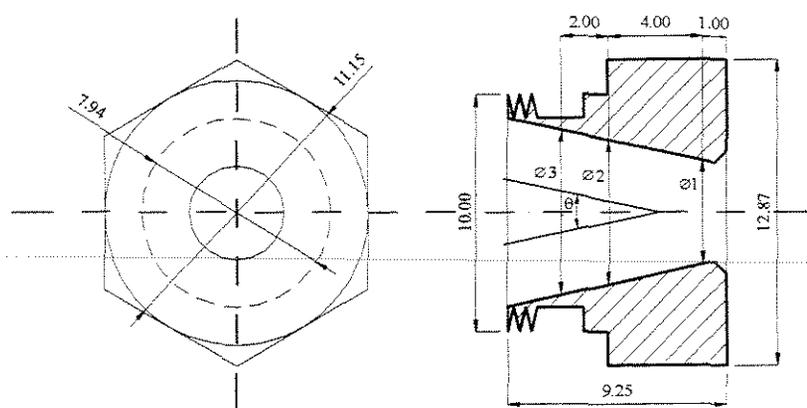
c – Bocal de bronze

Figura 9 – Vista parcial dos bocais de latão, plástico e bronze e seus respectivos moldes

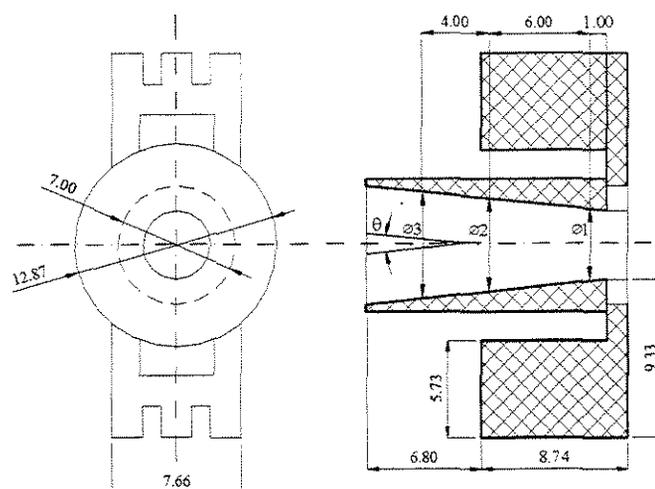
A Figura 10, mostra as características dimensionais originais dos bocais de latão forjado, plástico e bronze que foram ensaiados.

Na Figura 10a, são mostradas as dimensões originais do bocal de latão forjado, sendo um modelo de bocal rosqueável, que permite sua retirada do aspersor caso necessário para utilizar um outro bocal de diâmetro diferenciado. Este bocal tem na saída, um alargamento do diâmetro até uma profundidade de 0,4 mm.

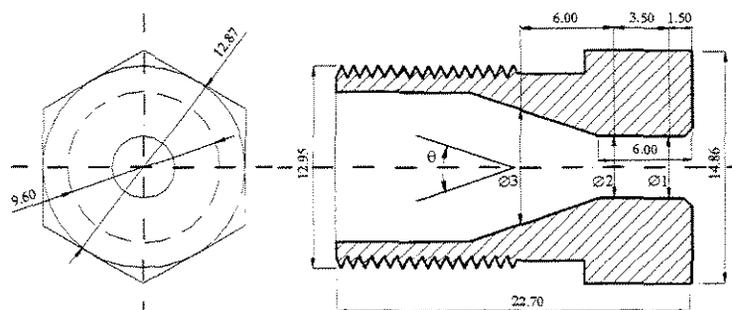
De acordo com GARCÊS (1977), tanto o bocal de bronze como o de plástico que tem $\frac{3D}{2} < L < 5,0D$, são considerados “bocal” ou “tubo adicional”. Podem também serem classificados como bocal ou tubo adicional convergente simples.



a - Bocal de latão



b - Bocal de plástico



c - Bocal de bronze

(Unidade em mm)

Figura 10 - Esquema das características dimensionais dos bocais de latão, plástico e bronze

O que mais diferencia o bocal de plástico do bocal de latão forjado testado é seu comprimento (L) em relação ao diâmetro (D), além do ângulo de convergência (θ) que é substancialmente menor para o bocal de plástico.

O bocal de plástico, Figura 10b, possui em seu interior seis aletas direcionadoras do fluxo de água. Este bocal também pode ser substituído no mesmo aspersor por outro de diâmetro de saída diferente, em função da necessidade de aplicação de água.

A Figura 10c, mostra as dimensões originais do bocal de bronze ensaiado, sendo instalado no aspersor por meio de roscas a exemplo do bocal de latão. De acordo com LI et al. (1988), este bocal é classificado como retangular duplo, com convergência no centro do bocal. Em seu estudo, definiu o ângulo de 30° , como sendo o ângulo que apresentou melhor coeficiente de descarga, com um valor de 0,98. A melhor relação comprimento – altura foi de 1,35, demonstrando que para uma determinada pressão, o raio de alcance aumenta com o aumento da variação da relação comprimento pela altura especialmente quando a relação é menor que 1,35.

Neste trabalho, o bocal de bronze apresenta a relação comprimento – altura de 1,5, encontrado-se um coeficientes de descarga de 0,97.

4.4.3. Confeção dos moldes dos bocais

A decisão de usar moldes, se deve as limitações na medição direta no bocal, e da disponibilidade de equipamento que fornecesse a precisão desejada. Os moldes dos bocais dos aspersores ensaiados foram feitos a cada 150 horas de ensaio.

As réplicas foram feitas com uma resina da Araldite SW 404, fabricada pela CIBA-GEIGY (1998). A resina tem cor azul e é semi-viscosa, que quando misturada com o Endurecedor HY 404, pode-se fazer a reprodução fiel de contornos finíssimos. A mistura resina/endurecedor, aplicada em camadas até 0,8 mm, não escorre de planos verticais. A mistura possui um tempo de utilização muito breve, endurecendo rapidamente na temperatura ambiente, formando réplicas muito duras e resistentes à abrasão que praticamente não podem ser sujeitas à usinagem lascante.

Após o endurecimento, as réplicas apresentam as propriedades conforme descrito na Quadro 4.

Quadro 4 - Propriedade das réplicas após o endurecimento.

Propriedade	Norma	Unidade	Valores
Resistência a tração	VSM 77101	Kgf/mm ²	5 - 6
Resistência a pressão	VSM 77102	Kgf/mm ²	13 - 15
Resistência a flexão	VSM 77103	Kgf/mm ²	8 -9
Resistência a flexão de choque	VSM 77105	Kgf cm/cm ²	4 -5
Peso por volume	VSM 77109	g/cm ³	1,82
Volume específico	-	-	0,55
Coefficiente de dilatação térmica linear	VSM 77110	10-6 mm/mm°C	30 - 35
Módulo de elasticidade	VSM 77111	Kgf/mm ²	900 - 1000
Dureza - queda de esfera HK	DIN 53456	Kgf/mm ²	22 - 24
Estabilidade térmica dimensional,	DIN 53458	°C	55 - 65
Retração linear (objeto de prova 28 x 1 x 3 cm)		‰	0,6 -1,2

Fonte: boletim técnico do fabricante

A proporção da mistura é de 100 partes em peso de Araldite SW 404 mais 9,0 ±0,5 partes do Endurecedor HY 404. Após a massa da resina ser bem agitada, adiciona-se o endurecedor agitando-se a mistura intensamente. A aplicação deve ser feita a temperatura de trabalho de aproximadamente 18 à 25 °C, num período de 25 à 30 minutos.

A colocação da mistura no interior dos bocais foi feita com auxílio de uma seringa descartável. A desmoldagem foi feita após 8 à 10 horas da confecção e seu emprego prático após 16 à 20 horas.

Para a desmoldagem dos bocais de plástico usa-se o Separador Epoxiglass 1713, fabricado à base de silicone, pela Epoxiglass S.A, possibilitando grande eficiência na desmoldagem das peças e sem deixar resíduos no molde. O solvente usado é a querosene. Após a aplicação do solvente, esperou-se por 5 à 10 minutos para a sua evaporação. Para os bocais de latão e bronze o desmoldante usado foi separador Epoxiglass 1700. Este separador não pode ser usado para peças de plástico, borracha e similares, porque poderá atacar as peças e provocar alteração das propriedades físicas e químicas das mesmas.

No processo de confecção das réplicas, os bocais foram fechados em sua extremidade de menor diâmetro, com auxílio de um pedaço de borracha e em seguida foi feito o enchimento do bocal com a resina. Após o endurecimento caso necessário, era feita uma

raspagem com uso de um estilete, permitindo ajustar a réplica à superfície do bocal, por ser esta, a superfície de referência para medição do diâmetro dos bocais.

4.5. Sólidos utilizados no preparo da mistura

A areia utilizada para a realização dos ensaios, teve granulometria variando entre 0,06252 mm (250 Mesh) à 0,125 mm (115 Mesh), definida através do processo de peneiramento, onde a proporção em porcentagem de cada intervalo adicionada ao reservatório para formar a mistura sólido-líquida é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Peneiras utilizadas e proporção de sólido para cada intervalo

Peneiras			Proporção
ASMT USS	TYLER MESH	ABNT (mm)	(%)
120	115	0,125	50%
140	150	0,105	25%
170	170	0,088	12,5%
200	200	0,074	12,5%
200	230	0,06252	

Desta forma, foram utilizadas duas concentrações de sólido com porcentagens conforme definido na tabela acima, de forma a alcançar as seguintes concentrações: 140 mg/L \pm 10% (C₁) e 230 mg/L \pm 10% (C₂), sendo estas utilizadas durante todo o período de ensaio.

4.5.1. Peso específico real da areia

O peso específico da areia foi determinado pelo processo do picnômetro com o auxílio da equação (5). Para melhor representar o peso específico foi realizado três repetições.

$$\gamma_{AS} = \frac{P_A \gamma_{H_2O}}{P_{AS} + (P_2 - P_1)} \dots\dots\dots(5)$$

Onde:

γ_{H_2O} = peso específico da água em g/cm³ à temperatura de ensaio

γ_{AS} = peso específico da areia (g/cm³);

P1 = peso do picnômetro, com água e areia;

P2 = peso do picnômetro com água pura;

P_A = peso da areia;

P_{AS} = peso da areia seca.

Com o procedimento descrito acima chegou-se ao peso específico da areia (γ_{AS}) igual a 2,85 g/cm³.

4.5.2. Água utilizada no preparo da mistura

A água utilizada na preparação da mistura foi retirada da rede pública de abastecimento sem nenhum tratamento especial.

4.5.3. Preparo da mistura sólido - líquida (areia - água)

Conhecendo-se previamente o volume de água limpa existente no reservatório, foi adicionada areia seca na quantidade adequada para atingir a concentração do sólido desejada.

4.6. Determinação do desgaste abrasivo dos aspersores

O desgaste abrasivo dos bocais dos aspersores foi avaliado através da variação da vazão, da massa e do diâmetro dos bocais, para isso, os mesmos foram removidos dos aspersores a cada 150 horas de ensaio até atingir um total de 2100 horas de ensaio.

4.6.1. Determinação da vazão

A medida de vazão somente foi feita após assegurada a estabilidade dos processos de bombeamento desenvolvidos pelas motobombas principal e misturadora. As medidas foram tomadas a cada 150 horas de ensaio, toda a vez que era reiniciado o funcionamento do sistema.

A vazão foi medida em cada aspersor separadamente, no retorno da mistura sólido – líquida para o reservatório. Com o auxílio de um recipiente foi coletado um volume, durante um determinado período de tempo, onde através dos procedimentos descritos a seguir obteve-se a vazão. A vazão média para cada aspersor a cada intervalo de leitura, é o resultado médio de três repetições.

Em toda a operação foi medido o peso do recipiente coletor cheio e vazio. Também foi medido a temperatura da água no reservatório toda a vez que se procedia a medição da vazão, determinada através do método gravimétrico. A vazão foi calculada pelas equações (6) e (7).

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (6)$$

Onde:

V = volume (L)

t = tempo (s)

Q = Vazão (L/s)

$$V = \frac{P.T.G_c - P.T.G_v}{\gamma H_2O} \dots\dots\dots (7)$$

Onde:

P.T.Gc. = peso do coletor de amostras cheio (g);

P.T.Gv. = peso do coletor de amostras vazio (g);

γH_2O = peso específico da água em g/cm^3 à temperatura de ensaio.

O valor médio de vazão (\bar{Q}) de cada aspersor é dada pela equação (8).

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q}{n} \dots\dots\dots (8)$$

Onde:

n = número de medições repetidas para uma mesma velocidade de escoamento.

4.6.2. Determinação do coeficiente de descarga (Cd)

Para o cálculo do coeficiente de descarga Cd, que é a relação entre a vazão teórica pela vazão determinada experimentalmente, em que a vazão teórica pode ser determinada pela equação dos orifícios como mostrada a seguir:

$$q = C_d \cdot A_{\text{bocal}} \cdot \sqrt{2gH} \dots \dots \dots (9)$$

Onde:

q = vazão (m³/s)

Cd = coeficiente de descarga

A_{bocal} = área do bocal (m²)

H = carga sobre o centro do bocal (m)

g = aceleração da gravidade (m/s²).

Com o uso da equação (9) e considerando-se a aceleração da gravidade igual à 9,81 e altura manométrica (H) igual a 30 metros, chegou-se a os valores de vazões teóricas (q), onde foi considerado a variação de diâmetro (\varnothing_1) levantado a cada 150 horas.

6.4.3. Determinação da concentração média de sólido

A verificação da concentração de areia foi feita a cada 150 horas de operação, coincidindo com o momento de confecção dos moldes dos bocais, para posterior medida do diâmetro e também da perda de massa dos bocais. A substituição da mistura sólido-líquida, foi feita a cada 150 horas e se fez necessário devido as modificações que podem ocorrer na características granulométricas da areia, passando de grãos "arestados" para arredondados no decorrer dos ensaios, podendo desta forma alterar o efeito do desgaste.

A verificação da concentração média dos sólidos foi feita através do método da estufa. Para tanto, foram coletadas três amostras de 200 ml aproximadamente da mistura para cada aspersor. Também foi feita a leitura da temperatura da mistura no momento da coleta das

amostra. As amostras de sólido foram pesadas e colocadas em estufa a 105°C até a evaporação total da água. A concentração de sólido foi determinada pelas equações a seguir:

$$Ca_p = \frac{(Pc_c - Pc_v).10^6}{V} \dots\dots\dots (10)$$

$$V = \frac{Pc_a - Pc_v}{\gamma H_2O} \dots\dots\dots (11)$$

Onde:

Ca_p = concentração de areia (mg/L);

Pc_a = peso do coletor mais areia (g);

Pc_c = peso do coletor mais mistura sólido-líquida (g);

Pc_v = peso do coletor vazio (g);

V = volume coletado;

γH_2O = peso específico da água em g/cm^3 à temperatura de ensaio.

É importante que a concentração de sólidos seja mantida a mais constante possível durante todo o período de ensaio, uma vez que variações podem provocar alterações desiguais no desgaste do bocal. Portanto, um monitoramento foi feito durante o período de ensaio, para manter as concentrações dentro de limites permitidos, evitando-se assim, resultados não condizentes com a concentração adicionada à mistura.

6.4.4. Determinação da massa dos bocais

A pesagem dos bocais foi feita a cada 150 horas de ensaio coincidindo com a confecção dos moldes para medição dos diâmetros dos bocais. Antes da secagem dos bocais, os mesmos sofreram uma limpeza para a retirada de possíveis impurezas aderidas aos mesmos, que poderiam influenciar na massa final. Para a retirada da umidade, os bocais de latão e bronze foram colocados em estufa a 105°C, por um período de aproximadamente 30 à 40 minutos. Os bocais de plástico foram colocados em estufa a temperatura de 40 à 50°C,

onde permaneceram por um período de 30 à 40 minutos. Após a secagem em estufa, todos os bocais foram colocados em um dessecador durante uma hora, somente após estes procedimentos os bocais foram pesados. A pesagem foi feita através de uma balança Analítica Eletrônica digital, Marca OHAUS, modelo Standard, com leitura em gramas e precisão de quatro casa decimais, pertencente ao Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

6.4.5. Medição do diâmetro dos bocais

A determinação do diâmetro dos bocais dos aspersores foi feito de forma indireta através da confecção de moldes, sendo que o diâmetro foi medido em três posições \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 , onde foi tomado como referência a face da réplica de menor diâmetro como mostrada na Figura 11. Nos bocais de latão e bronze, foram tomados 6 pontos em volta de um mesmo diâmetro, sendo registrado o diâmetro médio e também o erro de forma (diferença entre a circunferência lida e uma circunferência perfeita). Nos bocais de plástico foram tomados 5 pontos (no intervalo entre as aletas) em volta de um mesmo diâmetro, registrando-se também o diâmetro médio em mm e o erro de forma em μm .

A medição das réplicas dos bocais dos aspersores foram feitas com o auxílio de uma máquina de medição por coordenadas de contato mecânico, marca Leits, modelo PMM 866, com leitura digital processada pelo programa instalado no computador, com precisão de 0,0001 mm (0,1 μm). A máquina utilizada para a medição do diâmetro dos bocais forneceu também o cone para cada medida do bocal, sendo este o ângulo total de convergência do bocal.

A peça de contato para medida, era uma haste com uma esfera de 1,5 mm presa em sua extremidade. Devido a este motivo, a menor distância a partir da face de referência, a qual foi possível fazer as medições foi de 1mm. Assim, para o bocal de latão foi feita uma correção dos valores do diâmetro \varnothing_1 para 0,4 mm a partir da face de referência e 0,6 mm para o bocal de plástico, por serem estas posições as que apresentavam o local com menor diâmetro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação dos sistema hidráulico

Durante o desenvolvimento do trabalho, alguns inconvenientes foram verificados, sendo que uma das dificuldades encontradas, foi a coleta de amostras para determinação da vazão, decorrente do pequeno espaço existente entre as chapas de suporte dos funis com suas respectivas cúpulas e o reservatório, limitando o tamanho do recipiente a ser utilizado para tomada das amostras e conseqüentemente o tempo de coleta.

Embora o sistema hidráulico tenha apresentado desempenho satisfatório durante o período de ensaio, é conveniente utilizar um reservatório com maior volume, diminuindo o tempo de recirculação da mistura, possibilitando o aumento do tempo na tomada da vazão, sem baixar o nível do reservatório a ponto de comprometer o funcionamento do sistema.

Devido ao problema de super aquecimento da mistura, foi colocado o reservatório dentro de um depósito maior contendo água em seu interior para manter a temperatura a níveis aceitáveis, variando entre de 25 a 30°C, no entanto, encontrou-se dificuldade no levantamento dos dados, devido ao sistema hidráulico ter ficado envolto por água. Desta forma, é indispensável a instalação de uma sistema de arrefecimento, sempre que o sistema hidráulico for do tipo circuito fechado, caso contrário, certamente haverá elevação da temperatura da água a níveis prejudiciais.

Quanto aos reguladores de pressão, foram utilizados os mesmos exemplares durante todo o período de ensaio, não sendo detectado danos nos seus componentes, que pudessem comprometer o seu desempenho e precisão de ajuste.

As motobombas utilizadas, tanto as misturadoras, como as utilizadas para bombear a mistura para os aspersores, para as duas concentrações de sólido testadas, não sofreram desgaste acentuado no rotor, que comprometesse o seu rendimento. No entanto, a motobomba

principal utilizada no ensaio com a concentração C_2 , apresentou desgaste acentuado no selo mecânico, provocando vazamentos e necessitando a sua substituição após 1300 horas de ensaio aproximadamente.

5.2. Comportamento dos aspersores durante o ensaio

Os três aspersores ensaiados são de materiais, modelos e fabricantes diferentes, mostrando comportamentos no funcionamento e desgastes diferenciados durante o ensaio.

Dos aspersores ensaiados, o que apresentou melhores condições de desempenho em termos de durabilidade de seus componentes foi o aspersor de bronze. Este aspersor é composto de corpo e armação de bronze fundido e molas de aço inox. Dos dois aspersores ensaiados, um para cada concentração de sólido, utilizamos os mesmos do início ao fim do ensaio, não necessitando da troca de nenhum componente do aspersor.

O comportamento do aspersor fabricado em plástico teve funcionamento semelhante ao de bronze, não havendo a necessidade da substituição de nenhum dos aspersores durante todo o ensaio.

O aspersor de latão foi o que apresentou o pior desempenho durante o ensaio. O aspersor utilizado inicialmente para ambas as concentrações possuía conexão “fêmea”, sendo necessário a substituição deste aspersor a cada 150 horas de ensaio aproximadamente. A substituição se deu em função do desgaste excessivo das arruelas de vedação e do mancal do aspersor, provocando vazamento no corpo do aspersor e em algumas situações mais críticas o travamento do mancal no interior do corpo do aspersor. A partir de 1050 horas de ensaio, a conexão com rosca “fêmea” foi substituída por conexão com rosca “macho” para os aspersores das duas concentrações testadas, com isso o desgaste das arruelas de vedação e do mancal foram reduzidos sensivelmente, sendo utilizado o mesmo corpo do aspersor para o restante do ensaio para a concentração C_1 , não apresentando desgaste significativo das arruelas de vedação e mancal a ponto de provocar vazamentos. Se por um lado reduziu-se o desgaste das arruelas de vedação e do mancal com esta modificação, por outro, ocorreu danos em outros pontos do aspersor, como na concha de termoplástico reforçado e também no batente (parte metálica de contato do braço oscilante com a concha), que sofreram desgastes excessivos provocando a parada do giro de rotação do aspersor, pela mudança de posição da concha em relação ao ângulo do jato líquido.

Para a concentração C_2 o aspersor com rosca “macho” funcionou 600 horas antes de ser substituído por ocasião do desgaste principalmente das arruelas, provocando vazamentos, enquanto que o mancal não apresentou danos durante este tempo de ensaio. Porém, para ambas as concentrações foi necessário a substituição do braço oscilante decorrente do problema exposto anteriormente. Verifica-se portanto que, tanto a utilização de rosca “fêmea”, como a concentração de sólidos, influenciam no processo de resistência ao desgaste das arruelas de vedação e mancal para este modelo de aspersor.

O acelerado processo de desgaste, supõe-se ser devido a ação das partículas de areia presentes na água e da pressão de funcionamento do aspersor. Para este modelo de aspersor, algumas sugestões para minimizar o problema exposto podem ser feitas, como: substituição das arruelas de vedação por outras de melhor resistência ao desgaste abrasivo; reduzir a velocidade de rotação do aspersor; substituir o braço oscilante, que tem peças móveis (concha) por uma peça única e por último, permitir que o encosto do batente seja feito em dois pontos no corpo do aspersor, provocando melhor distribuição das forças no momento da batida do braço oscilante sobre o corpo do aspersor.

5.3. Avaliação do desgaste abrasivo dos bocais

Nos ensaio foram estudados o comportamento do desgaste abrasivo dos bocais de latão, plástico e bronze, sob a ação de duas diferentes concentrações de sólido através da variação de vazão, de massa e diâmetro, sendo medido ainda o coeficiente de descarga, em intervalos de ensaio de 150 horas. Para tanto, efetuou-se uma análise do efeito da concentração sobre os diferentes materiais dos bocais e também o efeito das duas concentrações sobre um mesmo material do bocal.

5.3.1. Análise da vazão

Os valores de vazão coletado durante todo o período de ensaio para os bocais de latão, plástico e bronze, para ambas as concentrações de areia C_1 e C_2 , estão apresentados na Tabela 3.

Os valores de vazão obtidos para os três materiais estudados em cada concentração de sólido, mostram que não houve diferenças no acréscimo de vazão, entre as concentrações de sólido C_1 e C_2 , tanto para o bocal de latão, bem como para os bocais de plástico e bronze

durante as 2100 horas de ensaio. No entanto, observa-se que a concentração de sólido teve efeito diferenciado no aumento de vazão sobre os diferentes tipos de bocais. O variação de vazão segue a seguinte ordem dos materiais, latão, plástico e bronze, com acréscimo total de 2,88%, 1,94% e 0,95% respectivamente, sendo estes valores iguais para ambas as concentrações de sólido em um mesmo tipo de bocal. O tempo de duração de 2100 horas de ensaio, para ambas as concentrações de sólido estudada, mostrou maior aumento de vazão para o bocal de latão, porém, não o suficiente para justificar a sua substituição, uma vez que, tanto os fabricantes de bocais, bem como as normas ASAE S471 (1993) e ASTM I641 – 85 (1991, recomendam substituir somente após atingir 10% de aumento de vazão.

Tabela 3 - Vazão experimental para os bocais de latão, plástico e bronze para as concentrações de sólido C_1 e C_2 .

Vazão (m ³ /h)						
Bocais	Latão		Plástico		Bronze	
Horas	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
0	1,01	1,01	1,01	1,01	1,04	1,05
150	1,02	1,02	1,01	1,01	1,04	1,05
300	1,02	1,02	1,02	1,01	1,05	1,05
450	1,02	1,02	1,02	1,02	1,05	1,05
600	1,03	1,03	1,02	1,02	1,05	1,05
750	1,03	1,03	1,02	1,02	1,05	1,05
900	1,03	1,03	1,02	1,02	1,05	1,05
1050	1,03	1,03	1,03	1,02	1,05	1,05
1200	1,03	1,04	1,03	1,02	1,05	1,05
1350	1,03	1,04	1,03	1,03	1,05	1,05
1500	1,04	1,04	1,03	1,03	1,05	1,05
1650	1,04	1,04	1,03	1,03	1,05	1,05
1800	1,04	1,04	1,03	1,03	1,05	1,05
1950	1,04	1,04	1,03	1,03	1,05	1,06
2100	1,04	1,04	1,03	1,03	1,05	1,06
Δ total (%)	2,88	2,88	1,94	1,94	0,95	0,95

Nas Figuras 11 e 12 é possível verificar o comportamento da vazão em função da variação de diâmetro em porcentagem acumulada em função do tempo de ensaio.

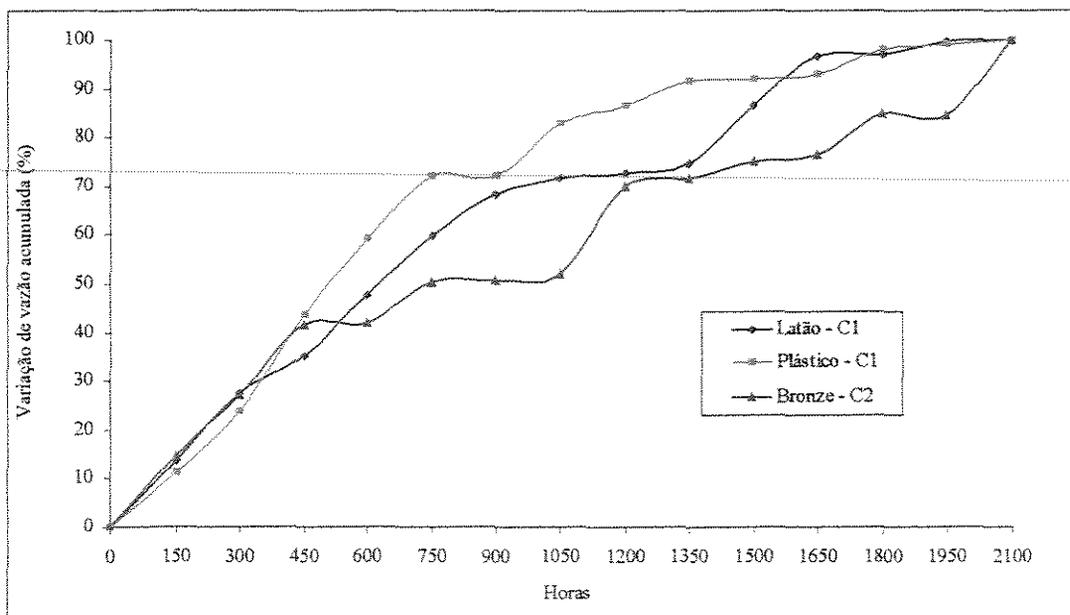


Figura 11 - Gráfico da variação de vazão experimental em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido C_1 .

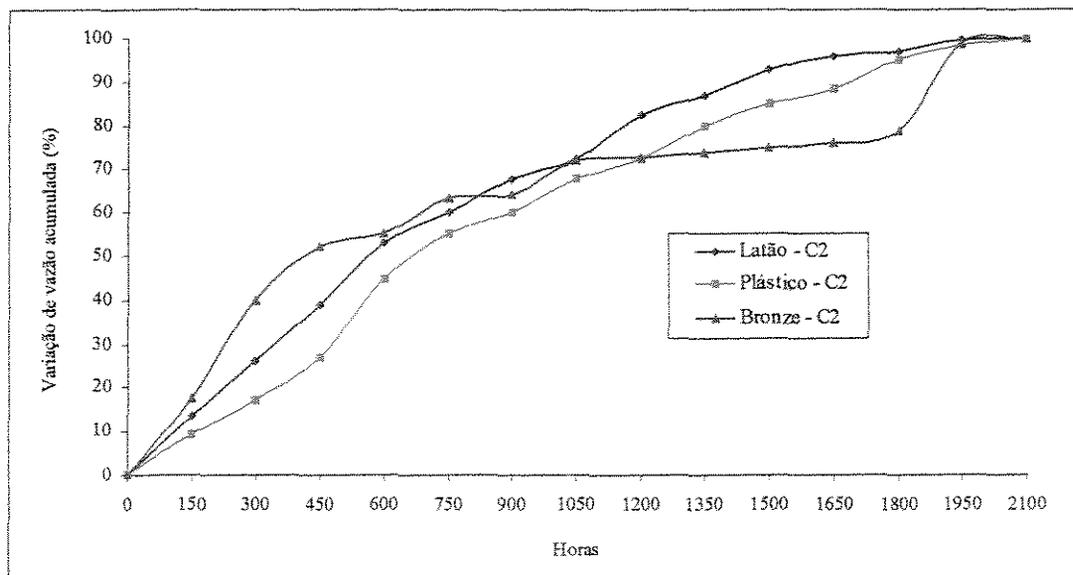


Figura 12 - Gráfico da variação de vazão experimental em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido C_2 .

Para determinação dos valores de vazão em porcentagem acumulada, calculou-se a porcentagem de desgaste para cada período de ensaio em relação ao desgaste total verificado durante as 2100 horas de ensaio e em seguida, somou-se estes valores percentuais a partir de 0 (zero) horas.

A análise da Figura 11, nos permite concluir que variação de vazão em porcentagem acumulada nas primeiras 450 horas de ensaio para o bocal de latão foi de 35%, para o bocal de plástico de 43%, enquanto que para o bocal de bronze a variação foi de aproximadamente 41%. Considerando a variação de vazão até a metade do ensaio (1050 horas), observa-se que para o bocal de latão o aumento foi de aproximadamente 71%, para o bocal de plástico o valor foi de 82% e para o bocal de bronze a variação foi pouco maior que 51%. Demonstra-se desta forma que para os bocais de latão e plástico as maiores variações ocorreram até a metade do ensaio. A variação de vazão a 1650 horas de ensaio, foram de aproximadamente 96%, 94% e 76% para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente. Os bocais de latão e plástico tiveram 50% de variação de sua vazão total entre os períodos de ensaio de 600 a 750 horas e 450 a 600 horas respectivamente e aproximadamente a 750 horas de ensaio para o bocal de bronze. Observa-se também que o maior acúmulo percentual de vazão no bocal de latão ocorreu a aproximadamente 900 horas de ensaio, enquanto que para o bocal de plástico ocorreu a 750 horas, mantendo-se com variações constantes durante o restante do período de ensaio.

Analisando a Figura 12, verifica-se que a 450 horas de ensaio, o bocal de latão teve aumento de vazão de aproximadamente 38% e o de plástico 32%, enquanto que o bocal de bronze a variação foi maior, com aproximadamente 52% do total. A variação de vazão a 1050 horas de ensaio foi de aproximadamente 70% para o bocal de latão, enquanto que para os bocais de plástico e bronze a variação foi semelhante, com 72%. A 1650 horas de ensaio a variação de vazão foi de 96%, 88% e 75% para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente. Observa-se também que 50% da variação de vazão ocorreu no intervalo entre 450 a 600 horas de ensaio para o bocal de latão. Para o bocal de plástico, 50% da vazão foi verificada entre 600 a 750 horas de ensaio. Enquanto que para o bocal de bronze, 50% da vazão foi verificada a 450 hora de ensaio. No intervalo entre 450 a 1050 horas de ensaio, para o bocal de bronze, pequenas variações foram verificadas, estabilizando-se até atingir 1800 horas, voltando a ter pequeno acréscimo de vazão durante o restante do ensaio.

5.3.2. Análise do Coeficiente de descarga (Cd)

A Tabela 4 mostra os valores médios da vazão teórica calculada a partir da equação 9, que é a equação dos orifícios

Conhecendo-se a vazão experimental verificada durante os ensaios e a vazão teórica calculada a partir do menor diâmetro medido nos bocais (\varnothing) (diâmetro de saída do bocal), chegou-se ao coeficiente de descarga (Cd), para cada bocal e para ambas as concentrações de sólido, conforme mostra as Tabela (5).

Tabela 4 - Vazão teórica (q) para os bocais de latão, plástico e bronze para as concentrações de sólido C_1 e C_2 .

Vazão (m ³ /h)						
Bocais	Latão		Plástico		Bronze	
Horas	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
0	1,097	1,079	1,090	1,097	1,074	1,074
150	1,107	1,085	1,093	1,116	1,075	1,075
300	1,113	1,093	1,096	1,113	1,078	1,078
450	1,119	1,107	1,098	1,118	1,078	1,079
600	1,119	1,113	1,099	1,115	1,078	1,080
750	1,121	1,113	1,097	1,111	1,079	1,080
900	1,124	1,115	1,097	1,102	1,079	1,080
1050	1,126	1,117	1,099	1,110	1,080	1,081
1200	1,128	1,118	1,099	1,111	1,080	1,083
1350	1,130	1,120	1,100	1,123	1,081	1,085
1500	1,133	1,124	1,105	1,116	1,082	1,087
1650	1,135	1,126	1,108	1,119	1,082	1,088
1800	1,137	1,130	1,108	1,119	1,084	1,088
1950	1,139	1,134	1,115	1,126	1,084	1,090
2100	1,141	1,138	1,115	1,131	1,084	1,091
Δ total (%)	3,86	5,18	2,24	3,63	0,92	1,56

As vazões teóricas (Tabela 4), confirmam a influência diferenciada das concentrações de sólido, quanto ao efeito abrasivo nos diferentes materiais dos bocais estudados, mostrando valores mais acentuados para o bocal de latão, onde a variação de vazão no final de 2100 horas de ensaio foi de 5,18%, enquanto que para os bocais de plástico a variação foi de 3,63% e para o bocal de bronze de 1,56% para a concentração C_2 , enquanto que para a concentração C_1 a variação de vazões foram menores com valores de 3,86%, 2,24% e 0,92% para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente.

O efeito da concentração também foi verificada entre os bocais de mesmo material, sendo que para o bocal de latão o valor da variação de vazão, observa-se que para a concentração C_2 foi de aproximadamente 25% maior do que para a concentração C_1 , enquanto que para os bocais de plástico e bronze as variações foram de 38% e 40% maiores para a concentração C_2 em relação concentração C_1 .

Tabela 5 - Coeficiente de descarga (C_d) para os bocais de latão, plástico e bronze para as concentrações de sólido C_1 e C_2 .

Coeficiente de descarga (C_d)						
Bocais	Latão		Plástico		Bronze	
Horas	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
0	0,92	0,94	0,93	0,92	0,97	0,98
150	0,92	0,94	0,93	0,91	0,97	0,98
300	0,92	0,93	0,93	0,91	0,97	0,97
450	0,91	0,92	0,93	0,91	0,97	0,98
600	0,92	0,92	0,93	0,91	0,97	0,97
750	0,92	0,93	0,93	0,92	0,97	0,98
900	0,92	0,93	0,93	0,93	0,97	0,97
1050	0,92	0,93	0,93	0,92	0,97	0,97
1200	0,92	0,93	0,93	0,92	0,97	0,97
1350	0,91	0,93	0,93	0,91	0,97	0,97
1500	0,92	0,93	0,93	0,92	0,97	0,97
1650	0,92	0,92	0,93	0,92	0,97	0,97
1800	0,91	0,92	0,93	0,92	0,97	0,97
1950	0,91	0,92	0,92	0,91	0,97	0,97
2100	0,91	0,92	0,92	0,91	0,97	0,97
Cd médio	0,92	0,93	0,93	0,92	0,97	0,97

As variações encontradas no diâmetro dos bocais não foram suficiente para alterar o coeficiente de descarga (C_d) para os bocais de latão, plástico e bronze nem mesmo as concentrações de sólidos testadas tiveram influência. Considerando os dois bocais de latão estudados, um para cada concentração de sólido, obteve-se valores de C_d variando entre 0,91 a 0,94, mostrando média de 0,92 para a concentração C_1 e de 0,93 para a concentração C_2 . Para os bocais de plástico, a variação foi de 0,91 a 0,93, com média de 0,93 para a concentração de C_1 e de 0,92 para a concentração C_2 . Para os bocais de bronze, tanto para a C_1 como para C_2 , o C_d não mostrou alterações.

Pode-se afirmar que tanto as variações de vazões, bem como o diâmetro médio dos bocais para ambas as concentrações de sólido, não foram suficientes para a alterar o coeficiente de descarga C_d de forma acentuada em nem um dos bocais, embora para os bocais de latão e plástico, houve pequenas variações em alguns períodos do ensaio.

Estudo realizado por LI et al. (1998), não encontraram variações no coeficiente de descarga quando alteraram o ângulo interno de 20° para 30° em bocais retangulares duplos, como é o caso do bocal de bronze utilizado neste trabalho. No entanto, mostrou haver diminuição de 0,98 para 0,68 quando o ângulo de convergência foi mudado de 30° para 90°.

5.3.3. Análise da concentração média de sólido em suspensão

Os valores médios da concentração de sólidos levantados para cada intervalo de ensaio para as concentrações C_1 e C_2 , podem ser observado na Tabela 6. Estes valores de concentração também podem ser observados graficamente como mostra a Figura 14.

Tabela 6 - Valores da concentração média de sólidos verificada para cada intervalo de ensaio.

Horas	Concentração (mg/L)	
	C ₁	C ₂
0	133	224
150	133	238
300	142	218
450	141	247
600	142	245
750	146	231
900	141	219
1050	146	217
1200	141	200
1350	150	237
1500	153	230
1650	138	238
1800	139	206
1950	145	215
2100		
Média	142	226

Considerando que a concentração média C₁ e C₂ desejada era de 140 mg/L e 230 mg/L, observa-se que a média de todas as leituras levantadas a cada 150 horas esteve próximo a este valor, com média de 142 mg/L e 226 mg/L respectivamente. Os valores que mais se distanciaram da média desejada foram de 153 mg/L e 215 mg/L para as concentrações C₁ e C₂ respectivamente, portanto dentro do limite tolerável que era de 10%.

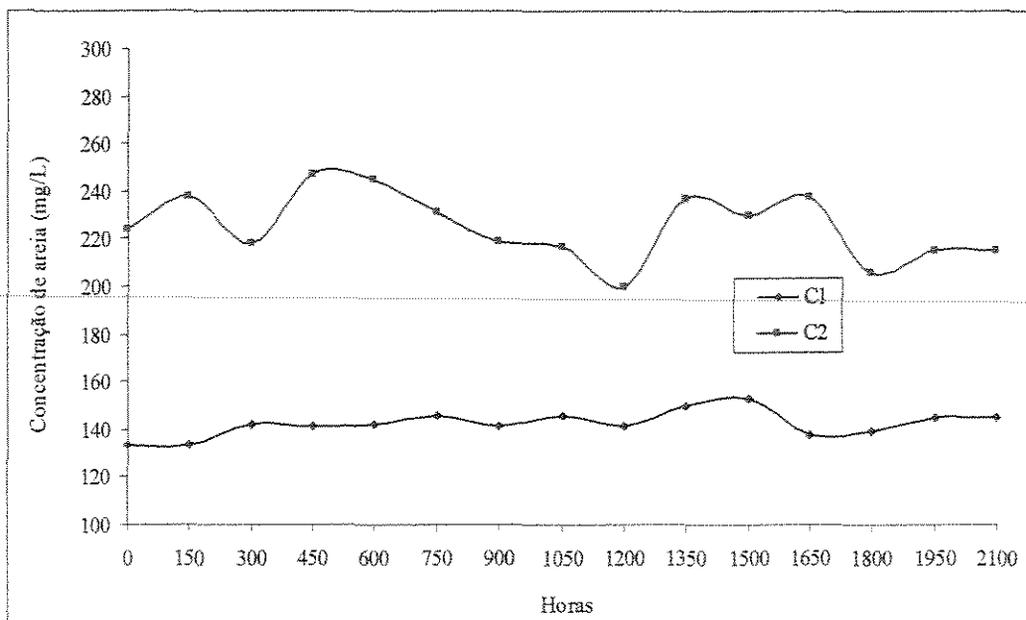


Figura 13 - Gráfico da concentração média de sólidos C_1 e C_2 verificada em cada intervalo de ensaio

O gráfico da Figura 13, mostra a concentração média de sólidos para todos os intervalos de ensaio, sendo que para a concentração C_1 , todos os valores médios foram superiores ao valor mínimo desejado, com pequenas oscilações entre os intervalos. Para a concentração C_2 , as variações em relação a média foram mais acentuadas

5.3.4. Análise da variação de massa dos bocais

Os valores da variação da massa dos bocais de latão, plástico e bronze testados para as concentrações de sólido C_1 e C_2 , podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Variação da massa dos bocais de latão, plástico e bronze em função do tempo de ensaio para as concentrações de sólidos C_1 e C_2 .

Massa (g)						
Bocais	Latão		Plástico		Bronze	
Horas	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
0	4,9814	5,0324	1,4279	1,4328	14,2172	14,1689
150	4,9796	5,0280	1,4278	1,4327	14,2134	14,1623
300	4,9766	5,0243	1,4277	1,4325	14,2114	14,1587
450	4,9753	5,0229	1,4274	1,4323	14,2087	14,1572
600	4,9745	5,0217	1,4269	1,4318	14,2073	14,1542
750	4,9739	5,0203	1,4265	1,4315	14,2068	14,1530
900	4,9727	5,0170	1,4263	1,4311	14,2046	14,1505
1050	4,9705	5,0143	1,4263	1,4309	14,2030	14,1473
1200	4,9693	5,0128	1,4263	1,4307	14,2020	14,1455
1350	4,9671	5,0109	1,4262	1,4306	14,2009	14,1438
1500	4,9658	5,0072	1,4262	1,4304	14,1979	14,1406
1650	4,9651	5,0048	1,4260	1,4302	14,1974	14,1383
1800	4,9640	5,0032	1,4258	1,4301	14,1962	14,1370
1950	4,9624	5,0017	1,4256	1,4300	14,1944	14,1356
2100	4,9600	4,9996	1,4254	1,4300	14,1914	14,1319
Δ total (%)	0,43	0,65	0,18	0,20	0,18	0,26

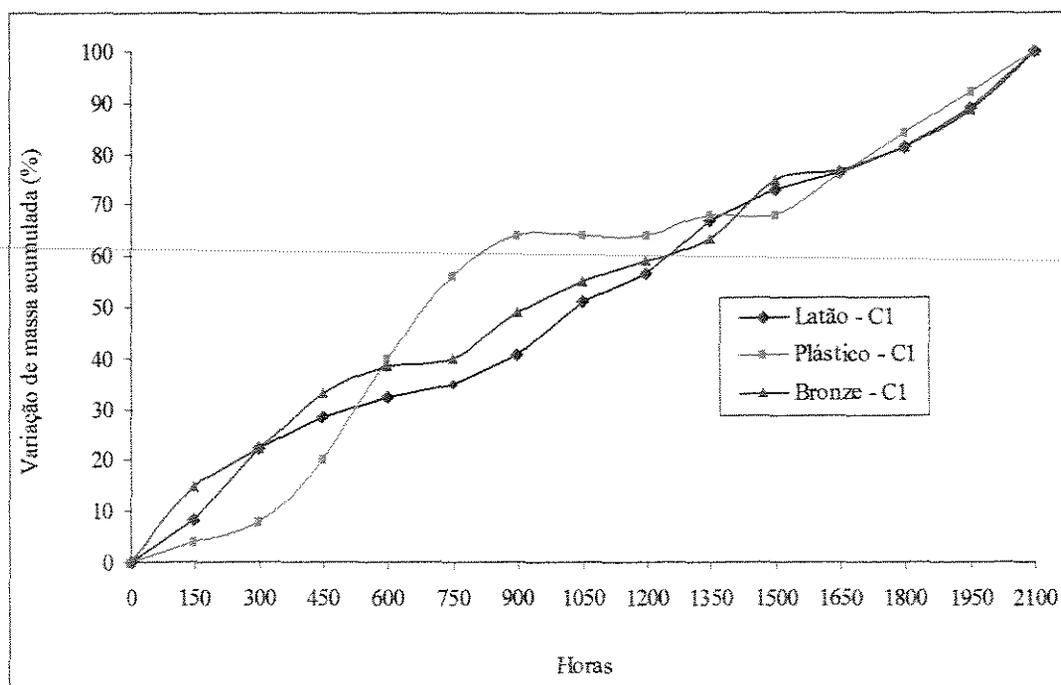


Figura 14 - Gráfico da variação da massa em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze para a concentração de sólido C_1 .

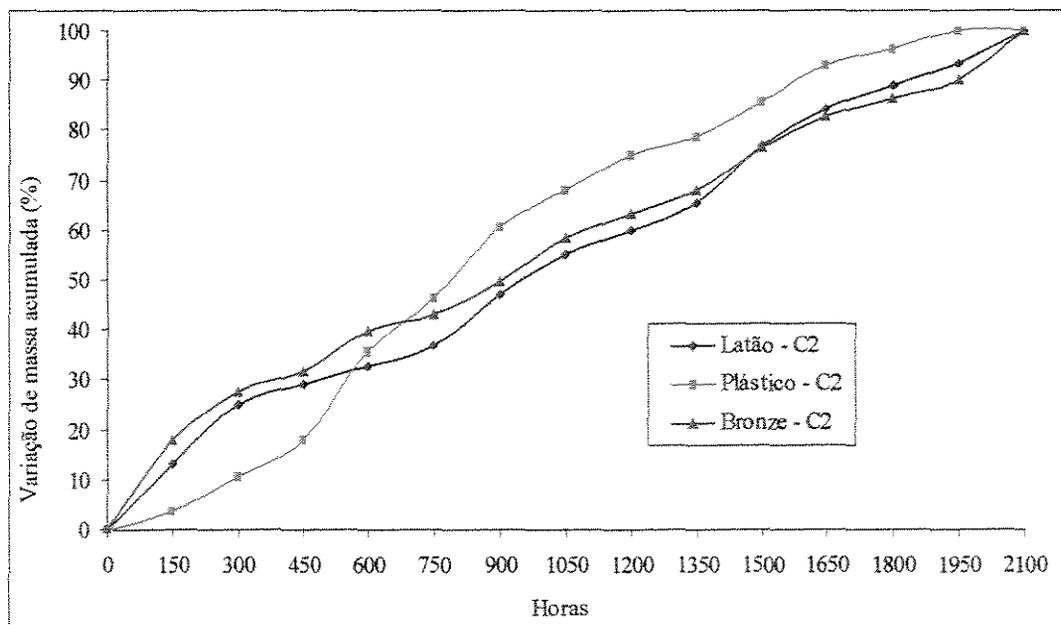


Figura 15 - Gráfico da variação de massa em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze para a concentração de sólido C_2 .

Pela figura 14, observa-se que para o bocal de plástico houve oscilações nas medidas de perda de massa durante o ensaio, observando-se pequeno acúmulo de perda de massa durante as primeiras 300 horas de ensaio, aumentando acentuadamente no intervalo de 300 a 900 horas de ensaio. Das 300 horas até 1500 horas, não constatou-se praticamente variação na perda de massa, voltando a crescer de forma constante até o final do ensaio. A perda de 50% da massa durante o ensaio, para os bocais de latão, plástico e bronze ocorreram a 1050 horas, entre 600 a 750 e entre 900 a 1050 horas respectivamente.

O bocal de plástico, por ser um material mais leve, fica mais susceptível a influência de fatores externos, assim, os cuidados no levantamento de dados de variação de massa devem ser maiores do que para os bocais de metal. Este fato pode ser atribuído a maior dificuldade na remoção total da umidade do bocal, em função da limitação da temperatura de secagem, que não deve ser excessiva a ponto de danificar ou alterar as características do bocal e também da presença de partículas aderidas nos mesmos, caso não fossem cuidadosamente limpos.

Como os bocais de latão e bronze são móveis, sendo conectados aos aspersores por meio de roscas, onde mesmo tomando-se os cuidados necessários, poderá ocorrer a remoção do material, devido a colocação e retirada sucessivas dos mesmos para as medidas. Desta forma, a perda de massa, pode não caracterizar necessariamente, como unicamente na parte interna do bocal. Quanto ao bocal de plástico testado, este problema também pode ocorrer, mesmo sendo apenas fixado no aspersor por meio de simples encaixe.

Pelo gráfico da Figura 15, observa-se as curvas referentes a perda de massa para os bocais testados sob efeito da concentração C_2 . Da mesma forma que para os bocais de latão e bronze testados para a concentração C_1 , não foi verificado durante todo o período de ensaio, oscilações significativas na perda de massa durante os períodos de ensaio. O bocal de latão mostrou 55% do desgaste acumulado até as 1050 horas iniciais de ensaio, já para o bocal de bronze para este mesmo período de ensaio, a variação de desgaste chegou próximo a 58%. Considerando a metade do tempo total de ensaio, para o bocal de plástico, observa-se uma variação de cerca de 68%, mantendo-se menos acentuada durante o restante do ensaio. Para os bocais de latão e plástico, 50% da variação de desgaste ocorreram nos intervalos de 900 a 1050 e 750 a 900 horas de ensaio respectivamente.

5.3.5. Análise do diâmetro dos bocais

Os dados de diâmetro dos bocais obtidos a partir da medição das réplicas para as concentrações de sólido C_1 e C_2 , para os bocais de latão, plástico e bronze encontram-se nos apêndices de 1 a 6.

Na Tabela 8, são apresentados os principais resultados levantados quanto a variação dos diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 em porcentagem acumulada durante as 2100 horas de ensaio.

Tabela 8 - Resumo dos principais resultados obtidos quanto a variação dos diâmetro \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 para os aspersores de latão, plástico e bronze para as concentrações de sólido C_1 e C_2 .

Variação dos diâmetros entre 0 à 2100 horas de ensaio (%)						
Bocais	Latão		Plástico		Bronze	
Diâmetros (mm)	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
\varnothing_1	1,96	2,63	1,12	1,53	0,48	0,78
\varnothing_2	0,67	1,22	0,75	0,78	0,30	0,45
\varnothing_3	0,62	1,07	0,62	0,30	1,41	1,95

Considerando a variação de diâmetro de saída \varnothing_1 para o bocal de latão, observou-se que a variação do diâmetro médio em milímetros para os bocais testados para a concentração C_2 foi 1,34 vezes o valor da variação verificada para a concentração C_1 . Para os diâmetros \varnothing_2 e \varnothing_3 o aumento de diâmetro durante todo o ensaio foi 1,82 e 1,73 vezes respectivamente para a concentração C_2 em relação a concentração C_1 .

O diâmetro \varnothing_1 do bocal de latão, que foi o que apresentou maiores variações média de diâmetro em função do tempo de ensaio, observa-se que houve 34,20% a mais de variação de diâmetro para a concentração de sólido C_2 em relação a concentração de sólido C_1 .

Para o bocal de plástico, apesar das oscilações do diâmetro durante os ensaios, principalmente para concentração C_2 , obteve-se valores de 1,37 e 1,04 a mais para os diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 respectivamente na concentração C_2 em relação a concentração C_1 . Por outro lado, o diâmetro \varnothing_3 para a concentração C_2 foi 1,6 vezes a mais que a concentração C_1 .

Para os bocais de bronze, a variação do diâmetro médio \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 para a concentração C_2 foram de 1,63, 1,33 e 1,38 vezes a verificado na concentração C_1 respectivamente.

Com relação a conicidade dos bocais para ambas as concentrações e materiais, as variações foram muito pequenas. Considerando o diâmetro \varnothing_1 , os bocais de plástico apresentaram menores desgastes em relação aos bocais de latão, com variações de 1,12% e 1,53%, para as concentrações C_1 e C_2 respectivamente. Os bocais de bronze apresentaram variações menores do que os bocais de latão e plástico, com valores de 0,48% e 0,78%, para as concentrações C_1 e C_2 respectivamente.

Pela Tabela 8 observa-se que os dados de variação nos diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 para os bocais de latão, plástico e bronze, do início ao fim do ensaio, constata-se que as concentrações de sólido C_1 e C_2 agiram de forma diferenciada no processo de desgaste abrasivo dos bocais, concordando com a afirmação de TRUSCOTT (1972), NOUR (1991) E HUGGETT & WALKER (1988).

O comportamento da variação do diâmetro em porcentagem acumulada em função do tempo de ensaio para ambos os bocais dos aspersores testados e a relação com a concentração em que foram submetidos, podem ser vistos através das curvas dos gráficos das Figuras 16 e 17.

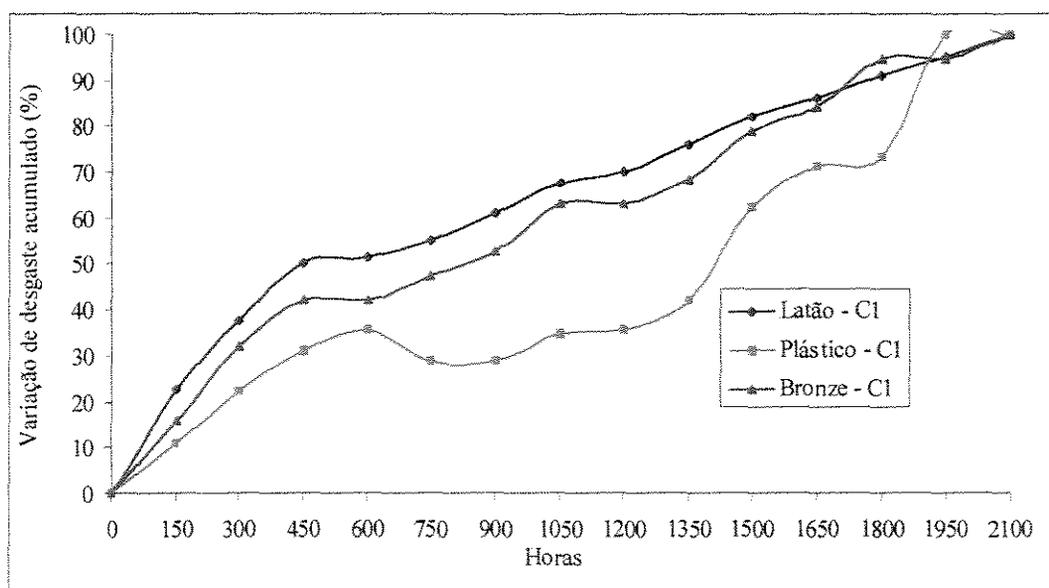


Figura 16 - Gráfico da variação do diâmetro (\varnothing_1) em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze em função das horas de ensaio para a concentração de sólido C_1 .

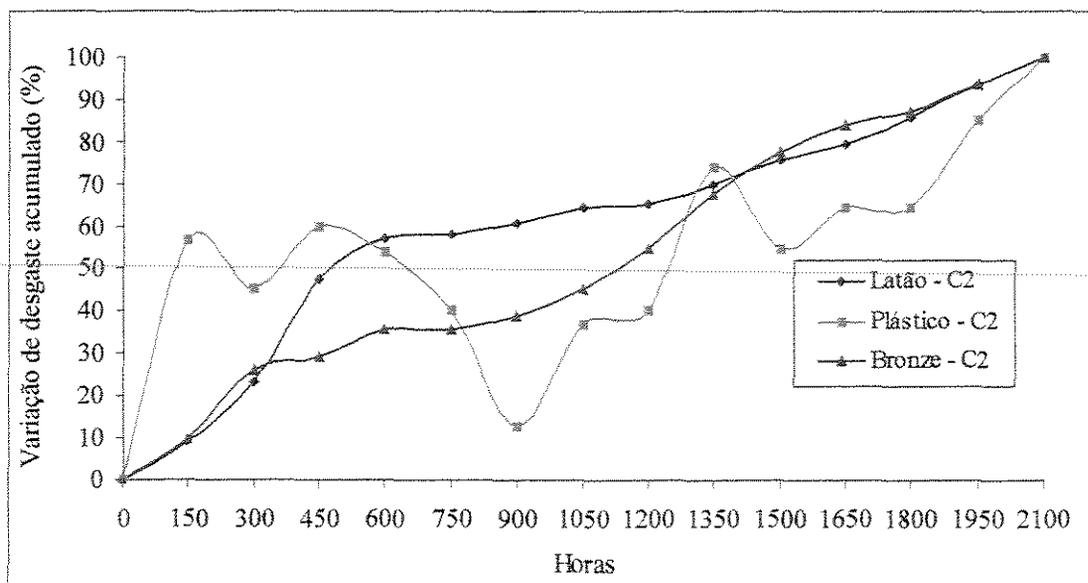


Figura 17 - Gráfico da variação do diâmetro (\varnothing_1) em porcentagem acumulada para os bocais de latão, plástico e bronze em função das horas de ensaio para a concentração de sólido C_2 .

Verifica-se a partir da Figura 16, que o desgaste no bocal de latão, foi mais acelerado nas primeiras 450 horas de ensaio. Ao atingir 1050 horas, metade do tempo total de ensaio, a variação de diâmetro chegou próximo a 70%, mantendo variação constante durante o restante do período de ensaio. Para o bocal de plástico, observa-se que aproximadamente 30% do total da variação de desgaste do bocal ocorreram a 450 horas de ensaio. Enquanto que a variação de diâmetro atingiu 50% do total, no período de ensaio entre 1350 a 1500 horas. Observou-se também um desgaste mais acentuado nas primeiras 600 horas de ensaio com um valor de aproximadamente 35% do total, mantendo-se constante durante o restante do ensaio. Para o bocal de bronze, 45% da variação total de diâmetro ocorreu nas primeiras 450 horas de ensaio, e da mesma forma que o bocal de latão, manteve-se com variações semelhantes durante o restante do ensaio. Da variação total de desgaste do bocal, 50% ocorreu no período entre 750 a 900 horas de ensaio. Considerando-se metade do tempo de ensaio, a variação de desgaste foi de aproximadamente 64%. A 1650 horas de ensaio, a variação de desgaste foi de aproximadamente 87%, 71% e 85% para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente.

Pela Gráfico da Figura 17, observa-se que a 450 horas de ensaio, a variação de desgaste para os bocais de latão, plástico e bronze foram de aproximadamente 50%, 30% e 43% respectivamente. Considerando metade do tempo total de ensaio (1050 horas), as

variações verificadas no desgaste foram de 70%, 37% e 63% para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente. Para 1650 horas de ensaio, a variação de desgaste foi de 88%, 61% e 85% do total para os bocais de latão, plástico e bronze respectivamente. Da mesma forma que para a concentração de sólidos C_1 , o bocal de latão para a concentração C_2 , mostrou processo de desgaste mais acelerado no início dos ensaios, chegando a praticamente 60% de desgaste, nas primeiras 600 horas de ensaio. Durante o restante do ensaio, o desgaste do bocal manteve-se em proporções constantes. Quanto ao bocal de plástico, observou-se variações nas medidas ao longo do tempo de ensaio, possivelmente decorrente de duas prováveis causas: a primeira devido a uma possível alteração e contração no bocal e segunda, um possível defeito na confecção dos moldes, porém, não grande o suficiente para causar alterações significativas em termos de variação nas medidas dos diâmetros. Para o bocal de bronze testado, observou-se uma alteração constante do diâmetro durante todo o período de ensaio.

A oscilação na variação em porcentagem acumulada no desgaste do diâmetro para o bocal de plástico, como mostra a Figura 17, se deve a oscilação do diâmetro médio medido a partir dos moldes confeccionados, alteração esta, decorrente possivelmente da dilatação e contração do bocal de plástico ou da não adaptabilidade na confecção de moldes em bocais de plástico com o uso de resina, como a que foi utilizada neste trabalho.

6. CONCLUSÕES

Diante dos procedimentos adotados neste trabalho, das análises e discussões realizadas possibilitou-nos as seguintes conclusões:

- A metodologia adotada para ensaio do desgaste abrasivo dos bocais de aspersores mostrou-se eficiente, embora o sistema hidráulico utilizado tenha provocado alguns inconvenientes, como por exemplo, um excessivo aquecimento da mistura sólido-líquida.
- Para os três materiais de fabricação dos bocais e para ambas as concentrações de sólido ensaiados, o efeito da variação de vazão e diâmetro dos bocais, não alteraram acentuadamente o valor do Cd.
- Para o bocal de plástico houve oscilações nas medidas de perda de massa durante o ensaio, possivelmente por ser um material mais susceptível a ação de fatores externos.
- A medição do diâmetro em bocais cônicos de forma indireta, como feito neste trabalho, pode provocar a ocorrência de erros maiores de leitura, do que a própria variação do diâmetro decorrente de um provável desgaste abrasivo. Este fato certamente ocorrerá, caso não forem seguidos os procedimentos corretos na confecção dos moldes.
- A variação média dos diâmetros \emptyset_1 , \emptyset_2 e \emptyset_3 para os bocais de latão, plástico e bronze, mostraram ser influenciados de forma diferenciada, quando submetidos a ação das concentrações C_1 e C_2 .
- O uso de resina para confecção das réplicas em bocais cônicos, mostrou-se eficiente e com precisão adequada aos objetivos do trabalho.
- A ordem de resistência ao desgaste abrasivo nos bocais estudados, quanto ao tipo de material de confecção foi: bronze, plástico e latão.
- O efeito abrasivo da areia foi mais acentuado para o aspersor de latão. A mudança de conexão de rosca “macho” para rosca “fêmea” reduziu os danos nos componentes do aspersor.

- Durante o ensaio o aspersor de latão foi substituído, muito antes que a troca do bocal em função do desgaste excessivo em alguns componentes do aspersor. Por outro lado, os aspersores de plástico e bronze foram utilizados para todo o período de ensaio, mostrando melhor durabilidade. A variação do desgaste abrasivo provocado pelas duas concentrações de sólido utilizadas nos ensaios, não provocaram alterações suficientes no diâmetro dos bocais, que justificassem a substituição dos mesmos em ambos os materiais estudados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard methods for testing agricultural hydraulic spray nozzles**. Philadelphia, 1985. 5p. (ASTM , E 641 – 85 Marc. 1991).
- AMERICAN SOCIETY FOR AGRICULTURAL ENGINEERS.(ASAE 1993. 5P Standard: ASAE S471. **Procedure for measuring sprayer nozzles wear rate**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bico de pulverização agrícola**. métodos de ensaio - NBR 13769. Rio de Janeiro, 1997. 16p.
- ASBRASIL S. Sistemas de Irrigação. **Informativo sobre Prevenção da Corrosão em Equipamentos de Irrigação**. S.B. Campo – S. P. Setembro de 1994
- AZEVEDO NETTO, J. M. & ALVARES, G. A. **Manual de Hidráulica**. Editora EDGARD BLÜCHER LTDA. Vol. I, 6ª. Reimpressão, 1977.
- BOMAN, B. J. & PARSONS, M. L. **Changes in microsprinkler discharges resulting from long-term use**. American Society of Agricultural Engineers, vol. 9(3), p. 281 - 284, May de 1993.
- BREE, S. e. M. The abrasion behavior of materials for dredger components, due to Sand/Water mixtures. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM DREDGING TECHNOLOGY, 1., Canterbury, 1975. Proceedings. Cranfield, BHRA Fluid Engineering, 1975. Paper G3, P. 35 - 57.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5ª. Edição. Universidade Federal de Viçosa. Imp. Univ. Viçosa - MG – 1989.
- CIBA-GEIGY QUÍMICA S.A. Plásticos e Aditivos – Boletim Técnico – Epoxiglass – Ind. e Com. de Produtos Químicos Ltda. **Instruções de Trabalho para ARALDITE SW 404**. São Paulo – SP. 1998.

- CARBONARI, F.I. **GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. Conceitos e Princípios fundamentais** – A UGRHI 05 – Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. CETESB – CIA. de TEC. e SAN. Ambiental. FEM – UNICAMP, 1997. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP. 1997.
- COELHO, F.M.R.P. **Investigação analítica e Experimental sobre Jatos Coaxiais e sua Aplicação na Irrigação por Aspersão.** UNICAMP, 1985. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1985.
- COIADO, E. M. **Distribuição de velocidade e concentrações de sedimentos para o estudo da descarga sólida transportada em suspensão pelo Rio Atibaia/SP.** Relatório parcial. Bolsa de pesquisa - CNPq. FEC/UNICAMP. 1997.
- COIADO, E. M. **Estado da arte do transporte sólido em conduto forçado.** Bragança Paulista. Sepata - Revista das Faculdades Franciscanas, 1984. V.2. 55p.
- COSTA, E. F.; FRANÇA, G. E.; ALVES, V. M. C. **Aplicação de fertilizantes via água de irrigação; III Curso de uso manejo de irrigação.** Informe Agropecuário; Belo Horizonte, v. 12, n. 129, p. 63 - 68, 1986.
- FARRELL, M. D. **Filtration: The Key to Successful Microirrigation Systems.** Irrigation Journal, v. 39, n. 6 p. 8 - 15, 1989.
- FIGUEIREDO, A G., JUNIOR, M. S. U., NOGUEIRA, A A. S., NETO, F. L. **Adinâmica da produção e transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Aguapeí.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária (BTPHD/17) p. 29 São Paulo - 1995
- HUGGETT, P.G. & WALKER, C.I. **Development of a water test to simulate slurry erosion.** In: International Conference on the Hydraulic transport of Solids in Pipes, 11., Stratford - upon - Avon, 1988. Proceedings. Cranfield, BHRA the Fluid Engineering Centre, 1988. Paper K1, P. 495-506.
- INTERNATIONAL STANDARD FOR STANDARDIZATION - ISO 7749 - 1.** Agricultural irrigation equipment - Rotating sprinklers. Part. 1: Design and operational requirements. Second edition, 1995 - 04 - 15.

INTERNATIONAL STANDARD FOR STANDARDIZATION - ISO 7749 - 1.

Agricultural irrigation equipment - Rotating sprinklers. Part. 2: Uniformity of distribution and test methods. First edition, 1990 - 10 - 15.

GARCÊS, L. N. Elementos de mecânica dos fluidos. hidráulica geral. 2ª. edição. São Paulo - SP. 1977.

LENCASTRE, A. Manual de Hidráulica geral. Edição da Universidade de São Paulo. São Paulo - 1972.

LI, J. & KAWANO, H. & YODER, R.E. Effects Double-Rectangular-Slot Disign on Impact Sprinkler Nozzle Performance. Transactions of the ASAE. Vol. 38(5), pg. 1435 - 1441, 1995.

LI, J. Sprinkler Performance as Function of Nozzle Geometrical Parameters. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 122, Nº. 4, pg. 244 - 247. July/August, 1997.

LI, J. Effect of Pressure and Nozzle Shape on the Characteristics of Sprinkler Droplet Spectra. Journal Agricultura Engineering Research. Vol. 66, Nº. 1, pg. 15 - 21. January, 1996.

LI, J. & KAWANO, H. Sprinkler Performance as Affected by Nozzle Inner Contraction Angle. Irrigation Science. Vol. 18, pg. 63-66, Nov. 1998.

KARMELI, D. PERI, G. TODES, M. A Model for Sprinkler Nozzle Replacement. Transaction of the ASAE. Vol. 25(5), pg. 1284 - 1289, september/October, 1982.

KELLER, J. e BLIESNER, S. Sprinkler and Trickle Irrigation. Now York: Nostrand Reinhold. 1990.

MARTIN, W. E. & PAIR, C. H. & HINZ, W. W. & REID, C. O. & FRAT, K. R. Proceedings, **Irrigation Sprinkler** Conference, Davis, California, 1953. Irrigation : Spinkler irrigation, 5º Edition, 1983

NETO, A.C. Estudo dos jatos provenientes de aspersores de irrigação. USP, 1991. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 1983.

NOUR, E.A.A. Influência de Polímeros Redutores de Arraste no Desgaste por Abrasão dos Componentes Internos de Bombas Centrífugas Recalcando Misturas Solido - Líquidas - Redução dos Custos de Manutenção. FEC, Unicamp, 1991. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1991.

- PADOVAN, L. A. **Estudo Comparativo entre Abrasivos para Teste de Desgaste Acelerado de Bicos de Pulverizadores**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, 1998. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 1998.
- PAIVA, L. E.D. **Aplicação de Métodos Microscópicos na Determinação da Carga Sólida Total Transportada em Rios**. FEC, Unicamp, 1995. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1995.
- PIMENTA, F. C. **Curso de Hidráulica**. Vol. 1, 3ª. Ed. Centro Tecnológico de Hidráulica. São Paulo - SP - 1977.
- REICHARD, D. L. OZKAN, H. E ; FOX, R. D. **Nozzle wear rates and test procedure**. Transaction of the ASAE, v. 34, n.6, p. 2309 - 2316, 1991.
- SCALOPPI, E. J. & BRITO, R. A. L. **Qualidade da água do solo para irrigação**. Informe Agropecuário, EPAMIG, Belo Horizonte. V. 12 (139), p. 80 - 94. Julho de 1986.
- TRUSCOTT, G.E. **A literature survey on abrasive wear in hydraulic machinery**. Wear, (20): 29 - 50, 1972
- ZEIER K.R. e HILLS, J. D. **Trickle irrigation screen filter performance as affect by sand size and concentration**. Transactons of the ASAE, St Joseph, V.30, (3), p. 375 – 379, 1987.

APÊNDICE

Apêndice 1 - Variação dos diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 , do erro de forma e do cone (θ) medidos do bocal de latão em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido C_1 .

Tempo (Horas)	\varnothing_1 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_2 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_3 (mm)	Erro de Forma (μm)	Cone (θ) (Graus)
0	3,999	33,00	5,777	41,70	6,571	22,70	22°35'25"
150	4,017	29,80	5,785	43,50	6,580	37,10	22°17'08"
300	4,029	28,80	5,797	36,60	6,591	24,60	22°33'51"
450	4,039	16,20	5,797	27,50	6,600	24,60	22°44'50"
600	4,040	25,70	5,797	25,30	6,601	23,60	22°44'29"
750	4,043	26,30	5,797	36,60	6,602	41,50	22°36'17"
900	4,048	16,10	5,801	22,20	6,602	18,50	22°40'39"
1050	4,053	2,20	5,803	8,20	6,604	12,90	22°36'09"
1200	4,055	5,90	5,806	9,20	6,605	11,00	22°36'09"
1350	4,060	2,60	5,808	6,40	6,605	10,40	22°34'43"
1500	4,065	12,50	5,810	7,50	6,607	6,20	22°33'21"
1650	4,068	2,80	5,812	4,90	6,609	6,20	22°35'03"
1800	4,072	7,40	5,814	5,40	6,609	7,80	22°32'09"
1950	4,075	4,80	5,816	12,70	6,611	5,90	22°29'17"
2100	4,079	5,80	5,816	8,70	6,612	5,70	22°34'45"
Δ total (%)	1,96		0,67		0,62		

Apêndice 2 - Variação dos diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 , do erro de forma e do cone (θ) do bocal de latão em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido C_2 .

Tempo (Horas)	\varnothing_1 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_2 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_3 (mm)	Erro de Forma (μm)	Cone (θ) (Graus)
0	3,967	6,10	5,735	15,90	6,536	10,30	22°29'03"
150	3,977	10,50	5,741	13,40	6,547	19,20	22°35'37"
300	3,992	13,10	5,743	21,70	6,559	18,10	22°32'54"
450	4,018	13,50	5,763	24,30	6,577	20,10	22°41'44"
600	4,028	12,60	5,770	14,60	6,582	12,20	22°40'55"
750	4,029	8,30	5,778	6,00	6,587	15,10	22°26'51"
900	4,032	17,50	5,778	9,20	6,589	15,80	22°24'29"
1050	4,036	16,40	5,779	17,00	6,594	3,00	22°27'31"
1200	4,037	3,70	5,781	7,51	6,594	3,90	22°23'30"
1350	4,042	5,00	5,785	0,70	6,597	1,80	22°23'57"
1500	4,048	7,20	5,788	10,20	6,599	8,30	22°18'59"
1650	4,052	4,10	5,790	5,50	6,602	1,10	22°25'35"
1800	4,059	5,60	5,803	7,00	6,603	1,90	22°23'53"
1950	4,067	4,00	5,804	2,30	6,603	3,60	22°21'07"
2100	4,074	7,10	5,806	10,60	6,607	4,20	22°13'37"
Δ total (%)	2,63		1,22		1,07		

Apêndice 3 - Variação dos diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 , do erro de forma e do cone (θ) do bocal de plástico em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido C_1 .

Tempo (Horas)	\varnothing_1 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_2 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_3 (mm)	Erro de Forma (μm)	Cone (θ) (Graus)
0	3,987	6,80	5,442	5,20	6,367	7,50	12°51'41"
150	3,992	3,80	5,450	9,10	6,375	14,60	12°57'01"
300	3,997	2,20	5,462	5,00	6,382	2,70	13°01'52"
450	4,001	31,70	5,466	6,40	6,393	6,80	12°34'33"
600	4,003	13,20	5,467	10,70	6,394	13,60	12°28'05"
750	4,000	6,80	5,469	2,50	6,395	2,70	13°00'19"
900	4,000	14,20	5,469	9,20	6,395	10,40	13°06'17"
1050	4,004	5,30	5,471	5,10	6,396	3,10	13°41'01"
1200	4,003	4,00	5,471	7,60	6,403	5,50	13°54'11"
1350	4,006	8,10	5,473	6,80	6,401	8,50	13°41'17"
1500	4,015	6,90	5,476	8,50	6,401	8,40	13°52'37"
1650	4,019	3,40	5,475	4,80	6,404	4,50	13°43'37"
1800	4,020	3,90	5,480	7,70	6,400	4,30	13°59'49"
1950	4,032	4,60	5,484	5,50	6,407	5,70	13°56'34"
2100	4,032	8,10	5,483	6,80	6,407	8,30	13°51'17"
Δ total (%)	1,12		0,75		0,62		

Apêndice 4 - Variação dos diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 , do erro de forma e do cone (θ) do bocal de plástico em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido de C_2 .

Tempo (Horas)	\varnothing_1 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_2 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_3 (mm)	Erro de Forma (μm)	Cone (θ) (Graus)
0	4,000	15,50	5,366	10,70	6,287	28,20	12°20'04"
150	4,035	6,30	5,377	11,50	6,287	9,70	12°35'15"
300	4,028	5,00	5,383	13,80	6,286	14,20	12°23'27"
450	4,037	5,50	5,382	9,40	6,285	21,70	12°49'30"
600	4,033	11,00	5,391	6,40	6,285	14,00	12°12'28"
750	4,025	23,40	5,391	11,10	6,283	69,90	12°25'14"
900	4,008	11,00	5,391	10,80	6,283	16,20	12°16'54"
1050	4,023	9,50	5,391	16,10	6,286	18,30	12°02'33"
1200	4,025	4,00	5,400	4,50	6,287	6,80	12°09'22"
1350	4,046	6,50	5,402	8,80	6,288	8,60	12°15'42"
1500	4,034	1,60	5,404	6,70	6,292	10,40	12°03'51"
1650	4,040	4,10	5,405	6,00	6,294	10,10	12°06'28"
1800	4,040	6,50	5,403	9,20	6,295	9,50	12°08'14"
1950	4,053	2,00	5,408	6,50	6,301	13,40	12°19'26"
2100	4,062	4,00	5,408	8,20	6,306	12,30	12°25'43"
Δ total (%)	1,53		0,78		0,30		

Apêndice 5 - Variação dos diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 , do erro de forma e do cone (θ) do bocal de bronze em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido de C_1 .

Tempo (Horas)	\varnothing_1 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_2 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_3 (mm)	Erro de Forma (μm)	Cone (θ) (Graus)
0	3,957	7,70	3,952	15,90	7,057	22,60	37°59'00"
150	3,960	2,70	3,953	3,00	7,068	21,10	37°56'03"
300	3,964	1,20	3,957	1,60	7,079	6,80	37°56'03"
450	3,965	1,50	3,957	1,60	7,089	8,90	37°57'56"
600	3,965	2,40	3,958	3,60	7,090	7,10	37°56'03"
750	3,966	1,90	3,959	1,30	7,099	8,50	37°49'57"
900	3,967	1,00	3,959	1,30	7,106	11,90	37°57'03"
1050	3,969	1,50	3,960	0,80	7,110	6,90	37°51'29"
1200	3,969	0,80	3,960	2,10	7,119	10,70	37°54'42"
1350	3,970	0,10	3,962	1,50	7,129	7,70	37°53'07"
1500	3,972	0,50	3,962	0,60	7,133	12,00	37°56'11"
1650	3,973	1,00	3,963	0,20	7,138	13,30	37°56'09"
1800	3,975	0,20	3,964	1,00	7,145	3,30	37°52'37"
1950	3,975	2,80	3,964	2,30	7,153	5,50	37°52'43"
2100	3,976	2,70	3,964	2,50	7,158	7,30	37°57'158"
Δ total (%)	0,48		0,30		1,41		

Apêndice 6 - Variação dos diâmetros \varnothing_1 , \varnothing_2 e \varnothing_3 , do erro de forma e do cone (θ) do bocal de bronze em função do tempo de ensaio para a concentração de sólido C_2 .

Tempo (Horas)	\varnothing_1 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_2 (mm)	Erro de Forma (μm)	\varnothing_3 (mm)	Erro de Forma (μm)	Cone (θ) (Graus)
0	3,957	1,40	3,971	7,70	6,971	19,90	38°02'10"
150	3,960	6,20	3,973	7,90	6,988	50,90	38°00'21"
300	3,965	0,40	3,975	3,20	7,002	11,40	37°57'49"
450	3,966	1,60	3,976	3,60	7,025	16,40	37°57'42"
600	3,968	2,20	3,976	4,00	7,056	40,00	37°58'06"
750	3,968	2,20	3,976	1,90	7,066	2,80	37°55'49"
900	3,969	1,40	3,977	2,20	7,068	5,40	37°58'44"
1050	3,971	0,50	3,979	11,70	7,069	15,30	37°56'46"
1200	3,974	0,20	3,983	4,70	7,074	5,60	37°56'06"
1350	3,978	1,50	3,984	0,50	7,080	10,00	37°50'52"
1500	3,981	1,80	3,985	0,70	7,088	6,80	37°48'40"
1650	3,983	0,30	3,985	3,40	7,093	10,20	37°55'14"
1800	3,984	0,60	3,986	0,50	7,100	6,30	37°58'51"
1950	3,986	2,20	3,987	0,70	7,108	4,80	37°56'50"
2100	3,988	4,40	3,989	2,90	7,110	3,60	37°51'07"
Δ total (%)	0,78		0,45		1,95		