

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO**  
**TAPE SANTENO**

DISSERTAÇÃO

**ALBANISE BARBOSA MARINHO**

Campina Grande – Paraíba  
Março – 1999

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO TAPE SANTENO

ALBANISE BARBOSA MARINHO

CAMPINA GRANDE – PB

MARÇO - 1999

---

## CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO TAPE SANTENO

ALBANISE BARBOSA MARINHO

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO TAPE SANTENO

Dissertação apresentada ao Curso de  
Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola da Universidade Federal da  
Paraíba, em cumprimento às  
exigências para obtenção do Grau de  
Mestre.

---

Orientador: JOSÉ DANTAS NETO

Co-Orientador: HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO

Campina Grande, PB

Março-1999



M338c Marinho, Albanise Barbosa.  
Caracterização hidráulica do Tape Santeno / Albanise  
Barbosa Marinho. - Campina Grande, 1999.  
76 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -  
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e  
Tecnologia, 1999.

Referências.

"Orientação : Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr.  
Hamilton Medeiros de Azevedo".

1. Irrigação Hidráulica. 2. Tape Santino. 3. Avaliação  
Hidráulica. 4. Dissertação - Engenharia Agrícola. I. Dantas  
Neto, José. II. Azevedo, Hamilton Medeiros de. III.  
Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV.  
Título

CDU 631.67(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

**ALBANISE BARBOSA MARINHO**

Título: "Caracterização Hidráulica do Tape Santeno".

COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER

Dr. José Dantas Neto-Orientador

Dr. Carlos Alberto V. de Azevedo-Examinador

Dr. Heber Pimentel Gomes-Examinador

Dr. José Luiz de Sousa-Examinador

Campina Grande, 18 de março de 1999

A minha mãe Marise Marinho e meus irmãos:  
Amarilis, Goretti, Guia, Romualdo e Adelgicio  
Filho, OFEREÇO.

A José Aderaldo Marinho, por todo amor,  
dedicação e incentivo, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter-me dado saúde, inteligência e força para superar tantos obstáculos.

A Pós-Graduação de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de realização do curso.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A Santeno Irrigação do Nordeste Ltda, pelo apoio e doação do material utilizado neste trabalho.

Ao professor José Dantas Neto, pela orientação e pela amizade dispensada durante o curso.

Ao professor Hamilton Medeiros de Azevedo, pela co-orientação e pelas valiosas sugestões apresentadas.

Ao professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo, pela sua grande colaboração na tradução do resumo para língua inglesa.

A Edil Gregório da Silva, pela maravilhosa colaboração na montagem dos experimentos.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Drenagem, nas pessoas de Geraldo Correia da Silva, José Veriano Dias e Ricardo Nóbrega Pedrosa, pelas valiosas colaborações durante este trabalho.

Aos colegas Salli, Marineide, Valneide, Robson, Lázaro, Nildo, Paulo, Eugênio, Roger, Francisco Júnior, Daniel, João Farias, João Rodrigues, Joaquim, Padilha pela excelente convivência durante o curso.

A Rivanilda Diniz, Secretária da Pós-Graduação, pelas colaborações, amizade e palavras de incentivo.

A minha tia, Maria da Salette Barboza de Farias, pelos incansáveis conselhos e apoio em todos os momentos de minha vida.

Aos professores da Pós-Graduação, pela transmissão de conhecimentos.

A todos da minha família e amigos, que direta ou indiretamente contribuíram para realização do curso e deste trabalho.

## CONTEÚDO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	03
2.1. Desempenho Hidráulico dos Emissores Usados nos Tubos Perfurados.....	07
2.1.1. Relação Vazão- Pressão .....	07
2.1.2. Coeficiente de Variação de Fabricação .....	10
2.2. Uniformidade de Distribuição de Água .....	12
2.3. Coeficiente de Uniformidade de Vazão .....	13
2.4. Perfil de Distribuição .....	15
2.5. Hidráulica das Tubulações Perfuradas.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.1. Avaliação dos Orifícios.....	32
3.2. Altura e Alcance do Jato .....	34
3.3. Diâmetro Interno e Pressão de Ruptura do tape .....	36
3.4. Uniformidade e Avaliação da Vazão em Função do Comprimento e da Pressão .....	36
3.5. Cálculo da Perda de Carga Contínua .....	40

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1. Avaliação dos Orifícios.....	42
4.2. Altura e Alcance do Jato .....	46
4.3. Diâmetro Interno e Pressão de Ruptura do Tape.....	48
4.4. Uniformidade e Avaliação da Vazão em Função do Comprimento e da Pressão .....	50
4.5. Perda de Carga Continua.....	58
5. CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## LISTA DE TABELAS

	Página
1. Custo Estimado (US\$), por Hectare irrigado com Tape SANTENO, Gotejamento e Microaspersão.....	07
2. Valores de Vazão versus pressão para o Tape SANTENO.....	23
3. Vazão Média (l/h) em Função da Pressão para os emissores do Tape SANTENO, com seus respectivos Valores de Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF).....	44
4. Valores de Coeficientes de Descarga (Cd) em Função da Pressão para o Orifício Perfurado à Raio Laser do Tape SANTENO .....	45
5. Valores do Alcance Médio (m) dos Tapes SANTENO I e II em Função da Pressão.....	47
6. Valores de Altura do Jato de Água (m) em Função da Pressão para o Tape SANTENO I.....	47
7. Valores de Altura do Jato de Água (m) em Função da Pressão para o Tape SANTENO II.....	48
8. Valores dos Diâmetros Internos Observados para Diferentes Pressões do Tape SANTENO II .....	49
9. Valores de Coeficiente de Uniformidade de Vazão (CUC), em %.....	50
10. Valores de Vazão (l/h/m), em Função da Pressão e do Comprimento do Tape SANTENO, Obtidos Experimentalmente.....	52
11. Equações Polinomiais da Vazão em Função do Comprimento e da Pressão	

com os Respectivos Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ).....	52
12. Valores de Vazão Estimados (l/h/m) em Função da Pressão e do Comprimento do Tape SANTENO .....	53
13. Equações Polinomiais da Variação entre a Máxima e Mínima Vazão em função do Comprimento do Tape SANTENO, nas pressões de 20 e 80 kPa.....	55
14. Valores do Comprimento Máximo da Linha Lateral com Tape SANTENO (m) em Função da Variação de Vazão Pré- Estabelecida.....	58
15. Valores do Fator (F) de Redução de Perda de Carga em Função do Expoente da Velocidade (m) das Fórmulas de Flamant, Darcy-Weisback e Hazen- Williams e de Sidas .....	59
16. Valores de Perda de Carga (m/100m), em Função do Comprimento através das Equações de Flamant (F), Darcy-Weisback (DW) e Hazen – Williams (HW) na Pressão de 20 KPa para o Tape SANTENO .....	62
17. Valores de Perda de Carga (m/100m), em Função do Comprimento através das Equações de Flamant (F), Darcy-Weisback (DW) e Hazen – Williams (HW) na Pressão de 40 KPa para o Tape SANTENO .....	62
18. Valores de Perda de Carga (m/100m), em Função do Comprimento através das Equações de Flamant (F), Darcy-Weisback (DW) e Hazen – Williams (HW) na Pressão de 60 KPa para o Tape SANTENO .....	63
19. Valores de Perda de Carga (m/100m), em Função do Comprimento através das Equações de Flamant (F), Darcy-Weisback (DW) e Hazen – Williams (HW) na Pressão de 80 KPa para o Tape SANTENO.....	63

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Posição dos Microfuros na Parede do Tubo. Altura e Alcance do Jato de Água no Tape SANTENO I.....	06
2. Posição dos Microfuros na Parede do Tubo. Altura e Alcance do Jato de Água no Tape SANTENO II.....	06
3. Vazão versus Pressão de Carga do Tape SANTENO.....	21
4. Painel de Controle.....	27
5. Detalhe do Manômetro de Mercúrio.....	28
6. Distribuição do Sistema com Tape SANTENO em Laboratório.....	28
7. Linha Lateral com Tape SANTENO I.....	30
8. Linha Lateral com Tape SANTENO II.....	21
9. Distribuição dos coletores na Linha Lateral com Tape SANTENO.....	32
10. Detalhe da Distribuição dos Coletores na Linha Lateral com Tape SANTENO.....	38
11. Curva da Relação Vazão- Pressão dos Emissores do Tape SANTENO.....	43
12. Valores de Vazão (l/h/m), em Função do Comprimento da Linha Lateral com Tape SANTENO nas Pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa, Obtidos por Equações Polinomiais Ajustadas.....	54
13. Variação entre a Máxima e Mínima Vazão em Função do Comprimento do Tape SANTENO nas Pressões de 20 e 80 kPa.....	56
14. Perda de Carga em Função da Vazão para Linha Lateral com Tape SANTENO na Pressão de Serviço de 20 kPa.....	65

15. Perda de Carga em Função da Vazão para Linha Lateral com Tape SANTENO na Pressão de Serviço de 40 kPa.....	65
16. Perda de Carga em Função da Vazão para Linha Lateral com Tape SANTENO na Pressão de Serviço de 60 kPa.....	66
17. Perda de Carga em Função da Vazão para Linha Lateral com Tape SANTENO na Pressão de Serviço de 80 kPa.....	66

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar a performance hidráulica do Tape SANTENO, que trata-se de um tubo perfurado flexível de polietileno linear de baixa densidade, com orifícios feitos a raio laser. Os Tapes SANTENO utilizados, apresentam diâmetro nominal de 28 mm, diâmetro dos orifícios de 0,3 mm, com dois pares de orifícios espaçados em 1,20 metros, os quais operam com pressões de serviço de 20 a 80 kPa. Foram analisados os seguintes aspectos hidráulicos: equação característica da relação vazão-pressão; coeficiente de variação de fabricação dos orifícios; coeficiente de uniformidade de vazão ao longo das linhas laterais; coeficiente de descarga dos orifícios; diâmetros internos do tubo variando a pressão; alcance e altura do jato d'água; vazão em função do comprimento de linha lateral; comprimentos máximos da lateral de acordo com critérios preestabelecidos de variação de vazão; e perda de carga ao longo da tubulação, utilizando-se as equações de Flamant, Darcy-Weisbach e Hazen-Williams. A relação vazão versus pressão foi ajustada a uma equação potencial, com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 99,91%. O coeficiente de variação de fabricação médio para as quatro pressões testadas foi de 4,10%, considerado como excelente pela norma americana ASAE. Os coeficientes de descarga médios obtidos para os orifícios foram de 0,70, 0,69, 0,69 e 0,70, respectivamente para as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa. Os coeficientes de uniformidade de vazão apresentaram valores superiores a 96%. Os alcances do jato d'água foram de 1,30 e 2,50 metros para o tape SANTENO I e de 1,70 e 3,00 metros para o tape SANTENO II, operando-se nas pressões de 20 e 80 kPa. Os diâmetros internos variaram de 27,82 a 29,02 mm quando a pressão variou de 20 a 80 kPa. A pressão de ruptura da parede do tubo foi de 169,30 kPa. A vazão em função do comprimento variou de 11,25 a 7,09 l/h/m, dados obtidos experimentalmente para comprimentos de 10 a 200 metros e pressão de 80 kPa. Os comprimentos máximos das linhas laterais, calculados de acordo com os critérios de variação de vazão de 10, 15 e 20%, foram 156,0, 182,40 e 204,0m, respectivamente. O tape SANTENO apresentou baixos valores de perda de carga ao longo da linha lateral, onde os resultados obtidos pelas equações de Flamant e de Darcy-Weisbach foram bastante próximos, já a equação de Hazen-Williams gerou valores inferiores aos dessas outras equações.

## ABSTRACT

The objective of this research was to study the hydraulic performance of the SANTENO tape, which is a perforated flexible polyethylene linear pipe of low density, with orifices made by laser radius. The SANTENO tapes used have a 28 mm commercial diameter, diameter of the orifices equal to 0.3 mm, with two pairs of orifices equally spaced in 1.2 meters. The orifices operate with pressures from 20 to 80 kPa. That were evaluated the following hydraulic aspects: characteristic equation of the discharge and pressure relationship; manufacturing variation coefficient of the orifices; discharge uniformity coefficient along the lateral lines; orifice discharge coefficient; pipe inner diameters varying the pressure, reach and height of the water jet; discharge as a function of the pipe length; maximum pipe lengths according to criteria previously established for discharge variations; and head loss along the pipe, using the equations of Flamant, Darcy-Weisbach and Hazen-Williams. The relationship between discharge and pressure was given by a power function, with a determination coefficient ( $r^2$ ) equal to 99.91%. For the four tested pressures, the average manufacturing variation coefficient was 4.1%, which is considered excellent by the ASAE standard. The average discharge coefficients obtained for the orifices were 0.70, 0.69, and 0.70, respectively, for pressures equal to 20, 40, 60 and 80 kPa. The discharge uniformity coefficients presented values higher than 96%. The water jet reaches were 1.3 and 2.5 meters for the SANTENO tape I and 1.7 and 3.0 meters for the SANTENO tape II, operating with pressures equal to 20 and 80 kPa. The inner diameters varied from 27.82 to 29.02 mm for a pressure change from 20 to 80 kPa. The pipe wall breakage pressure was 169.3 kPa. The discharge as a function of the pipe length varied from 11.25 to 7.09 l/h/m, data obtained experimentally for lengths from 10 to 200 meters and pressure equal to 80 kPa. The maximum lengths of the lateral lines, calculated according to the discharge variation criteria equal to 10, 15 and 20%, were 156.0, 182.4 and 204.0 meters, respectively. The SANTENO tape presented low values of head loss along the pipe, where the results given by the Darcy-Weisbach and Flamant equations were very close; however, Hazen-Williams equation presented values inferior to the ones given by these others equations.

## 1. INTRODUÇÃO

A Região Nordeste do Brasil possui uma área aproximada de 1.640.000 km<sup>2</sup>, onde cerca de 52% desta área está concentrada no clima semi-árido, caracterizada pela escassez e má distribuição, no tempo e no espaço geográfico, das chuvas da região.

A irrigação constitui uma das alternativas fundamentais, a curto e médio prazo, que possibilita o uso racional dos recursos hídricos, incorporando-os ao processo produtivo da região, trazendo incentivos para fixar o homem na terra e melhorar a situação econômica e social do mesmo.

A tecnologia da irrigação localizada tem provocado grandes mudanças no desenvolvimento da irrigação nos últimos anos, devido, sobretudo, ao aperfeiçoamento do material utilizado e aos resultados das pesquisas realizadas (Lima, 1991).

A utilização de métodos de irrigação localizada tem aumentado muito nos últimos anos, tendo em vista as vantagens que esses oferecem, dentre as quais, alta eficiência de aplicação, a qual se consegue através de uma densa rede de tubulações, emissores e equipamentos de controle da qualidade e da quantidade de água aplicada. No entanto, o dimensionamento hidráulico tem que ser adequado, para se garantir vazões satisfatoriamente uniforme em todos os emissores da área irrigada, condição indispensável para se atingir uma elevada uniformidade de aplicação.

//O sistema de irrigação localizada diversifica-se quanto às características hidráulicas de vazão e distribuição de água de cada emissor, vazão na lateral, perda de carga, etc.// Assim, os métodos de irrigação localizada são divididos por gotejamento, microaspersão, xique-xique e tubos perfurados.

O funcionamento hidráulico dos tubos de polietileno perfurados assemelha-se a gotejadores tipo orifício, porém com a particularidade que sua seção de saída aumenta com a pressão hidráulica em seu interior, em função da elasticidade de sua parede. Eles podem gotejar em baixas pressões, todavia, em pressões relativamente baixas, inferiores a 100 kPa, as gotas convertem-se em pequenos jatos contínuos ( López et al., 1992).

Entre os tubos perfurados disponíveis no mercado nacional, encontra-se o Tape SANTENO, fabricado de polietileno linear de baixa densidade, com matéria-prima virgem, o qual possui microfuros perfurados a raio laser, que distribui a água em jatos bem finos, em forma de spray e trabalha com uma pressão de serviço de 20 a 80 kPa, (2,0 a 8,0 mca).

O presente trabalho tem como objetivo geral fazer a avaliação da performance hidráulica do tape SANTENO e especificamente :

- 1) Determinar o coeficiente de variação de fabricação;
- 2) Determinar o coeficiente de uniformidade de vazão;
- 3) Determinar o comprimento máximo da linha lateral, para uma variação de vazão pré-estabelecida;
- 4) Determinar a vazão em função do comprimento e da pressão do tape;
- 5) Determinar a perda de carga ao longo da lateral, em função do comprimento e da pressão.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A Irrigação localizada é uma tendência moderna para classificar todos os sistemas de irrigação em que a água é aplicada diretamente sobre a região radicular. Este conceito envolve os sistemas em que a água é aplicada no solo, em pequenas intensidades, com alta frequência (intervalos de irrigação de um a quatro dias) de modo a manter a umidade do solo, na zona radicular, próxima a capacidade de campo. O molhamento de mais de 55% da área sombreada pela planta descaracteriza o método, eliminando uma das suas principais vantagens que é a economia de água (Azevedo, 1986). A aplicação de água é feita através de tubos perfurados com orifícios de diâmetros reduzidos ou por meio de peças especiais, denominadas gotejadores ou microaspersores. Estas peças são destinadas a dissipar a pressão disponível aplicando vazões pequenas e constantes, cuja pressão de operação varia de 5 a 25mca.

Wu & Gitlin (1974), e Howell & Hiller (1974), salientam que a necessidade de se obter pequenas vazões ou um fluxo limitado de água, conduz as estruturas ou mecanismos dissipadores de energia com seção de escoamento reduzidas e isto leva a diferentes formas e tipos de emissores, dentre os quais, os principais são: microtubos; gotejadores; vórtex; labirintos e tubos perfurados.

No sistema de tubos perfurados (câmara simples ou dupla) não existe emissores, cuja função é desempenhada pelo orifício. A perfuração dos tubos deve ser feita com muita precisão, e mesmo nestas condições a variação da vazão de um para outro orifício é relativamente grande.

Na Espanha, os tubos perfurados mais utilizados no comércio são o T-tape e Bi-Wall. O tubo T-tape tem o diâmetro de 16 mm e se fabrica com as espessuras de orifícios de 0,08 e 0,20 mm, onde o espaçamento entre emissores varia entre 20 e 60 cm, a pressão de serviço está entre 5 e 10 mca, proporcionando uma vazão entre 79 e 944 l/h/100m, segundo a pressão, espaçamento e orifícios. O expoente de descarga é da ordem de  $x = 0,90$ , trabalhando próximo ao regime laminar. O tubo Bi-Wall tem diâmetro de 12 mm e pontos de emissão distanciados em múltiplos de 30 cm. Opera com pressão de 5 a 10 mca; na pressão de 10 mca sua vazão é de aproximadamente 400 l/h/100m. O expoente de descarga é da ordem de  $x = 0,50$ , correspondente a regime turbulento (Cabello, 1996).

De acordo com Sampaio et al. (1983), o sistema de irrigação por xique-xique é um exemplo de tecnologia simplificada nos sistemas localizados, uma vez que ele não dispõe de dispositivos sofisticados de emissão d'água propriamente dito, tal como o gotejador ou microaspersor, sendo seus emissores simplesmente furos tipo orifício, construídos nas tubulações de polietileno de maneira artesanal, com agulhas de uso veterinário, nos diâmetros de 1.0, 1.4, 1.5, 1.8 e 2.0m

Faria et al. (1995), classificam o tubo perfurado da Santeno como tapes de polietileno linear de baixa densidade, o qual possui microfuros perfurados a raio laser, que distribui a água em jatos bem finos, em forma de spray.

De acordo com o fabricante (SANTENO), o tape apresenta as seguintes características:

- São fabricados de polietileno linear de baixa densidade com matéria prima virgem;
- Apresentam emissores (conjunto de 02 orifícios) com espaçamentos de 0.15 a 1.05m, perfurados a raio laser, cujo diâmetro do orifício é de 0.3mm;
- Diâmetro do tape é de 28mm;
- Espessura da parede de 0.24mm;
- Comprimento do tape varia de 10 a 200m;
- Opera com pressão de serviço de 20 a 80 kPa, (2,0 a 8,0 mca);
- A vazão varia de 2.82 a 30.50 l/h/metro de tubulação;
- A Santeno produz tapes do tipo I e II, os quais diferem pela posição dos microfuros na parede do tubo, (figuras 01 e 02);
- O tape Santeno tipo I possui emissores na parte central do tape o que permite atingir um jato de até 2.0m de altura e largura molhada de 5.0m (figura 01);
- O tape SANTENO tipo II possui emissores na parte lateral do tape, o que permite atingir um jato de até 0.5m de altura e largura molhada de 4.0m . (figura 02);
- É necessário o uso de filtros para prevenir entupimentos;
- Podem ser usados em qualquer tipo de cultura (frutíferas, olerícolas, viveiros, floricultura, casas de vegetação, capineiras etc.).

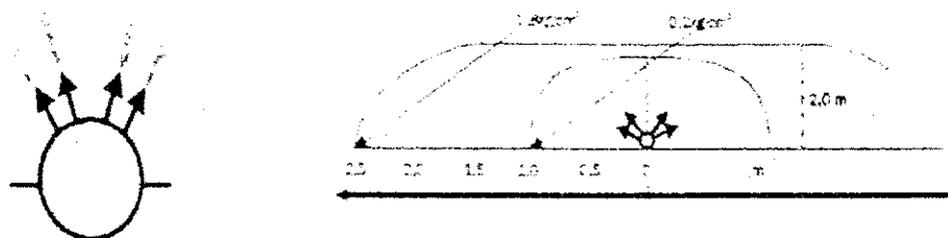


FIGURA 01: Posição dos microfuros na parede do tubo, altura e alcance do jato de água no tape SANTENO I.  
 FONTE : Sistema de Irrigação Santeno

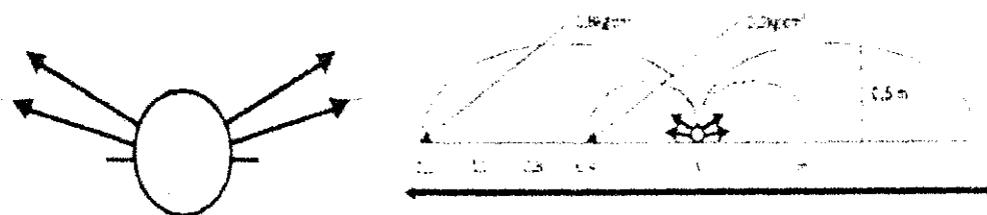


FIGURA 02: Posição dos microfuros na parede do tubo, altura e alcance do jato de água no tape SANTENO II.  
 FONTE : Sistema de Irrigação Santeno

O custo por hectare irrigado, varia de acordo com o espaçamento utilizado, tamanho da área, topografia, etc. A tabela 01 apresenta o custo estimado por hectare, irrigado com tape SANTENO, gotejamento e microaspersão. O custo por hectare para culturas com espaçamento menor ou igual a 3,0m, irrigado com tape SANTENO, é 46% superior a culturas com espaçamento maior que 3,0m (fruticultura). Para culturas com espaçamento entre linhas laterais menor ou igual a 3,0m, o tape SANTENO é 57% inferior

De acordo com Bernardo (1995), o princípio de funcionamento de tubos perfurados é o mesmo do gotejador tipo orifício, e pode ser representado pela equação 1, válida apenas para fluxo de regime turbulento:

$$q = 3.6 \cdot A \cdot C_d \sqrt{2gh} \quad (\text{equação 01})$$

em que:

q: vazão dos orifícios, l/h;

A: área dos orifícios, mm<sup>2</sup>;

C<sub>d</sub>: coeficiente de descarga, adimensional;

g: aceleração da gravidade (9.81g/cm<sup>2</sup>);

h: pressão na entrada dos emissores (kPa).

Para orifícios circulares em paredes delgadas, Azevedo Neto (1973), cita o valor de 0,61 para o coeficiente de descarga (C<sub>d</sub>) como sendo o mais comum na prática. Para orifícios de parede espessa, segundo Ávila (1974), é válida a equação de vazão em função da pressão proposta para orifícios de parede delgada. Neste caso, o coeficiente de descarga torna-se maior, entre 0,78 e 0,82, quando a relação espessura da parede pelo diâmetro do orifício se encontra entre 1,5 e 3,0. Andrade (1990), estudando orifícios perfurados a raio laser, encontrou valores de 0,74; 0,76; 0,78 e 0,79, para as pressões de 20; 40; 60 e 80 kPa respectivamente.

Segundo Keller & Karmeli (1975), Von Bernuth & Solomon (1986), e Abreu et al. (1987), o fluxo de um emissor é caracterizado por uma função potencial, onde a vazão relaciona-se diretamente com a carga hidráulica atuante na entrada do emissor, e é representada pela equação 02 :

$$q = K_d h^x \quad (\text{equação 02})$$

onde:

q - vazão do emissor, l/h;

$K_d$  - constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor;

h - pressão hidráulica na entrada de cada emissor, kPa;

x - expoente de emissão, parâmetro que caracteriza o fluxo de um emissor como função da pressão de operação.

De acordo com Bralts et al. (1981), a constante  $K_d$  inclui no seu valor os fatores relacionados com a fabricação do emissor, como por exemplo, o coeficiente de descarga e a área da seção transversal dos emissores tipo orifício. Portanto, quando se considera as variações de vazão do emissor devido a fabricação, deve sempre se referir ao valor de  $K_d$ .

Em contrapartida, o expoente  $x$  reflete os fatores hidráulicos que afetam a variação de vazão. Seu valor normalmente está entre zero e um, e depende do regime de escoamento (determinado pelo número de Reynolds). Segundo Benami e Ofen (1984), a maioria dos gotejadores tem escoamento turbulento, e portanto,  $x$  se aproxima de 0,5. Outros emissores tem o escoamento próximo de laminar, e neste caso  $x$  está entre 0,7 e 0,8. Estes gotejadores tem suas vazões mais afetadas com pequenas variações de pressão do que no caso de gotejadores que trabalham em regime turbulento.

Andrade (1990) e Bonomo et al.(1998), avaliando o tubo perfurado de polietileno flexível, obtiveram valores de  $x$  iguais a 0,5491 e 0,50, indicando o regime de escoamento como turbulento. Para o tubo gotejador Queen Gil, Testezlaf & Campioni (1993), encontraram  $x = 0,625$ . Frizzone et al.(1998), avaliando as características hidráulicas do tubo gotejador Rain- Tape TPC encontrou o valor de  $x$  como 0,4563, ambos caracterizando-os como escoamento turbulento.

## 2.1.2- Coeficiente de Variação de Fabricação

// Segundo Vermeiren & Jobling (1980), o coeficiente de variação de fabricação é o parâmetro usado para medir a variação provocada pela desuniformidade entre os emissores. // Para Solomon (1979), é também uma informação que expressa bem o projeto do emissor, materiais usados na construção e cuidados aplicados na sua fabricação. De acordo com Abreu et al. (1987), por mais sofisticados que sejam os processos de fabricação, é impossível obter-se emissores com o mesmo coeficiente  $K_d$  e expoente  $x$  da função potencial. O autor acrescenta ainda que dentre os diversos tipos de emissores desenvolvidos, os desmontáveis e/ou auto compensantes apresentam excelentes coeficientes de variação de fabricação.

Solomon (1979), determinou a variação de fabricação de vários emissores tipo orifício, classificou e deu uma interpretação física para o coeficiente de fabricação. Segundo ele, a totalidade das observações de vazão está compreendida no intervalo  $(1 \pm 3V) \bar{q}$ ; aproximadamente 95% das observações estão compreendidas no intervalo  $(1 \pm 2V) \bar{q}$  e 68% das observações estão compreendidas no intervalo  $(1 \pm V) \bar{q}$ ; onde  $V$  é o coeficiente de variação de fabricação e  $\bar{q}$  a vazão média.

// Keller & Karmeli (1975), desenvolveram a equação para determinar o coeficiente de variação de fabricação (CV), que é definido pela razão entre o desvio padrão da vazão do emissor e sua média .

$$CV = \frac{\delta}{q_m} \quad (\text{equação 03})$$

sendo:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{n-1}}$$

onde:

$\delta$  - desvio padrão;

$q_i$  - vazão de cada emissor;

$q_m$  - vazão média dos emissores testados;

$n$  - número de emissores.

Para análise do CVF, a ABNT (1986), recomenda uma amostragem aleatória de 20 a 50 emissores, respectivamente no caso de microaspersores e gotejadores. Segundo a ASAE (1988), os critérios de classificação dos emissores, em função do CVF, são os seguintes:

CVF ≤ 0,05    uniformidade excelente

0,05 < CVF ≤ 0,07    uniformidade média

0,07 < CVF ≤ 0,11    uniformidade marginal

0,11 < CVF ≤ 0,15    uniformidade deficiente

CVF > 0,15    uniformidade inaceitável

Andrade (1990) e Bonomo et al.(1998), estudando as características hidráulicas de um tubo perfurado de polietileno flexível verificaram que o coeficiente de variação médio foi de 1,95 e 3,31% respectivamente, o que classifica os emissores como excelentes. Testezlaf & Campioni (1993), encontraram CVF médio de 2,8% para o tubo gotejador Queen Gil, com emissores tipo labirinto, espaçados de 0,30m, indicando boa qualidade de fabricação. Já Frizzone et al. (1998), encontrou para o tubo gotejador Rain Tape TPC, CVF médio de 1,97%, valor este inferior ao informado pelo fabricante (4%).

## 2.2- Uniformidade de Distribuição de Água

De acordo com Testezlaf & Campion (1993), a uniformidade de aplicação de água de uma linha de gotejadores pode ser determinada pela variação de vazão que ocorre ao longo da mesma. A variação de vazão está associada com a variação de pressão que ocorre na linha, que por sua vez está relacionada com a perda de carga que ocorre na tubulação e com o ganho de perda de pressão devido a diferença de cota geométrica entre o início e o fim da linha. Benami e Ofen (1984), recomendam que a máxima variação de vazão não deve ultrapassar 10%.

A uniformidade de distribuição de água é um importante parâmetro a ser determinado para se analisar a eficiência de aplicação e a determinação de espaçamentos ótimos entre mangueiras perfuradas, quando estas forem utilizadas para culturas em linha (Merriam & Keller, 1978).

// Segundo Solomon (1979), um dos fatores mais importantes, quando se aplica água às plantas através de sistemas localizados, é a sua uniformidade de distribuição de água, a qual é função da interação dos diversos componentes do sistema de forma global e principalmente, a uniformidade de operação da sub-unidade de irrigação. Acrescenta ainda que os principais fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água numa sub-unidade são, pôr ordem de importância:

- entupimentos;
- número de emissores por planta;
- coeficiente de variação de fabricação;
- coeficiente exponencial de vazão do emissor;
- sensibilidade do emissor às variações de temperatura e pressão;

- relação entre perda de carga na terciária e lateral. //

Para análise da uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação, existem vários modelos estatísticos, baseados na variação de vazão, a qual é proporcional à distribuição de pressão ao longo do comprimento do conduto (Oliveira, et al., 1993).

Segundo Kuwabara e Matsura (1996), pode-se determinar a uniformidade de distribuição através dos seguintes parâmetros: a uniformidade de emissão e o coeficiente de uniformidade.

### 2.3- Coeficiente de Uniformidade de Vazão

O Coeficiente de Uniformidade (CU) é outra medida de uniformidade de vazão dos emissores, medindo somente variações a partir de desvios de vazão. Christiansen (1942), propôs um método para análise da uniformidade de distribuição de água, atualmente utilizado na irrigação localizada, e que permite a obtenção de resultados confiáveis. A equação expressa em termos de vazão é representada por:

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n * q_m} \right] \quad \text{equação (04)}$$

onde:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

q<sub>i</sub> - vazão de água em cada coletor;

$q_m$  - vazão média de água;

$n$  - número de observações

A medida que se aproxima de altos valores de distribuição e aplicação geralmente ocorre aumento nos custos de implantação do projeto, havendo certa tendência de se aceitarem uniformidade mais baixas em favor da diminuição dos custos de energia (Kuwabara e Matsura, 1996).

Hart (1961), relacionou os coeficientes de Christiansen (1942), e Criddle et al. (1956), e a distribuição normal, propondo dois novos coeficientes para avaliar a distribuição de água, mantendo uma alta correlação com os respectivos coeficientes. O coeficiente de uniformidade (CUH) e a eficiência padrão de Hart (PER) são obtidos em função do coeficiente de variação (CV), pelas expressões:

$$CUH = 1 - 0.798CV$$

$$PER = 1 - 1.270CV$$

Andrade (1990), verificou a uniformidade de distribuição de água para uma linha de tubulação perfurada com diferentes espaçamentos entre mangueiras nas pressões de serviço de 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 e 10 mca, e observou que os valores de CUC variaram de 43.73 a 87.98% e que o valor médio ao longo da linha para pressão de serviço ideal de 80 kPa, foi de 75.09%, sendo considerado como nível bom para a irrigação complementar por aspersão. Bonomo et al. (1998), obteve valores médios de CUC entre 85,30 e 81,60% para pressões de 60 e 80 kPa, e valores de uniformidade de emissão ao longo de segmentos do tubo perfurado com 70 m de comprimento variando de 93 a 97% para a faixa de pressão de 20 a 80 kPa, indicando boa adaptabilidade deste para cultivos em linha.

## 2.4- Perfil de Distribuição

Armoni (1986), levanta a questão até que ponto pode uma área ser considerada irrigada ou simplesmente úmida, e propõe um índice de precipitação de 1 mm/h, como área úmida (irrigada ineficientemente). No entanto, concordam que um limite concreto de precipitação seja inadequado, e definem o raio efetivo como sendo a distância entre o emissor e o pluviômetro que contenha 10% da pluviometria média com o emissor operando a 200 kPa, cuja definição também é dada por Abreu et al. (1987).

De acordo com a ABNT-NBR 8988( 1985), a intensidade de aplicação mínima para definir o alcance do jato corresponde a 0.13mm/h para emissores com vazão inferior a 0.50mm/h.

Bonomo et al.(1998), estudando as características hidráulicas de tubos perfurados flexíveis de polietileno verificaram o alcance médio da precipitação de 3,02; 4,02; 4,45 e 4,78 metros para as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa respectivamente. Andrade (1990), encontrou os seguintes valores médios de alcance: 2,87; 4,10; 5,10 e 5,92 metros para as mesmas pressões de serviço.

## 2.5- Hidráulica das Tubulações Perfuradas

Para Silvestre (1982), numa tubulação por onde se escoia uma certa vazão, tem-se perda de carga contínua e perda de carga localizada. A primeira pode ser interpretada como uma dissipação de energia, causada por resistências que se manifestam

em oposição ao movimento do fluido, tais como o atrito dos filamentos líquidos, entre si e com as paredes da tubulação. A Segunda ocorre em pontos específicos, onde a geometria da tubulação é alterada, levando a uma direção no módulo e/ou na direção da velocidade de escoamento. A magnitude dessas perdas é função do regime de escoamento que se processa na tubulação. O regime de escoamento é caracterizado por um parâmetro adimensional, denominado número de Reynolds. Em condutos circulares, tem-se escoamento laminar quando número de Reynolds (Re) é menor do que  $2 \times 10^3$ , e escoamento turbulento quando Re é maior do que  $4 \times 10^3$ . Para valores intermediários a estes, o escoamento é classificado como de transição.

Existem diversas equações para o cálculo da perda de carga ao longo de um conduto, dentre as mais utilizadas destaca-se:

a) Equações de Hazen-Williams, recomendada para tubulações de diferentes materiais, com diâmetro interno igual ou acima de 50 mm.

$$H_f = \frac{10,641 * Q^{1,85}}{(C^{1,85} * D)^{4,87}} * L = \frac{6,806 * V^{1,85}}{(C^{1,85} * D)^{4,75}} * L \quad \text{equação (05)}$$

Onde:

Q = vazão que escoar ao longo da tubulação,  $m^3 s^{-1}$ ;

C = coeficiente, função da natureza das paredes da tubulação;

V = velocidade média de escoamento, m/s;

D = diâmetro da tubulação, m; e

L = comprimento da tubulação, m.

b) Equação de Darcy-Weisbach, recomendada para tubulações de quaisquer diâmetros e natureza de suas paredes e para qualquer tubo em qualquer temperatura:

$$H_F = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = 1,621 \cdot f \cdot \frac{L}{D^5} \cdot \frac{Q^2}{2g} \quad \text{equação (06)}$$

Onde:

f = coeficiente de atrito, adimensional;

g = aceleração da gravidade.  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

O coeficiente de atrito da equação de Darcy-Weisbach é função de características da tubulação, do fluido que a percorre e do regime de escoamento.

Para o fluxo laminar ( $R < 2000$ ), a equação de Hagen-Poiseuille define f como função de número de Reynolds ( Re) por:

$$f = 64/Re \quad \text{equação (07)}$$

No fluxo turbulento, as partículas de fluido se movem rapidamente e de forma irregular, onde o valor do coeficiente de atrito pode ser determinado pela fórmula de Blasius, válida para tubos lisos e números de Reynolds de até  $1 \times 10^5$ :

$$f = 0,316Re^{-0,25} \quad \text{equação (08)}$$

c ) Equação de Flamant, recomendada para tubos plásticos, com diâmetro entre 12,70 mm e 200mm, conduzindo água fria:

$$H_f = 0,000824 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} L = 0,000539 \frac{V^{1,75}}{D^{1,25}} L \quad \text{equação (09)}$$

De acordo com Bohnenberger e Messias (1984), esta fórmula é utilizada para o cálculo de perda de carga contínua em tubulações de redes de distribuição das instalações hidráulicas prediais.

Howell e Barinas (1980), calcularam a perda de carga contínua em lateral de polietileno com 25 mm de diâmetro nominal, conduzindo água a 24°C, para número de Reynolds entre  $3 \times 10^3$  e  $1 \times 10^5$ , usando a fórmula de Hazen-Williams e Darcy-Weisbach. Nestas condições, fazendo  $C = 150$  e determinando o coeficiente de atrito ( $f$ ) pela fórmula de Blasius, verificaram não haver diferenças significativas entre os resultados obtidos com o uso destas fórmulas, até o número de Reynolds igual a  $5 \times 10^4$ , correspondente a vazão de  $9,72 \times 10^{-4} \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Bernardo (1995), Von Bernuth (1990), e Gomes (1997), dentre outros, citam a equação de Darcy-Weisbach (Universal) como a mais precisa para o cálculo da perda de carga em condutos forçados, pois este envolve todas as variáveis responsáveis pelo fenômeno. A principal dificuldade de uso desta equação é determinar o fator de atrito  $f$ , que depende das características do fluxo e de alguns materiais envolvidos, porém Gonçalves (1988), analisando perda de carga em tubos perfurados para irrigação encontrou que as fórmulas de Flamant e de Fair-Whipple-Hsiao apresentaram resultados melhores do que a fórmula de Darcy-Weisbach na maioria dos testes efetuados.

Assy (1977), afirma que a fórmula de Hazen-Williams é correta apenas para condutos hidráulicamente lisos e para o número de Reynolds acima de 500.000; em tais circunstâncias, o valor de  $C$  é constante e igual a 158. Nos demais casos, o valor de  $C$  é função do número de Reynolds e da rugosidade relativa.

Urbina (1977), mostrou que a equação de Darcy-Weisbach é mais precisa do que a equação de Hazen-Williams para calcular a perda de carga em tubos de plásticos com pequeno diâmetro, usados como linha laterais de sistemas de irrigação por gotejamento, apesar de se selecionar o valor de C para uso desta última equação, o que foi também observado por Paraqueima (1977).

Para tubulações de polietileno, de diâmetros nominais iguais 9,52 mm e 12,70 mm, operando com escoamentos com números de Reynolds entre  $4 \times 10^3$  e  $2 \times 10^4$ , Oliveira et al. (1979) determinaram um valor médio para o coeficiente C igual 144

Mello e Carvalho (1998), comparando a equação proposta para cálculo da perda de carga, em regime de escoamento turbulento liso para tubos de PVC e polietileno de pequeno diâmetro, com as equações de Darcy-Weisbach e Hazen-Williams, observaram não haver praticamente diferenças entre as três equações para nenhum dos diâmetros internos testados; isto ocorreu devido à semelhança da equação de Hazen-Williams, para um coeficiente  $C = 140$ , com a equação proposta e a equação de Darcy-Weisbach

Frizzone et al. (1998), calculou a perda de carga em linhas laterais com tubo gotejador Rain Tape TPC experimentalmente, por equações ajustadas via análise de regressão e pela equação de Darcy-Weisbach, com f determinado pela equação de Blasius e diâmetro corrigido em função da pressão. Verificou não haver diferença significativa entre as três.

Silva (1984), estudando as características hidráulicas de tubos de polietileno de diâmetro nominal igual a 3/8" (9,5mm), perfurados manualmente, verificou que a perda de carga na linha (este sem os orifícios) foi igual a perda de carga na linha-teste com orifícios, verificando não ocorrer perda de carga na inserção do emissor. A Santeno Irrigações do Nordeste, fabricante do tape SANTENO, apresenta o gráfico de perda de carga em função da vazão, (figura 01), neste observa-se um baixo valor de perda de carga.

De acordo com Howell & Hiller (1974), geralmente a vazão através de um emissor é controlada pela carga hidráulica na entrada do mesmo e pelo caminho percorrido pela água dentro do emissor. Desde que haja vazão na linha lateral, ocorre perda de carga ao longo deste tubo, com o que haverá variação de pressão. Se a geometria do emissor for fixada, verificar-se-á, então, ao longo da linha lateral, uma variação de vazão do emissor, correspondente à variação na pressão ao longo da linha lateral. Uma uniformidade de vazão para os emissores somente será possível com a mudança do tipo de emissor. Entretanto, são fixados e a variação de vazão é determinada apenas pela variação de pressão.

A variação de vazão dos emissores ao longo das linhas laterais pode ser mantida dentro de certos limites aceitáveis, para determinação do comprimento a uma dada pressão de operação. Segundo Gillespie et al. (1979), nos sistemas de irrigação localizada, o melhor critério de dimensionamento consiste em minimizar a variação de vazão ao longo da lateral. Nestes sistemas, a variação máxima de vazão entre a primeira e última saída, pode ser considerada entre 5 a 20% ( Ramos & Denuculi, 1992).

Oliveira et al. (1993), estudando a hidráulica de linhas laterais, verificou que as variações encontradas nos valores de vazão devem-se principalmente ao processo de fabricação e envelhecimento do emissor e as possíveis obstruções, enquanto as variações hidráulicas pouco afetam a uniformidade de emissão, devido a pequeno número de emissores por linha e a topografia uniforme no sentido das linhas laterais.

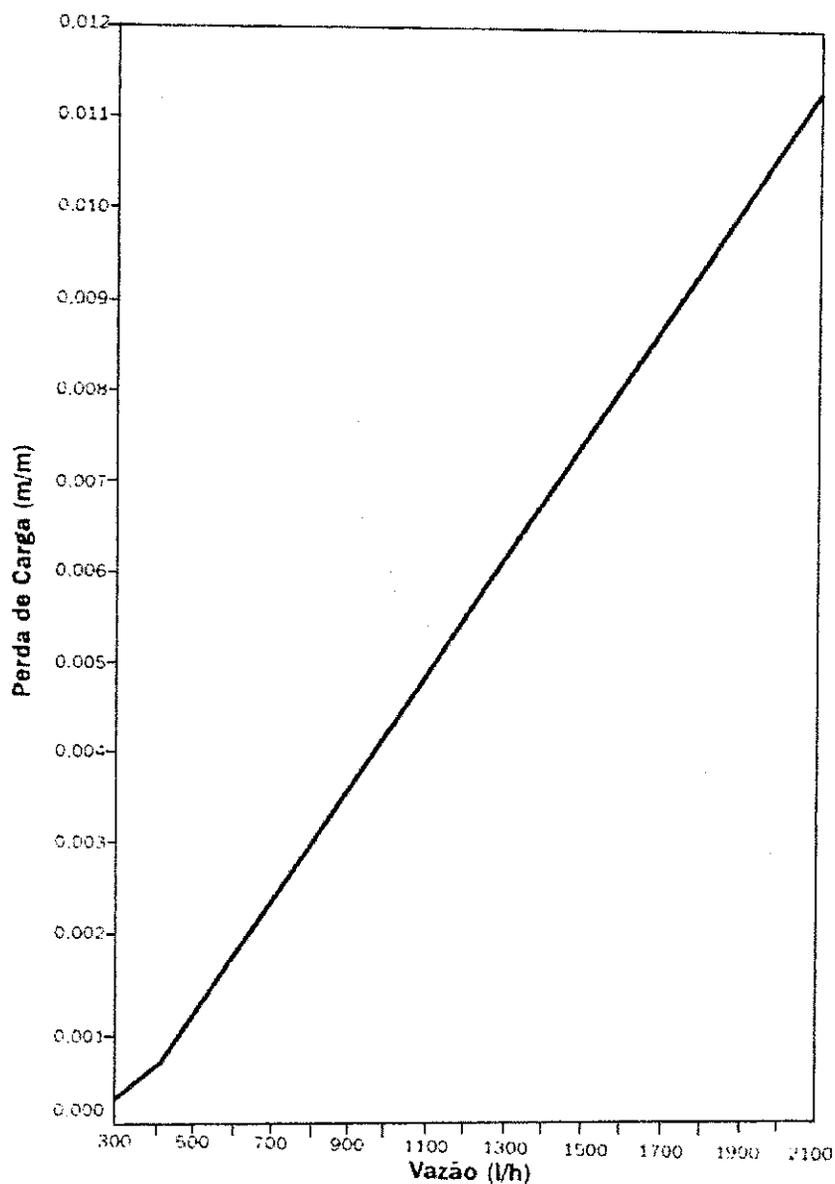


FIGURA 03: Vazão X Perda de Carga no Tape SANTENO  
FONTE: Sistema de Irrigação SANTENO

Segundo Bernardo (1995), a variação de pressão ao longo da linha lateral, ou seja, a perda de carga na linha lateral, que proporcionará uma determinada variação de vazão, dependerá do regime de escoamento e do tipo de gotejador. Para gotejadores de regime laminar ou de longo percurso de fluxo, para se ter uma variação máxima de vazão de 10%, o limite máximo de perda de carga também deverá ser em torno de 10%. Mas,

nos gotejadores com regime de escoamento turbulento, a relação entre a variação da perda de carga e a vazão pode ser obtida pela seguinte equação:

$$\frac{q1}{q2} = \frac{\sqrt{H1}}{\sqrt{H2}} \quad \text{equação (10)}$$

Camp et al (1997), trabalhando em sistemas de irrigação por gotejamento com tubos novos em laboratório encontrou uma variação de vazão de 5,20% e em tubos usados em campo a variação atingiu 29,50%. As linhas de gotejadores quando enterrados proporcionam variação de vazão de 92,60% devido a problemas de obstruções.

A vazão no tape SANTENO varia de 2,82 a 30,50 l/h/m, sendo esta, função do espaçamento entre emissores, da pressão e do comprimento. A tabela 02 apresenta os respectivos valores de vazão, confeccionados pelo Sistema de Irrigação Santeno.

Os comprimentos máximos encontrados de acordo com os critérios pré-estabelecidos de variação de pressão entre o primeiro e último emissor de tubos flexíveis de polietileno perfurados a raio laser variaram de 54,45 metros para a pressão de 20 kPa e critério de 10% a 97,80 metros , quando a pressão é de 10 kPa e o critério é de 40% (Andrade,1990).

Testezlaf e Campioni (1993). estudando o comportamento hidráulico do tubo gotejador Queen Gil verificaram que o valor da vazão divulgado pelo fabricante para pressão recomendada de 68,40 kPa está subestimada em 18%, comparando com o valor obtido pela equação, nesta pressão estimou-se que a variação de vazão de 5% ocorrerá a 33m do início da linha, enquanto que a variação de 10% acontecerá a uma distância de aproximadamente 75m. No comprimento de 100 metros a variação de vazão estimada foi

de 13%, isto significa que apesar do emissor ser sensível à mudança de pressão, o tubo de polietileno apresentou baixos valores de perda de carga, para este comprimento.

TABELA 02: Valores de Vazão (l/h/m), em função da Pressão para o Tape SANTENO.

PRESSÃO m.c.a)	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
2.0	12,00	12,00	12,00	11,20	10,80	9,80	9,10	8,50	8,20	7,80
3.0	15,0	14,50	14,80	14,00	13,40	12,20	11,40	10,80	10,40	9,90
4.0	17,50	17,50	17,60	16,80	16,00	14,70	13,70	13,00	12,40	12,00
5.0	20,00	20,00	20,40	19,20	18,50	17,10	16,10	15,40	14,70	14,10
6.0	22,00	22,50	23,20	21,70	21,10	19,50	18,30	17,50	16,80	16,20
7.0	25,00	25,70	26,00	24,70	23,80	22,00	20,70	19,70	18,90	18,30
8.0	30,50	28,80	28,50	27,20	26,40	24,10	23,00	21,90	21,10	20,40
Esp. Emissores	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

PRESSÃO m.c.a)	110m	120m	130m	140m	150m	160m	170m	180m	190m	200m
2.0	6,18	5,87	5,00	4,86	4,27	4,09	3,44	3,30	3,10	2,82
3.0	7,78	7,42	6,27	6,11	5,33	5,12	4,26	4,14	3,84	3,52
4.0	9,90	8,92	7,53	7,35	6,40	6,18	5,15	4,97	4,60	4,20
5.0	11,20	10,54	8,85	8,64	7,47	7,25	6,00	5,80	5,34	4,89
6.0	12,53	12,00	10,06	9,84	8,53	8,23	6,82	6,66	5,85	5,59
7.0	14,09	13,51	11,38	11,11	9,60	9,31	7,70	7,47	6,60	6,30
8.0	15,73	15,08	12,69	12,14	10,20	10,13	8,41	8,28	7,63	6,95
Esp. Emissores	0,30	0,30	0,45	0,45	0,60	0,60	0,75	0,75	0,90	1,05

Fonte: Sistema de Irrigação Santeno

Frizzone et al. (1998), encontrou comprimentos máximos de linha lateral com tubo gotejador Rain Tape TPC variando de 13,20 a 193,20m, para uma variação de vazão na ordem de 10 a 20%.

Ullmann et al. (1997), determinou o comprimento máximo de uma linha lateral de irrigação por tubos perfurados de PVC Irriga EP 2”(DN 50) com orifícios de 1,50 mm de diâmetro, pelo critério da máxima perda de carga admissível ( 20 % da pressão

de serviço) para as pressões de 50,100, 150 e 200 kPa, e obteve os valores de 46,5, 50,0, 51,6 e 53,0 m, para as respectivas pressões.

Os comprimentos máximos admissíveis de laterais no sistema de xiquexique podem variar de 24 a 220 m para os diâmetros das laterais variando de 9,52 a 19,05 mm e espaçamento entre emissores de 2 a 10 m.

A perda de carga em tubulações com múltiplas saídas, é igual à perda de carga determinada como se a tubulação não tivesse saída alguma na lateral, multiplicada por um fator F, que é função do número de saídas (Bernardo,1995). Admitindo que as saídas são igualmente espaçadas, que a vazão em todas elas é a mesma, e, que a vazão no final dos tubos é nula. Christiansen (1942), propôs a seguinte equação para calcular o fator F para compensação das múltiplas saídas:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$$

onde:

F = coeficiente de Christiansen;

m = coeficiente da velocidade, na equação da perda de carga usada (Hazen-Williams, m = 1,85; Darcy-Weisbach, m = 2,0; e Flamant, m = 1,75); e

N = número de saídas ao longo da tubulação.

Howell e Hiller (1974), observaram que o valor de F aumenta para um mesmo número de gotejadores, quando se reduz o espaçamento.

Andrade (1990), verificou que para um mesmo espaçamento entre emissores os valores de F decrescem quando se aumenta o número de orifícios e crescem a medida que a pressão é incrementada a partir de um determinado número de emissores. Frizzone et al (1998), observou que para uma pressão de operação constante, os valores de

F diminuíram com o aumento do número de emissores; entretanto, para um mesmo número de emissores, os valores de F diminuíram com o aumento da pressão, diminuição esta que pode estar associada ao crescimento do diâmetro interno da tubulação, decorrente da elevação da pressão.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (LEID/ DEAg / CCT/ UFPB ), na cidade de Campina Grande.

O sistema utilizado neste trabalho experimental, foi composto por:

- Um motor elétrico trifásico marca WEG, de 380 volts, com potência efetiva de 5.0 CV, girando em média a uma rotação de 3500rpm, com acoplamento monobloco a uma bomba centrífuga marca Scheneider, modelo 02.43. O acionamento do motor foi feito por uma chave elétrica automática de 5.0 CV. A água utilizada foi bombeada de uma cisterna subterrânea, com volume aproximado de 6000 litros.

- A linha de testes foi acoplado a uma tubulação, derivada do painel de controle (figura 04), de modo que possibilitava o retorno da água ao reservatório, após sua passagem pela seção de testes.

- A tubulação que conduziu a água da bomba até o painel de controle foi de PVC rígido, com diâmetro externo de 50 mm. Após o painel de controle foi instalado um

filtro de disco, em seguida um registro de gaveta, um manômetro de mercúrio (figura 05), e acoplado ao tubo de PVC, registros de feche rápido, uma união, um adaptador interno e a linha lateral com tape SANTENO, com orifícios espaçados em 1,20m (figura 06).

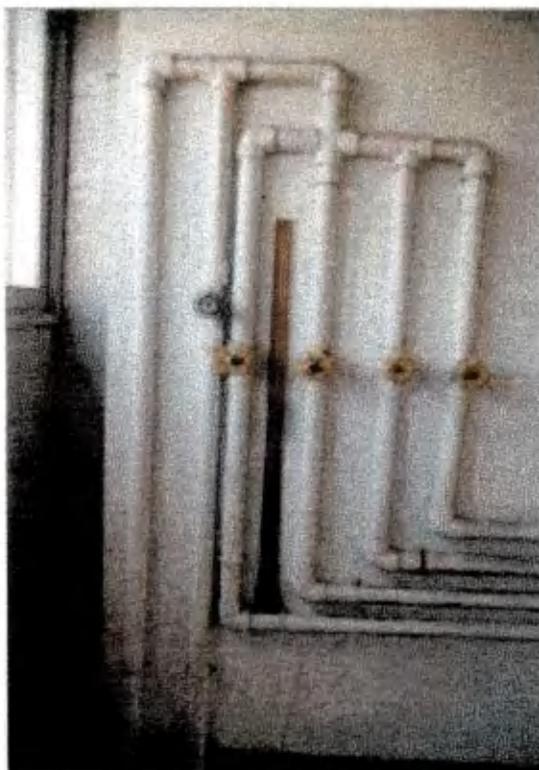


FIGURA 04: Painel de Controle



FIGURA 05: Detalhe do Manômetro de Mercúrio



FIGURA 06: Distribuição do Sistema com Tape SANTENO em Laboratório.

Neste trabalho foi estudado a performance hidráulica do tape SANTENO fabricado pela Santeno Irrigações do Nordeste Ltda., produzido a partir de tecnologia japonesa da SUMITOMO CHEMICAL.

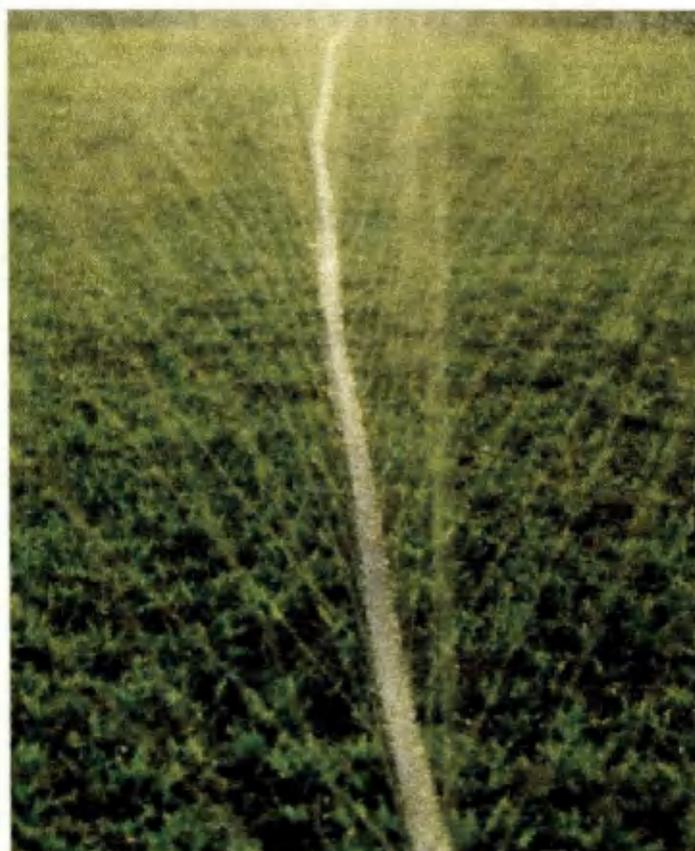
O tape SANTENO trata-se de tubo perfurado flexível de polietileno, fabricado com polietileno linear de baixa densidade, a partir de matéria-prima virgem, com diâmetro de 28mm e espessura da parede de 0.24mm, o emissor consiste de um conjunto com dois pares de orifícios, cujo diâmetro é de 0.3mm cada, perfurados a raio laser. O espaçamento entre emissores varia de 0.15 a 1.05m, com comprimentos de até 200m. Trabalha com uma pressão de serviço de 20 a 80 kPa. A Santeno produz dois tipos de tape: o tipo I com os microfuros no centro do tape, resultando num raio de alcance de até 2.5m e altura do jato d'água de até 2.0m e o tipo II, com microfuros na lateral do tape, raio de alcance de até 2.0m e altura do jato d'água de até 0.5m. Em ambos os casos, a água é aspergida para os dois lados em jatos bem finos em forma de spray, formando uma faixa molhada, como mostra as figuras 07 e 08. A vazão do tape varia de 2.82 a 30.50 litros/hora/metro.

Foram efetuados testes com os tapes SANTENO I e II, com orifícios espaçados em 1.20m.

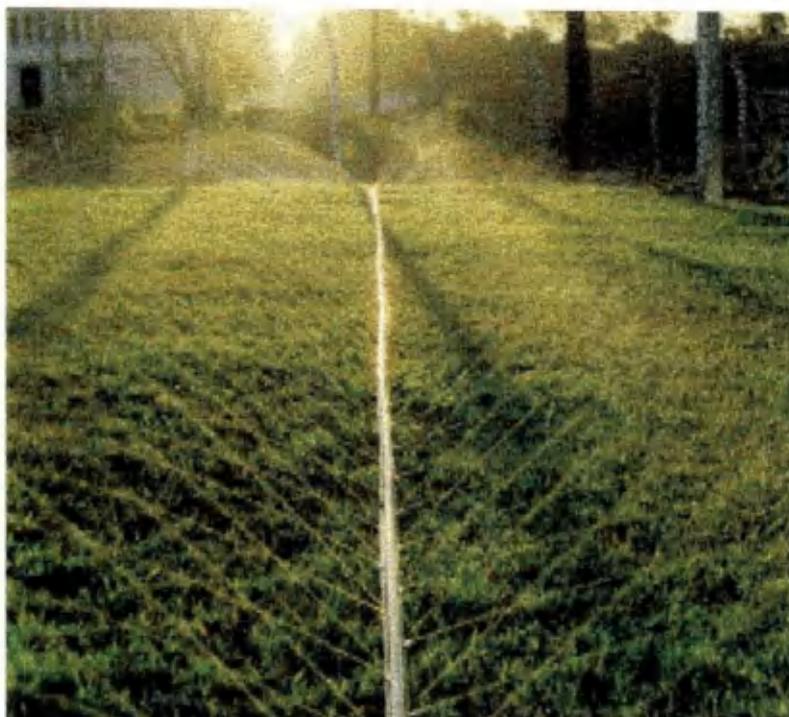
O alcance médio e a altura do jato foram determinados para o SANTENO tipo I e tipo II, onde os sistemas foram instalados entre quatro linhas de coletores plásticos, de forma circular, com diâmetro de 14,0 cm, altura de 4,20 cm e capacidade de 646,54 ml. (figura 09).

Além do alcance médio e da altura do jato, no SANTENO II foram feitos testes para determinar: o coeficiente de variação de fabricação dos emissores; coeficiente de descarga dos orifícios; coeficiente de uniformidade de vazão; vazão em função do

comprimento e da pressão de serviço do tape; comprimento máximo da lateral para uma variação de vazão preestabelecida; perda de carga ao longo da linha lateral; fator de redução de perda de carga, diâmetro interno nas pressões de 20 a 80 kPa; e pressão de ruptura da parede do tubo.



**FIGURA 07: Linha Lateral com Tape SANTENO I.**  
Fonte Sistema de Irrigação Santeno.



**FIGURA 08: Linha lateral com tape SANTENO II.**  
Fonte: Sistema de Irrigação SANTENO.

Para avaliação dos orifícios, a vazão foi obtida pelo método gravimétrico, onde foram utilizados como coletores, recipientes cilíndricos de PVC, com capacidade para 1076 ml. A pesagem dos recipientes foram feitas em balança eletrônica, com precisão de 0,1g. Na determinação do coeficiente de uniformidade da vazão e perda de carga, o volume foi coletado em bandejas retangulares, com comprimento de 47,0 cm, largura de 31,0 cm e altura de 7,0 cm.



**FIGURA 09: Distribuição dos Coletores na Linha Lateral com Tape SANTENO**

### 3.1 Avaliação dos Orifícios

Este ensaio teve como objetivo determinar uma equação que relacione a vazão com a pressão nos orifícios e avaliar as variações que ocorrem na vazão entre emissores em virtude de diferenças inerentes ao processo de perfuração e o coeficiente de descarga dos orifícios.

Os testes foram executados de acordo com as normas da ABNT (1986)- Associação Brasileira de Normas Técnicas - PNB 12:02-08-021, os quais foram realizados em laboratório, onde o sistema foi montado sobre tijolos à uma altura de 20 cm acima do solo e de maneira invertida, de modo a facilitar a coleta dos volumes. Foram utilizados quatro segmentos de 11 metros de tape SANTENO II, escolhidos e cortados aleatoriamente, totalizando 36 emissores (pares de orifícios).

O tempo de duração para cada coleta foi de 5 minutos, tempo suficiente para coletar volume superior a 200ml, valor mínimo recomendado pela ABNT (1986), cronometrados com precisão de décimos de segundos. Após a coleta, os recipientes foram pesados em balança eletrônica com precisão de 0.1g. Em seguida, os dados foram transformados em unidades de volume.

Os emissores foram submetidos as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa, recomendadas pelo fabricante, sendo realizados três repetições.

As pressões necessárias no teste foram obtidas e reguladas por meio de registros manuais, e lida através do manômetro de mercúrio.

A Vazão de cada emissor foi obtida calculando-se a média aritmética das três repetições, e, por meio de análise de regressão ajustou-se a equação 02, o que deu origem a equação característica do emissor

O coeficiente de variação de fabricação dos emissores foi obtido através dos valores da média das vazões dos emissores e desvio padrão da vazão para cada pressão recomendada pelo fabricante, conforme modelo da equação 03, proposta por Keller & Karmeli (1975).

A partir dos valores obtidos do coeficiente de variação foi possível classificar os emissores segundo a uniformidade de fabricação, de acordo com a classificação proposta pela ASAE (1988).

Os coeficientes de descarga dos orifícios foram determinados para as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa, através da equação 01, a partir dos valores das vazões médias obtidas nos ensaios descritos acima.

### 3.2- Alcance e altura do jato

Este ensaio determinou o alcance médio do jato de água, e a altura que o jato de atinge para as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa..

Os ensaios foram realizados em laboratório sem interferência do vento e seguindo as normas propostas por MERRIAM & KELLER (1978), para tubulações perfuradas e as normas da ABNT (1986).

Foram montados a nível do solo, dois sistemas com tape SANTENO 1 e SANTENO II, de 6,20 m, respectivamente, instalados entre quatro linhas de coletores, espaçados uniformemente de 20×20 cm, numa distância de 3.20 m, totalizando 120 coletores. O tempo de funcionamento de cada ensaio foi de uma hora, com três repetições para cada pressão estudada.

A pressão foi mantida através de registro de gaveta, lida por um manômetro de mercúrio. Para cada pressão, foram feitas leituras de volume de água contido em cada coletor

através do método da pesagem, em balança eletrônica com precisão de 0.1g. Em seguida as leituras de volume foram convertidas em altura de precipitação, cujo cálculo foi efetuado pela seguinte expressão:

$$P = \frac{10 * V}{A * T} \quad \text{equação 12}$$

Onde:

P= precipitação horária, em mm/h;

V= volume coletado no pluviômetro, em cm<sup>3</sup>;

A= área do pluviômetro, em cm<sup>2</sup> ; e

T= tempo de coleta, em horas.

Na determinação do alcance da precipitação utilizou-se a norma proposta pela ABNT-NBR 8988 (1985), segunda qual diz que o volume mínimo para definir o alcance do aspersor deve ser correspondente a 0.13mm/h para aspersores com vazão inferior a 0.50m<sup>3</sup>/h, podendo ser obtido por interpolação.

A altura do jato foi determinada também para as pressões 20,40,60 e 80 kPa nas distâncias pré- determinadas de 0,8, 1,6, 2,4 e 3,2 metros para o tape SANTENO II, e nas distâncias de 0,75, 1,50, 2,25 e 3,0 metros para o tape SANTENO I. As leituras das alturas foram feitas após estabilizar a pressão desejada, com uma régua graduada de metal, em três pontos de emissão diferentes, com três repetições.

### 3.3 - Diâmetro Interno e Pressão de Ruptura do Tape SANTENO

Em virtude de ser flexível, com o aumento da pressão ocorre um aumento no seu diâmetro.

Para determinar o diâmetro interno e a pressão de ruptura, foi escolhido aleatoriamente um rolo de tape SANTENO II com furos, e deste, foram cortados três segmentos de 5.0 metros. O sistema foi montado no laboratório e, para cada pressão de serviço, fez-se a medição do diâmetro externo através de um paquímetro, e, descontando-se a espessura da parede (0.24mm), obteve-se o diâmetro interno.

A pressão de ruptura da parede do tubo foi determinada aumentando-se a pressão interna do mesmo através de uma regulagem lenta e gradual no registro de gaveta e lida no manômetro de mercúrio, sendo possível visualizar o momento da ruptura do tubo.

### 3.4 - Uniformidade e Avaliação da Vazão em Função do Comprimento e da Pressões

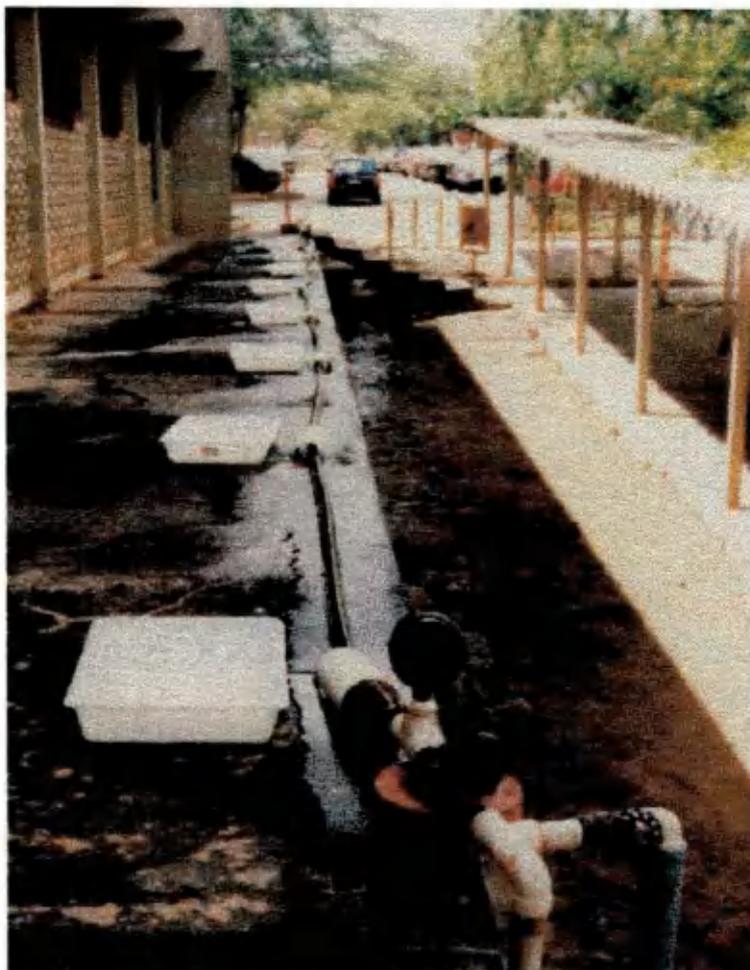
Neste ensaio avaliou-se a uniformidade e vazão em função do aumento do comprimento da linha lateral e da pressão.

Os testes foram realizados em área externa ao lado do Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem. As linhas de testes foram montadas sobre uma área plana, em nível, com comprimento de 103,0 metros.

A água utilizada nos testes foi proveniente de uma cisterna, localizada ao lado do laboratório, com capacidade para 6000 litros e bombeada para o local do ensaio. Em seguida foi filtrada em um filtro plástico de disco de 120 mesh de 1". Foram instalados manômetros de mercúrio e de vácuo no início e final dos segmentos do tape SANTENO.

A pressão necessária foi obtida através de reguladores manuais instalados no início da tubulação, antes dos manômetros de vácuo e mercúrio.

Os tapes SANTENO foram instalados de maneira invertida à nível do solo, nos comprimentos de 10, 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 m. As leituras de vazão foram feitas em seis pontos de emissão ao longo do comprimento, sendo estes múltiplos do espaçamento entre emissores sempre considerando sempre o primeiro e o último emissor. o tempo de coleta dos volumes foi de três minutos, com três repetições.



**FIGURA 10: Detalhe da Distribuição dos Coletores  
na Linha Lateral com Tape SANTENO**

O sistema foi submetido às pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa, sendo medido sempre as pressões no início e final da linha. Após a coleta, os valores de volume foram transformados em vazão, para posteriormente calcular a vazão total em função do

comprimento e das pressões recomendadas, o comprimento máximo em função da variação de vazão pré- estabelecida, a variação de vazão ao longo das linhas, e uniformidade de vazão.

A vazão por unidade de comprimento, foi obtida, multiplicando-se a vazão média por emissor (dois de pares de orifícios), pelo número total de emissores na linha e dividindo-se pelo comprimento da tubulação.

O comprimento máximo da lateral de tape SANTENO compreende a máxima dimensão que a tubulação pode ter em função da perda de carga admissível e do diâmetro interno do tubo (Azevedo, 1997). Este cálculo foi feito para uma variação de vazão de 10, 15 e 20%, o que corresponde a uma variação de pressão entre o primeiro e último emissor de 20, 30 e 40% respectivamente, através da planilha eletrônica desenvolvida por Azevedo (1997), o qual utiliza a equação de perda de carga de Hazen-Williams e os diâmetros internos calculados.

A equação que apresenta a variação entre a máxima e mínima vazão ao longo da linha lateral, foi obtida a partir da análise de regressão, para uma equação polinomial de segundo grau.

O coeficiente de uniformidade de vazão foi determinado através da equação 04 a partir dos valores de vazão obtidos nos comprimentos de tape SANTENO II e nas pressões recomendadas pelo fabricante,. Em seguida, calculou-se a média dos valores do CUC, em %.

### 3.5- Cálculo da Perda de Carga

O experimento para determinação da perda de carga contínua foi montado na área externa de frente ao Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem da UFPB, nos comprimentos de 10, 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 metros no tape SANTENO II com furos, para as pressões de 20, 40, 0 e 80 kPa.

A água utilizada nos testes foi bombeada da cisterna do laboratório, com capacidade para 6000 litros e derivada por tubulações de PVC com diâmetro de 32 mm até o início do experimento e controlada através de reguladores de pressão.

A pressão no início e final da linha foi medida através de manômetros de mercúrio e de vácuo. A vazão no tape foi coletada em seis pontos equidistantes utilizando-se bandejas retangulares de plástico, num tempo de 3 minutos, sendo feita três repetições, e, posteriormente, calculou-se a média destes valores.

A perda de carga contínua foi calculada usando-se as equações de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach e Flamant, apresentadas nas equações, 05, 06 e 09 respectivamente.

Na equação de Hazen-Williams, usou-se o valor de 144 para o coeficiente C, valor este determinado por Bernardo e Oliveira (1978). O coeficiente de atrito ( $f$ ) da fórmula Universal foi obtido por meio da fórmula de Hagen-Poiseuille (equação 07), para fluxo laminar ou pela fórmula de Blasius (equação 08), para fluxo turbulento, de acordo com o número de Reynolds verificado no início da linha lateral.

O fator de Christiansen (F), foi determinado em função do número de saídas (N), na pressão de 80 kPa para um espaçamento de 1,20 metros entre emissores (orifícios), utilizando-se a equação 11, onde para o expoente da velocidade da água (m), usou-se 1.75 para Flamant, 1,85 para Hazen-Williams, e 2,0 para a Darcy-Weisbach.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1- Avaliação dos Orifícios

Foram coletados dados de vazão de 36 orifícios para cada pressão recomendada pelo fabricante. A tabela 02 apresenta os valores médios da vazão dos orifícios (Q) e o coeficiente de variação de fabricação (CV), em cada uma das pressões a que os orifícios foram submetidos.

A partir da análise regressão dos dados de vazão “versus” pressão, obteve-se a seguinte equação:

$$q = 0.43 H^{0.56} \quad (\text{equação 13})$$

em que:

q = vazão do emissor em (l/h) para o conjunto de 02 orifícios;

H = pressão de entrada do emissor, em kPa.

O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da equação foi de 0,9991, indicando um bom ajuste do modelo potencial para descrever a relação vazão- pressão.

Dentro da faixa de pressão em que a equação 13 é válida, os orifícios operam em regime de escoamento turbulento, e o expoente de  $H$  ficou próximo de 0,5, como era de se esperar.

A representação gráfica da equação obtida encontra-se na figura 11.

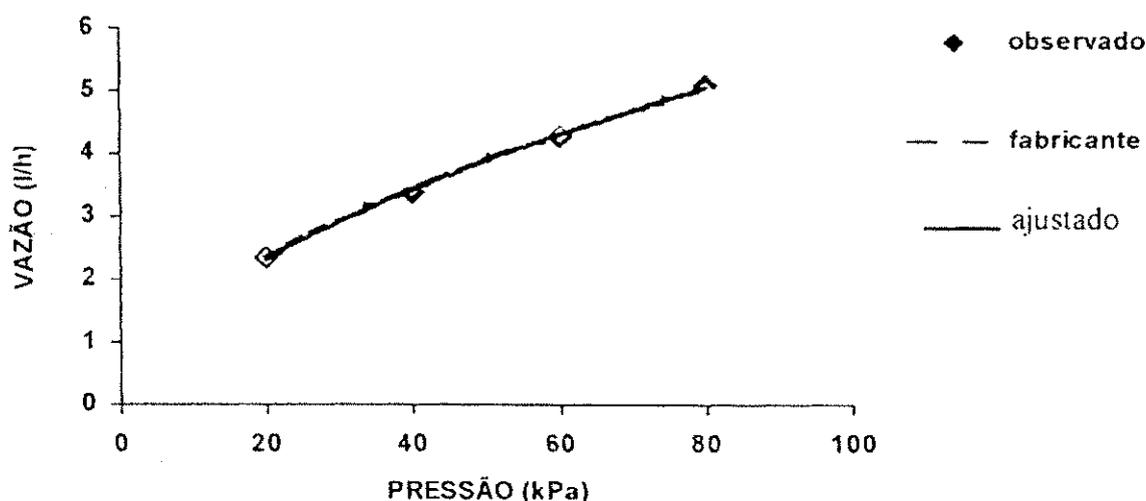


FIGURA 11: Curva da Relação Vazão – Pressão dos Emissores do Tape SANTENO II, obtido e apresentado pelo fabricante.

O catálogo do fabricante apresenta a equação potencial do emissor com o valor de  $K_d = 0,45$  e  $\alpha = 0,55$ . Observa-se na figura 11, que as curvas da relação vazão-pressão do fabricante e obtida neste trabalho se sobrepõem.

Andrade (1990), trabalhando com unidade de pressão em mca e Bonomo et al. (1998), na unidade de kPa, encontraram valores de  $K_d$  iguais a 1,6085 e 0,4748 e de  $\alpha$  0,5491 e 0,5 respectivamente para tubos perfurados de polietileno flexível, indicando o regime de escoamento como turbulento. Estes valores foram próximos aos obtidos neste trabalho. Para o tubo gotejador Queen Gil, Testezlaf & Campioni (1993), encontraram valor de  $\alpha$  igual a 0,625. Frizzone et al. (1998), avaliando as características hidráulicas do tubo

gotejador Rain-Tape TPC obteve valor de  $x$  como 0,4563. Os dois tipos de tubos gotejadores foram caracterizados como escoamento turbulento.

Os coeficientes de variação de fabricação variaram de 3,73 a 4,5% para as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa, com uma média de 4,10%, estes resultados estão apresentados na tabela 03. De acordo com a classificação proposta pela ASAE (1988), os emissores utilizados podem ser classificados como excelentes em termos de uniformidade de fabricação. Isto comprova a uniformidade na perfuração dos orifícios feitos com raio laser.

TABELA 03: Vazão Média (l/h) em Função da Pressão para os Emissores do Tape SANTENO II. com seus Respectivos Valores de Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF).

Pressão (kPa)	Vazão média (l/h)	CVF (%)
20	2,33	3,73
40	3,39	4,29
60	4,27	4,50
80	5,12	3,90
Média		4,10

Andrade (1990) e Bonomo et al.(1998), estudando as características hidráulicas de um tubo perfurado de polietileno flexível verificaram que o coeficiente de variação médio foi de 1,95 e 3,31% respectivamente, o que classifica os emissores como excelentes. Testezlaf & Campion (1993), encontraram CVF médio de 2,8% para o tubo gotejador Queen Gil, com emissores tipo labirinto, espaçados de 0,30m, indicando boa

qualidade de fabricação. Já Frizzone et al (1998), encontrou para o tubo gotejador Rain Tape TPC, CVF médio de 1,97%.

Os coeficientes de descarga dos orifícios foram determinados para as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa, através da equação 01, e os resultados obtidos estão apresentados na tabela 04. Os valores propostos por Azevedo Neto (1986), estão um pouco abaixo dos valores obtidos, porém Andrade (1990), estudando os orifícios perfurados à raio laser encontrou valores mais elevados de coeficiente de descarga.

TABELA 04: Valores de Coeficiente de Descarga (Cd) em Função da Pressão para o Orifício de 0,30mm, Perfurado à Raio Laser do Tape SANTENO II

Pressão (kPa)	Coef. de descarga
20	0,70
40	0,69
60	0,69
80	0,70
Média	0,69

#### 4.2 - Alcance e Altura do Jato

O alcance do jato de água foi determinado a partir dos dados de precipitação em função da pressão e posição dos orifícios na tubulação. Os valores estão apresentados na tabela 05.

Os perfis de distribuição obtidos indicam um aumento no alcance do jato em função do incremento na pressão, para os tapes SANTENO I e II, onde o alcance mínimo foi de 1,30 e 1,70 m, e o máximo foi de 2,50 e 3,00 m, respectivamente, para as pressões de 20 e 80 kPa, respectivamente. Observa-se que a precipitação começa a partir dos 60 cm de distância perpendicular, aumentando com a pressão. Isto significa que no campo, a lateral deve ser instalada no meio da linha de plantio ou fazendo-se sobreposição das linhas.

Os valores obtidos do alcance médio foram superiores aos indicados pelo fabricante: 2,0 m para o tape SANTENO II e 2,50m para o tape SANTENO I. Bonomo et al. (1998), estudando o tape SANTENO I, obteve um alcance médio de 2,39m e Andrade (1990), encontrou um valor médio de 2,96m no tape SANTENO II, ambos operando com a pressão de 80 kPa.

A altura do jato de água foi determinada para os tapes SANTENO I e II, onde mediu-se o alcance total, dividindo-se este, em quatro pontos equidistantes. Os valores obtidos encontram-se nas tabelas 06 e 07.

Foi observado que para o tape SANTENO II, até 1,60 metros de distância perpendicular, a água é aspergida em duas alturas diferentes, e depois, o jato é pulverizado, sendo possível medir apenas uma. No tape SANTENO I, o jato pulveriza à uma distância menor, ou seja, a 1,50 metros. Estas diferenças ocorrem devido a posição dos furos no tape serem diferentes.

TABELA 05: Valores do Alcance Médio (m) dos Tapes SANTENO I e II em Função da Pressão .

PRESSÃO (kPa)	SANTENO I	SANTENO II
20	1,30	1,70
40	2,00	2,50
60	2,30	2,70
80	2,50	3,00

TABELA 06: Valores de Altura do Jato de Água (m) em Função da Pressão para o Tape SANTENO I.

DISTÂNCIA (m)	P = 20 kPa		P = 40 kPa		P = 60 kPa		P = 80 kPa	
	H <sub>1</sub> *	H <sub>2</sub> **						
0,75	-	0,77	0,75	1,32	0,90	1,43	1,01	1,80
1,50	-	-	-	1,0	-	1,38	-	1,63
2,25	-	-	-	-	-	0,71	-	1,20
3,00	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Altura do jato de água menor (m).

\*\* Altura do jato de água maior (m).

TABELA 07: Valores de Altura do Jato de Água (m) em Função da Pressão para o Tape SANTENO II.

DISTÂNCIA (m)	P = 20 kPa		P = 40 kPa		P = 60 kPa		P = 80 kPa	
	H <sub>1</sub> *	H <sub>2</sub> **						
0,80	0,24	0,53	0,32	0,67	0,35	0,68	0,37	0,72
1,60	-	0,16	0,32	0,80	0,52	1,10	0,61	1,24
2,40	-	-	-	0,44	-	0,84	-	1,06
3,20	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Altura do jato de água menor (m).

\*\* Altura do jato de água maior (m).

#### 4.3 - Diâmetro Interno e Pressão de Ruptura do Tape

Os diâmetros internos foram obtidos medindo-se os diâmetros externos e descontando-se a espessura da parede (0,24 mm). Os resultados estão apresentados na tabela 08, e como pode-se observar, os diâmetros internos aumentam com o incremento da pressão. Isto ocorre em virtude da tubulação ser flexível. Este aumento também foi verificado por Andrade (1990), o qual, obteve valores superiores, ao estudar os tubos perfurados de polietileno flexível. O fabricante do tape apresenta valores bem próximos aos obtidos neste trabalho. Frizzone et al. (1998), determinando as características hidráulicas do tubo gotejador Rain-Tape, verificou que o aumento da pressão resultou em crescimento do diâmetro interno.

A pressão de ruptura média da parede do tubo foi de 169,30 kPa, cujo valor está dentro do intervalo indicado pelo fabricante. Testezlaf e Campioni (1993), determinaram a pressão média de ruptura da parede de polietileno do tubo gotejador Queen Gil, a qual foi igual a 383,50 kPa; eles observaram que o ponto em que mais frequentemente a tubulação se rompeu foi sobre a dobra do tubo gotejador, onde se localizava o início ou entrada do labirinto. Frizzone et al. (1998), obteve para o tubo gotejador Rain Tape TPC, uma pressão de ruptura em torno de 206,0 kPa, observando que a partir de 166,80 kPa, o tubo começou a deformar-se ao longo dos 5m e que o processo de ruptura sempre ocorre na parede do tubo e não nos locais onde são posicionados os emissores.

TABELA 08: Valores dos diâmetros Internos Observados para diferentes Pressões do Tape SANTENO II.

Pressão (kPa)	Diâmetro Interno (mm)
20	27,82
40	28,22
60	28,32
80	29,02

#### 4.4 - Uniformidade e Avaliação da Vazão em Função do Comprimento e da Pressão

A análise da uniformidade de vazão foi realizada para os comprimentos do tape SANTENO de 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 metros e pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa, coletando-se a vazão por pares de orifícios em seis pontos equidistantes, na qual utilizou-se a equação de Christiansen, muito usada na irrigação localizada e que permite a obtenção de resultados bastante confiáveis.

A tabela 09 apresenta os valores dos coeficiente de uniformidade de vazão de Christiansen, para linhas laterais do tape SANTENO: pode-se observar que estes pouco variaram com a pressão e apresentam valores excelentes.

Andrade (1990) e Bonomo et al. (1998), determinaram o CUC a partir de dados de precipitação e encontraram, respectivamente, valores médios de 75,09 e 81,6% para pressão de serviço de 80 kPa. Ambos consideram estes resultados satisfatórios para a irrigação suplementar por aspersão.

TABELA 09: Valores de Uniformidade de Vazão de Christiansen (CUC), em %.

Pressão (kPa)	CUC (%)
20	96,83
40	96,95
60	96,67
80	96,60

Os valores de vazão em l/h/m por pares de orifícios em função da pressão e do comprimento obtidos experimentalmente estão apresentados na tabela 10. Para determinação das vazões em diferentes pressões e comprimentos não testados foram ajustadas equações matemáticas polinomial de grau três a esses pontos. As equações encontradas para as respectivas pressões encontram-se na tabela 11, juntamente com os coeficientes de determinação, e os resultados estimados estão na tabela 12. Para as pressões de 20 e 40 kPa, a equação de regressão não foi significativa, já nas pressões de 60 e 80 kPa, ajuste foi significativo à nível de 1% de probabilidade.

Nas tabelas 10 e 12, observa-se que os valores de vazão aumentam com a pressão, porém diminuem com o comprimento do tape, verifica-se também que os valores obtidos experimentalmente foram bem aproximados dos valores estimados, onde as maiores diferenças ocorreram para as pressões de 40 e 80 kPa. Isto pode ter ocorrido em virtude da precisão do ajuste ter sido menor.

Comparando-se os dados de vazão obtidos experimentalmente (tabela 10) com os dados fornecidos pelo fabricante (tabela 02), observa-se que para o mesmo espaçamento entre orifícios de 1,20 metros e comprimento de 200 metros, os valores de vazão obtidos foram superiores aos valores fornecidos pelo fabricante, onde a diferença maior ocorreu para as pressões de 20 e 40 kPa, correspondendo a 19,66 e 14,11%, respectivamente. Para as pressões de 60 e 80 kPa, esta diferença diminuiu para 6,05 e 1,84%, respectivamente.

A figura 12 apresenta os valores de vazão estimados, em função da pressão e do comprimento. Nesta, observa-se que para as pressões de 20, 40 e 60 kPa a curva se apresenta quase linear, ocorrendo pouca variação da vazão em l/h/m ao longo da tubulação, o que mostra a boa uniformidade de vazão ao longo do comprimento. Na pressão de 80 kPa a curva se apresenta com maior ondulação, ocorrendo maior variação da vazão.

TABELA 10: Valores de Vazão (l/h/m), em Função da Pressão e do Comprimento do Tape SANTENO, Obtidos Experimentalmente.

Pressão (kPa)	Comprimento (m)							
	10	30	60	90	120	150	180	200
20	4,71	3,68	3,86	3,70	3,84	3,79	3,87	3,51
40	6,78	5,36	5,51	5,22	5,47	5,23	5,46	4,89
60	8,61	6,67	6,78	6,65	6,77	6,62	6,62	5,95
80	11,25	8,09	8,48	8,05	8,10	7,98	7,72	7,09

TABELA 11: Equações Polinomiais da Vazão em Função do Comprimento e da Pressão com os Respectivos Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ).

Pressão (kPa)	Equação de Regressão	$r^2$
20	$Q = 4,9687 + (-0,03953 \times L) + (0,0003797 \times L^2) + ((1,09059 \times 10^{-6}) \times L^3)$	0,8927 <sup>ns</sup>
40	$Q = 7,09742 + (-0,05839 \times L) + (0,0005594 \times L^2) + ((-1,61048 \times 10^{-6}) \times L^3)$	0,8141 <sup>ns</sup>
60	$Q = 9,0347 + (-0,08037 \times L) + (0,0007862 \times L^2) + ((-2,3111 \times 10^{-6}) \times L^3)$	0,8530*
80	$Q = 11,7773 + (0,11722 \times L) + (0,001098 \times L^2) + ((3,1618 \times 10^{-6}) \times L^3)$	0,8325*

Q = vazão, em l/h.m ; L= comprimento do tape, em metros;

\* = significativo à nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo.

TABELA 12: Valores de vazão estimados (l/h/m) em função da pressão e do comprimento do Tape SANTENO.

Comprimento (m)	Pressão ( kPa )			
	20	40	60	80
10	4,61	6,57	8,31	10,71
20	4,32	6,14	7,72	9,85
30	4,09	5,81	6,92	9,16
40	3,92	5,55	6,93	8,64
50	3,80	5,37	6,69	8,27
60	3,73	5,26	6,54	8,01
70	3,69	5,20	6,47	7,87
80	3,68	5,18	6,45	7,81
90	3,69	5,20	6,48	7,81
100	3,72	5,24	6,55	7,87
110	3,76	5,30	6,63	7,96
120	3,81	5,36	6,72	8,06
130	3,85	5,42	6,79	8,14
140	3,88	5,47	6,85	8,21
150	3,90	5,49	6,87	8,22
160	3,90	5,48	6,84	8,18
170	3,86	5,43	6,74	8,05
180	3,79	5,32	6,56	7,81
190	3,68	5,15	6,29	7,45
200	3,53	4,91	5,92	6,96

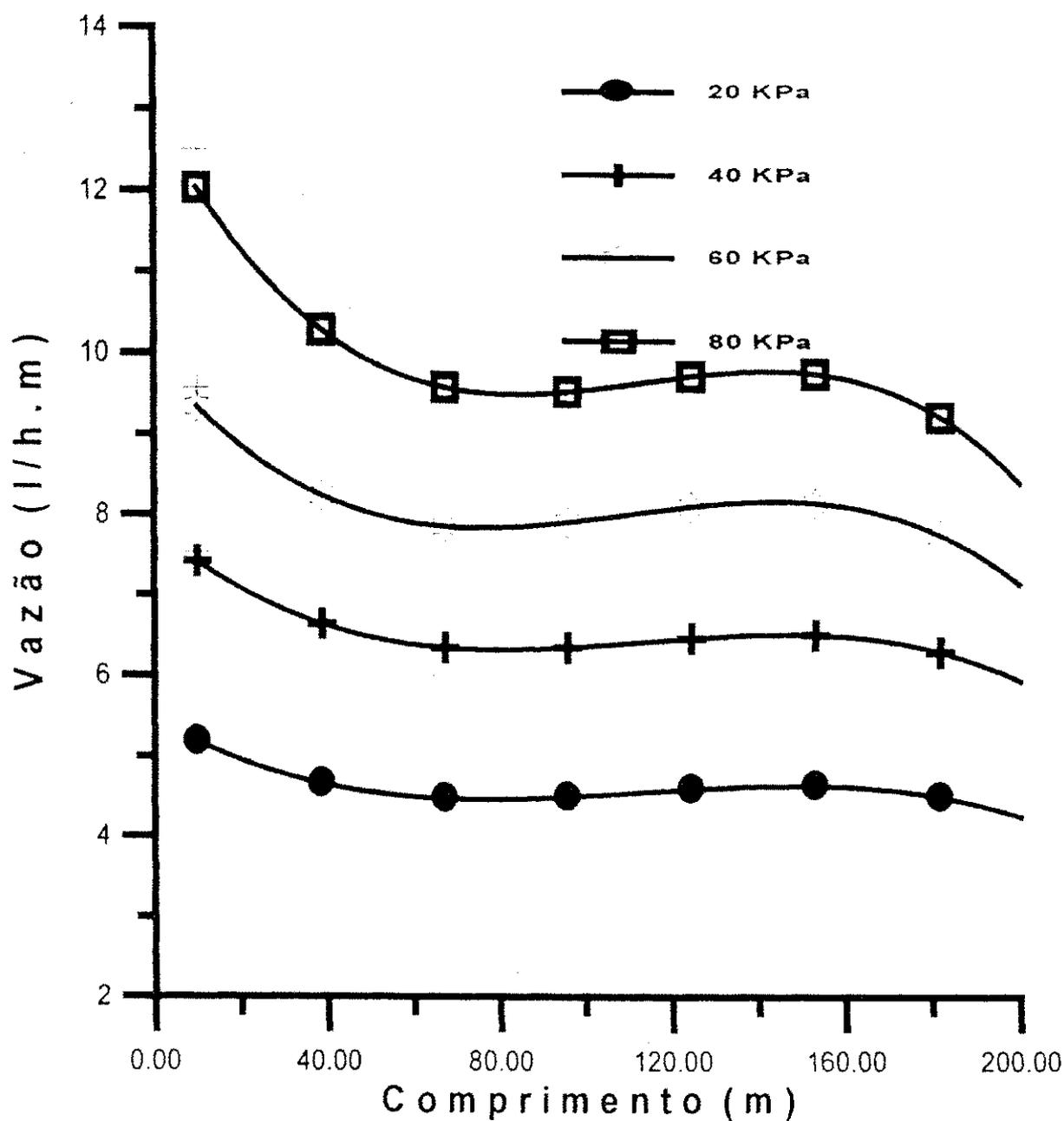


FIGURA 12: Valores de Vazão estimados em Função do Comprimento da Lateral com Tape SANTENO nas pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa.

Testezlaf e Campioni (1993), estudando o comportamento hidráulico do tubo gotejador Queen Gil, verificaram que o valor da vazão divulgado pelo fabricante para pressão recomendada de 68,40 kPa está subestimado em 18%, comparando-se com o valor obtido pela equação.

Foi ajustada através de análise de regressão, equações polinomiais de grau dois, para estimar a variação entre a máxima e mínima vazão em função do comprimento do tape SANTENO, para as pressões de 20 e 80 kPa. Estas equações estão apresentadas na tabela 13, com seus respectivos coeficientes de determinação, e a representação gráfica, encontra-se na figura 13. Nesta, observa-se que em ambos os casos a variação de vazão aumenta com o comprimento, e diminui com o acréscimo da pressão, onde a maior variação ocorreu em 200 metros, as quais corresponderam a aproximadamente 20 e 15% para 20 e 80 kPa, e a menor ocorreu em 80 metros, correspondendo a 7 e 9% para as respectivas pressões.

TABELA 13: Equações Polinomiais da Variação entre a Máxima e Mínima Vazão em Função do Comprimento do Tape SANTENO, nas Pressões de 20 e 80 kPa.

Pressão (kPa)	Equação de Regressão	$r^2$
20	$\Delta q (\%) = 12.2376 - 0.1296L + 0.0008L^2$	0,79
80	$\Delta q (\%) = 11.5843 - 0.0666L + 0.0004L^2$	0,70

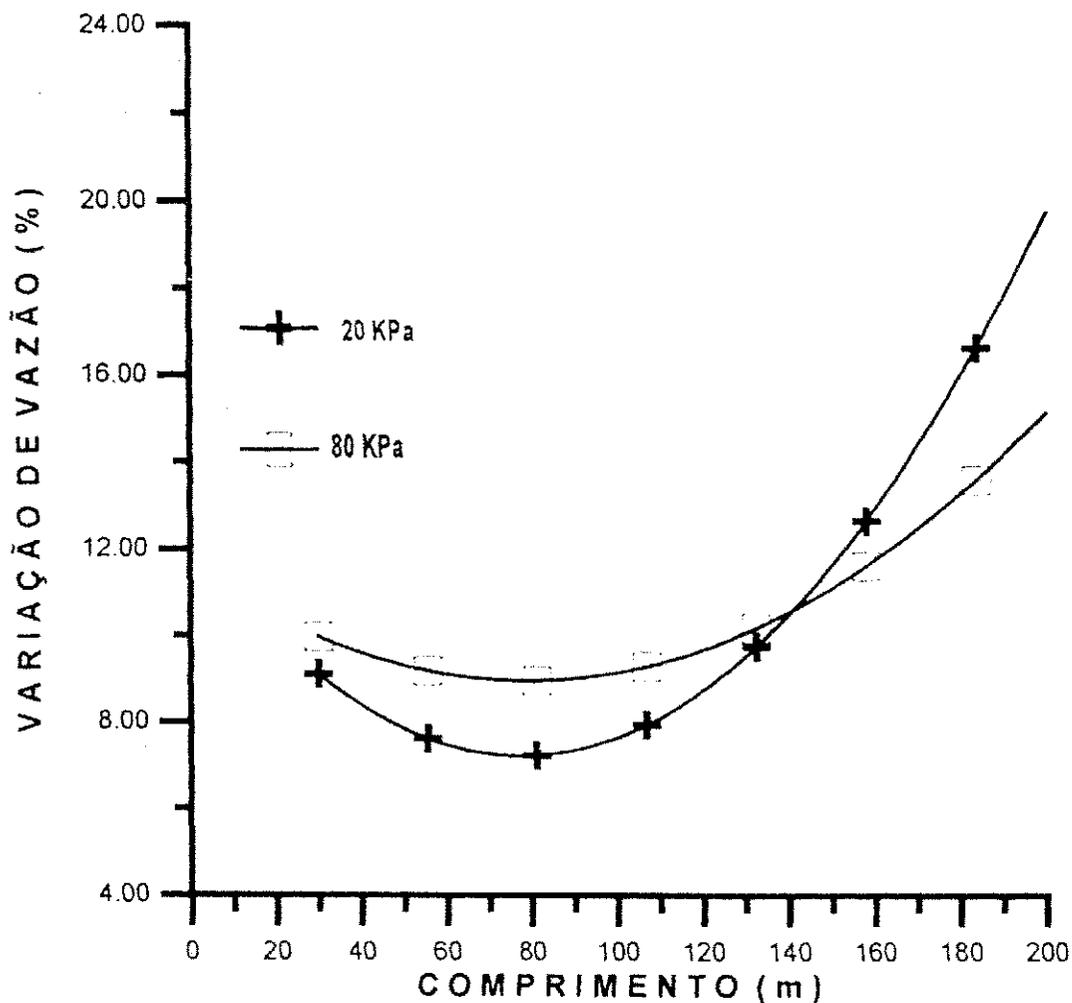


FIGURA 13: Variação entre a Máxima e Mínima Vazão em Função do Comprimento do Tape SANTENO nas Pressões de 20 e 80 kPa.

O comprimento máximo da tubulação depende do critério adotado para a variação de pressão ou vazão máxima entre o primeiro e o último emissor. Através da Planilha Eletrônica desenvolvida por AZEVEDO (1997), calculou-se o comprimento máximo da lateral com tape SANTENO, considerando uma variação de vazão pré-estabelecida de 10, 15, e 20 %, nas pressões recomendadas de 20, 40, 60 e 80 kPa. Os resultados encontram-se na tabela 14.

Para 10% de variação de vazão, o comprimento máximo determinado para a lateral é de 160,80 metros, adotando-se uma variação de 15% o comprimento máximo será

de 186 metros. e. para variação de vazão de 20 % o valor máximo da lateral é 208,8 metros. todos para uma pressão de 20 kPa. Na pressão ideal indicada pelo fabricante (80 kPa), para se trabalhar com o comprimento máximo do tape SANTENO que é de 200 metros, ocorrerá uma variação de vazão de aproximadamente 20 %, que corresponde a uma variação na pressão de 40%. Nota-se que o comprimento admissível da linha lateral aumenta à medida em que a pressão de serviço, também aumenta. Estes valores estão próximos dos obtidos experimentalmente e pela equação ajustada. Uma grande maioria dos autores adotam o critério de 20% de variação de vazão.

Andrade (1990), obteve comprimentos máximos para linhas laterais de tubos de polietileno flexível perfurados a raio laser, através de critérios pré- estabelecidos de variação de pressão, os quais foram iguais a 54,45 m para a pressão de 20 kPa e variação de 10% e 97,80 m, para pressão de 100 kPa e variação de 40%.

Testezlaf e Campioni (1993), na pressão de 68,40 kPa estimou que a variação de vazão de 5% em uma lateral com tubo gotejador Queem Gil, ocorrerá a 33m do início da linha, enquanto que a variação de 10% acontecerá a uma distância de aproximadamente 75m. No comprimento de 100 metros a variação de vazão estimada foi de 13%, isto significa que apesar do emissor ser sensível à mudança de pressão, o tubo de polietileno apresentou baixos valores de perda de carga, para este comprimento.

Frizzone et al. (1998), encontrou comprimentos máximos de linha lateral com tubo gotejador Rain Tape TPC, variando de 13,20 a 193,20m, para uma variação de vazão na ordem de 10 a 20%.

Ullmann et al. (1997), determinou o comprimento máximo de uma linha lateral de irrigação por tubos perfurados de PVC Irriga EP 2”(DN 50), com orifícios de 1,50 mm de diâmetro, pelo critério da máxima perda de carga admissível (20 % da pressão de

serviço) para as pressões de 50, 100, 150 e 200 kPa, e obteve os valores de 46,5, 50,0, 51,6 e 53,0m, para as respectivas pressões.

No sistema irrigação com xiquexique, Azevedo (1984), determinou que o comprimento máximo da lateral pode variar de 24 a 220 m para os diâmetros variando de 9,52 a 19,05 mm e espaçamento entre emissores de 2 a 10 m.

TABELA 14: Valores do Comprimento Máximo da Linha Lateral com Tape SANTENO (m) em Função da Variação de Vazão Pré- Estabelecida .

Pressão	Variação de Vazão (%)		
	10	15	20
20	160,80	186,00	208,80
40	158,40	184,80	206,40
60	158,40	182,40	204,00
80	156,00	182,40	204,00

#### 4.5 - Perda de Carga

Foi calculado o coeficiente de Christiansen para as equações de Flamant, Darcy-Weisbach e Hazen – Williams, estes valores estão apresentados na tabela 15, nesta pode-se observar que o valor de F diminui com o número de saídas.

TABELA 15: Valores do Fator (F) de Chistiansen em Função do Exponente da Velocidade (m) para as Equações de Flamant (Flam), Darcy-Weisbach (DW) e Hazen-Williams (HW) e do Número de Sidas (N).

m (Flam)	m (H-W)	m (DW)	N	F (Flam)	F (H-W)	F (DW)
1,75	1,85	2,00	1	1,008	1,005	1,000
1,75	1,85	2,00	2	0,650	0,639	0,625
1,75	1,85	2,00	3	0,546	0,535	0,519
1,75	1,85	2,00	4	0,498	0,485	0,469
1,75	1,85	2,00	5	0,469	0,457	0,440
1,75	1,85	2,00	6	0,451	0,438	0,421
1,75	1,85	2,00	7	0,438	0,425	0,408
1,75	1,85	2,00	8	0,428	0,416	0,398
1,75	1,85	2,00	9	0,421	0,408	0,391
1,75	1,85	2,00	10	0,415	0,402	0,385
1,75	1,85	2,00	12	0,406	0,394	0,376
1,75	1,85	2,00	14	0,400	0,387	0,370
1,75	1,85	2,00	16	0,395	0,383	0,365
1,75	1,85	2,00	18	0,392	0,379	0,362
1,75	1,85	2,00	20	0,389	0,376	0,359
1,75	1,85	2,00	22	0,387	0,374	0,356
1,75	1,85	2,00	23	0,386	0,373	0,355
1,75	1,85	2,00	24	0,385	0,372	0,354
1,75	1,85	2,00	25	0,384	0,371	0,354
1,75	1,85	2,00	26	0,383	0,370	0,353
1,75	1,85	2,00	28	0,382	0,369	0,351
1,75	1,85	2,00	30	0,380	0,368	0,350
1,75	1,85	2,00	32	0,379	0,367	0,349
1,75	1,85	2,00	34	0,378	0,366	0,348
1,75	1,85	2,00	36	0,378	0,365	0,347
1,75	1,85	2,00	38	0,377	0,364	0,347
1,75	1,85	2,00	40	0,376	0,363	0,346
1,75	1,85	2,00	45	0,375	0,362	0,345
1,75	1,85	2,00	50	0,374	0,361	0,343

Continuação da tabela 15.

m (Flam)	m (H-W)	m (DW)	N	F (Flam)	F (H-W)	F (DW)
1,75	1,85	2,00	55	0,373	0,360	0,342
1,75	1,85	2,00	60	0,372	0,359	0,342
1,75	1,85	2,00	65	0,371	0,359	0,341
1,75	1,85	2,00	70	0,371	0,358	0,341
1,75	1,85	2,00	75	0,370	0,358	0,340
1,75	1,85	2,00	80	0,370	0,357	0,340
1,75	1,85	2,00	85	0,370	0,357	0,339
1,75	1,85	2,00	90	0,369	0,356	0,339
1,75	1,85	2,00	95	0,369	0,356	0,339
1,75	1,85	2,00	100	0,369	0,356	0,338
1,75	1,85	2,00	105	0,368	0,356	0,338
1,75	1,85	2,00	110	0,368	0,355	0,338
1,75	1,85	2,00	115	0,368	0,355	0,338
1,75	1,85	2,00	120	0,368	0,355	0,338
1,75	1,85	2,00	125	0,368	0,355	0,337
1,75	1,85	2,00	130	0,367	0,355	0,337
1,75	1,85	2,00	135	0,367	0,355	0,337
1,75	1,85	2,00	140	0,367	0,354	0,337
1,75	1,85	2,00	145	0,367	0,354	0,337
1,75	1,85	2,00	150	0,367	0,354	0,337
1,75	1,85	2,00	155	0,367	0,354	0,337
1,75	1,85	2,00	160	0,367	0,354	0,336
1,75	1,85	2,00	165	0,367	0,354	0,336
1,75	1,85	2,00	167	0,367	0,354	0,336
1,75	1,85	2,00	180	0,366	0,354	0,336
1,75	1,85	2,00	185	0,366	0,354	0,336
1,75	1,85	2,00	190	0,366	0,354	0,336
1,75	1,85	2,00	195	0,366	0,353	0,336
1,75	1,85	2,00	200	0,366	0,353	0,336

Para determinar a perda de carga do tape SANTENO em função do comprimento e da pressão de entrada foram utilizadas as equações de Flamant, Darcy-Weisbach e Hazen-Williams.

Na determinação do coeficiente de atrito ( $f$ ) da equação de Darcy-Weisbach, usou-se a equação de Hagen-Poiseuille em regime de escoamento laminar e Blasius para escoamento turbulento.

Nas tabelas 16, 17, 18 e 19 estão apresentados os valores de vazão no início da linha, os números de Reynolds e os respectivos valores de perda de carga em função do comprimento para as três fórmulas utilizadas. Nestas observa-se que no comprimento de 10 metros, o regime de escoamento se apresenta laminar, para as quatro pressões utilizadas. No comprimento de 30 metros, o regime de escoamento se apresenta laminar para a pressão de 20 kPa e para as demais se apresenta com escoamento em transição. Para os demais comprimentos, com exceção de 60 metros, que apresentou escoamento em transição na pressão de 20 kPa, operaram com regime de escoamento turbulento nas quatro pressões.

O tape SANTENO apresenta baixos valores de perda de carga, o torna uma vantagem deste sistema. Os menores valores, ocorreram sempre no comprimento de 10m, para as quatro pressões utilizadas e obtidas pela equação de Hazen-Williams, correspondendo a 0,0015, 0,0028, 0,0043 e 0,0063 m/100m para as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa, respectivamente. As maiores perdas ocorreram em 200m, obtidas pela equação de Darcy-Weisbach, as quais corresponderam a 0,2409, 0,4027, 0,5579 e 0,6755 m/100m para as respectivas pressões.

Entre as três equações utilizadas, a de Hazen- Williams apresentou menores valores de perda de carga contínua, isto pode ter ocorrido, em virtude do coeficiente de rugosidade utilizado ser tabelado, e não calculado. Gonçalves (1988), determinou a perda de carga contínua em linhas laterais para irrigação localizada com tubo de polietileno perfurado através das equações de Flamant, Fair-Whipple-Hsiao, Darcy-Weisbach e Hazen-Williams, e concluiu que Flamant e Fair-Whipple-Hsiao apresentaram melhores resultados do que de Darcy-Weisbach e a de Hazen- Williams para a maioria dos testes.

TABELA 16: Valores de Perda de Carga (m/100m) em Função do Comprimento através das Equações de Flamant (F), Darcy-Weisbach (DW) e Hazen-Williams (HW) na Pressão de 20 kPa para o Tape SANTENO.

Comprimento (m)	Nº de emissores	Vazão ( $\times 10^5 \text{ m}^3/\text{s}$ )	Nº de Reynolds	$H_f$ (F) (m/100m)	$H_f$ (DW) (m/100m)	$H_f$ (HW) (m/100m)
10	9	1,31	592,182	0,00242	0,00358	0,00154
30	25	3,23	1462,527	0,01072	0,00884	0,00817
60	50	6,43	2912,473	0,03485	0,02413	0,02924
90	75	9,25	4189,432	0,06525	0,06515	0,05728
120	100	12,80	5799,784	0,11476	0,11511	0,10455
150	120	15,79	7155,374	0,16529	0,16624	0,15420
180	150	19,33	8756,291	0,23491	0,23670	0,22404
200	167	19,53	8827,582	0,23881	0,24092	0,22826

TABELA 17: Valores de Perda de Carga (m/100m) em Função do Comprimento através das Equações de Flamant (F), Darcy-Weisbach (DW) e Hazen-Williams (HW) na Pressão de 40 kPa para o Tape SANTENO.

Comprimento (m)	Nº de emissores	Vazão ( $\times 10^5 \text{ m}^3/\text{s}$ )	Nº de Reynolds	$H_f$ (F) (m/100m)	$H_f$ (DW) (m/100m)	$H_f$ (HW) (m/100m)
10	9	1,88	840,521	0,00427	0,00487	0,00281
30	25	4,55	2.030,918	0,01825	0,00828	0,01437
60	50	9,18	4.099,043	0,06072	0,06008	0,05269
90	75	13,04	5.822,998	0,11123	0,11105	0,10088
120	100	18,22	8.136,074	0,19881	0,19942	0,18732
150	120	21,81	9.736,003	0,27146	0,27302	0,26110
180	150	27,29	12.185,51	0,40130	0,40435	0,39547
200	167	27,23	12.158,10	0,39938	0,40276	0,39383

TABELA 18: Valores de Perda de Carga (m/100m) em Função do Comprimento através das Equações de Flamant (F), Darcy-Weisbach (DW) e Hazen-Williams (HW) na Pressão de 60 kPa para o Tape SANTENO.

Comprimento (m)	Nº de emissores	Vazão ( $\times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ )	Nº de Reynolds	$H_f(F)$ (m/100m)	$H_f(DW)$ (m/100m)	$H_f(HW)$ (m/100m)
10	9	2,39	1.064,459	0,00639	0,00610	0,00430
30	25	5,55	2.471,751	0,02565	0,01433	0,02045
60	50	13,31	5.030,014	0,08595	0,08505	0,07613
90	75	16,62	7.396,716	0,16726	0,16701	0,15537
120	100	22,55	10.035,31	0,28398	0,28484	0,27321
150	120	27,57	12.266,07	0,40240	0,40473	0,39607
180	150	33,08	14.719,28	0,55263	0,55684	0,55495
200	167	33,12	14.736,34	0,55325	0,55797	0,55614

TABELA 19: Valores de Perda de Carga (m/100m) em Função do Comprimento através das Equações de Flamant (F), Darcy-Weisbach (DW) e Hazen-Williams (HW) na Pressão de 80 kPa para o Tape SANTENO.

Comprimento (m)	Nº de emissores	Vazão ( $\times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ )	Nº de Reynolds	$H_f(F)$ (m/100m)	$H_f(DW)$ (m/100m)	$H_f(HW)$ (m/100m)
10	9	3,12	1.356,822	0,00908	0,00723	0,00626
30	25	6,75	2.930,737	0,03188	0,02164	0,02603
60	50	14,13	6.132,839	0,11301	0,11182	0,10205
90	75	21,13	8.737,939	0,20808	0,20777	0,19645
120	100	27,00	11.722,95	0,34643	0,34748	0,33834
150	120	33,26	14.442,63	0,49773	0,50061	0,49772
180	150	38,58	16.752,24	0,64410	0,64899	0,65490
200	167	39,48	17.140,23	0,66982	0,67553	0,68324

As figuras 14, 15, 16 e 17 apresentam as curvas correspondentes às equações de Flamant, Darcy-Weisbach, Hazen-Williams e, indicada pelo fabricante, para as pressões de 20, 40, 60 e 80 kPa. Nestas, observa-se que as equações de Flamant e Darcy-Weisbach dão origem a valores muito próximos, onde no gráfico não é possível distinguir uma curva da outra, ou seja, ocorre uma sobreposição das linhas.

Na pressão de 20 kPa (figura 15), para uma vazão na tubulação em torno de 250 l/h, os valores de perda de carga obtidos pela equação de Darcy-Weisbach foram menores que os valores de Flamant, a partir daí, os valores são bem aproximados, onde no gráfico as curvas se sobrepõem. Os valores fornecidos pelo fabricante, (figura 01) foram menores que Flamant e Darcy-Weisbach e maiores que Hazen-Williams, que gerou valores menores às duas equações estudadas, e do catálogo do fabricante. O fabricante apresenta o gráfico da perda de carga a partir da vazão de 300 l/h.

Para pressão de 40 kPa (figura 16), e vazão abaixo de 160 l/h, os resultados obtidos pela equação de Darcy-Weisbach foram inferiores aos das outras equações. Acima desta, Flamant e Darcy-Weisbach dão origem a valores bem próximos, não sendo possível distinguir no gráfico uma curva da outra, porém, Hazen-Williams apresenta valores menores. Para vazão acima de 500 l/h, os valores fornecidos pelo fabricante foram superiores às três equações utilizadas. O mesmo comportamento aconteceu com a pressão de 60 kPa (figura 17).

Na pressão de 80 kPa (figura 18), a equação de Flamant deu origem a resultados superiores aos obtidos pelas equações de Darcy-Weisbach e Hazen-Williams até uma vazão em torno de 250 l/h. Observa-se que para vazões acima de 1100 l/h, as perdas de carga aumentam, onde os valores obtidos pelas três equações se aproximam bastante, não sendo possível visualizar no gráfico, esta diferença. Os valores fornecidos pelo fabricante são superiores aos resultados obtidos pelas três equações utilizadas.

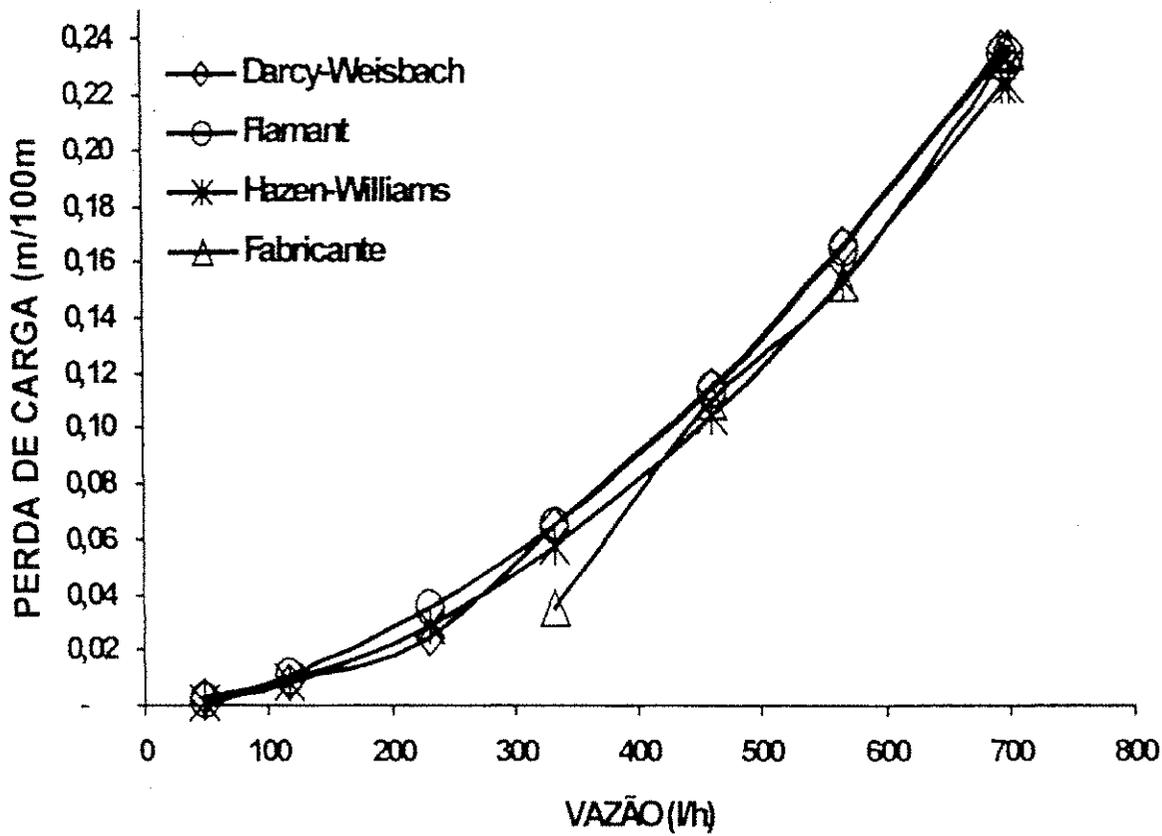


FIGURA 14: Perda de carga em função da vazão para linha lateral com tape SANTENO na pressão de serviço de 20 kPa.

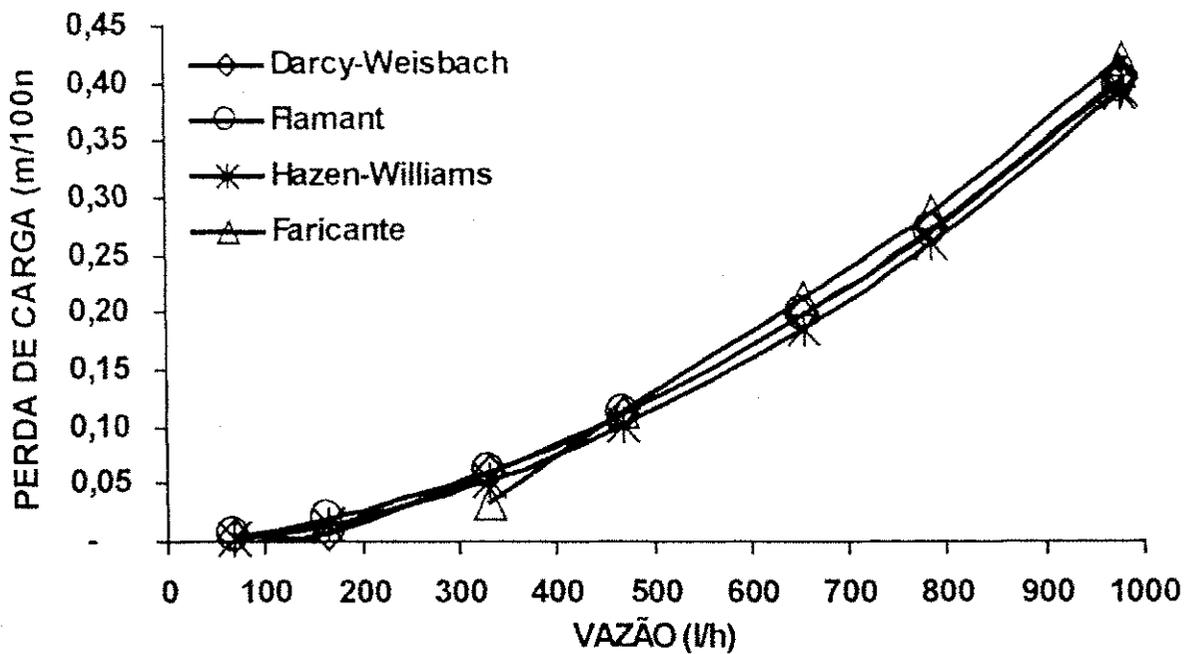


FIGURA 15: Perda de carga em função da vazão para linha lateral com tape SANTENO na pressão de serviço de 40 kPa.

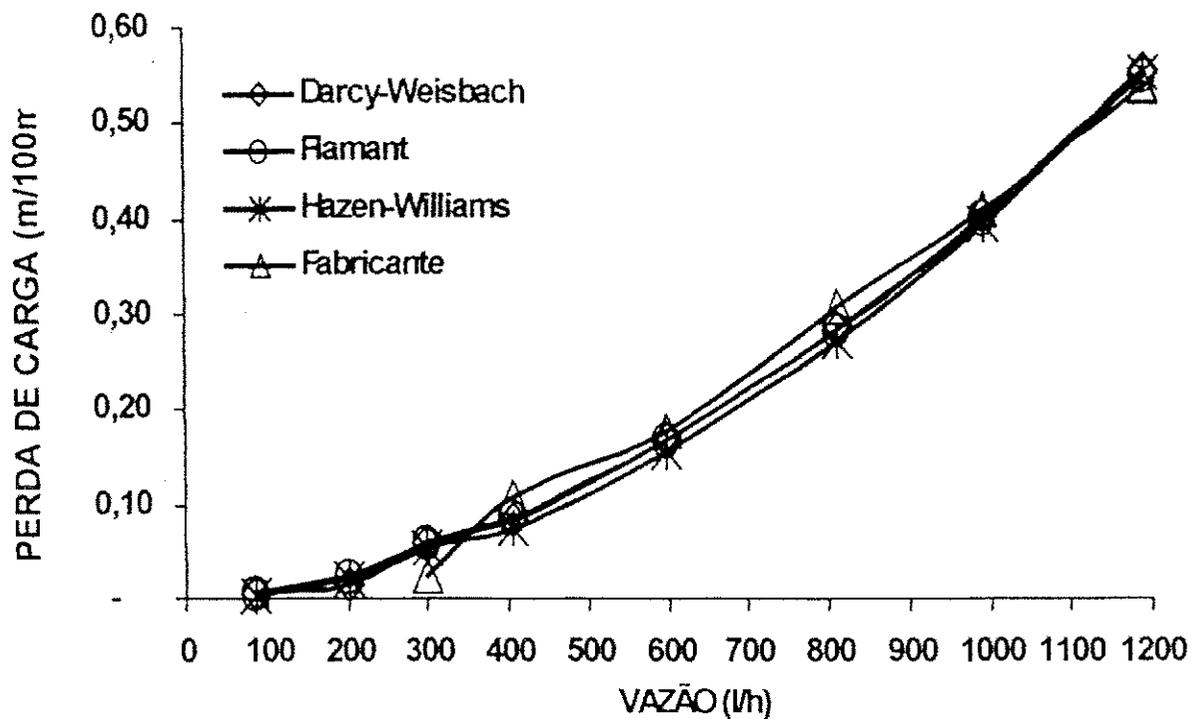


FIGURA 16: Perda de carga em função da vazão para linha lateral com tape SANTENO na pressão de serviço de 60 kPa.

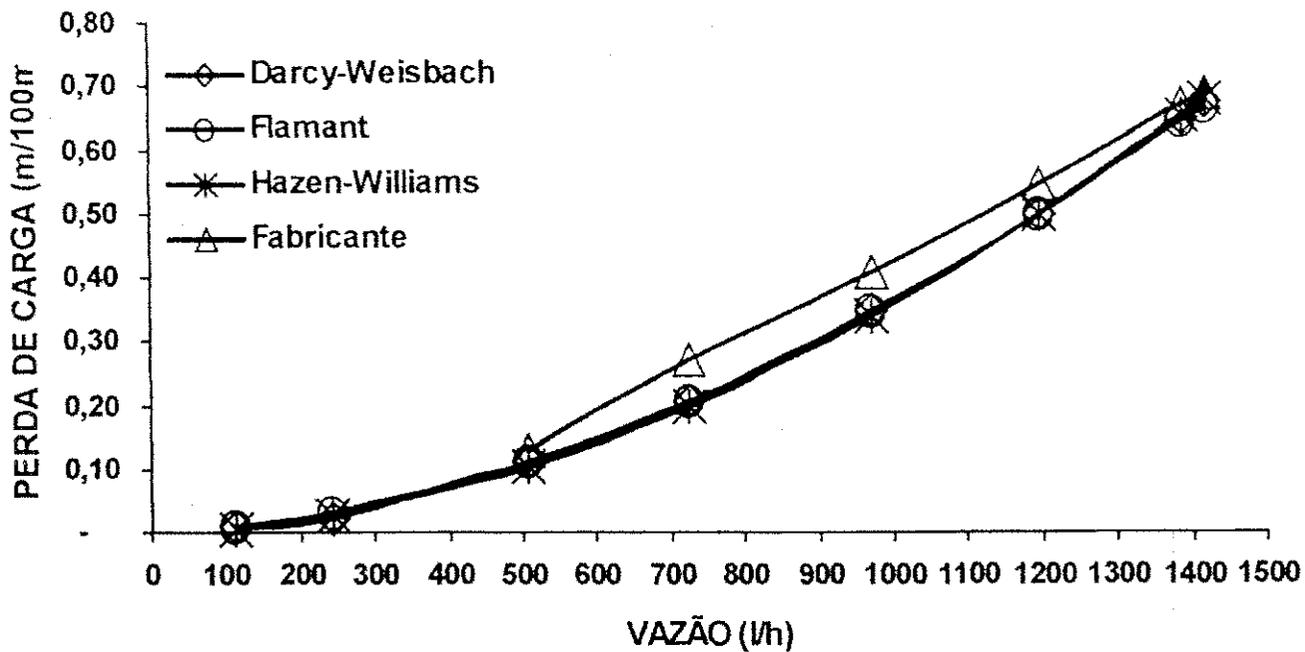


FIGURA 17: Perda de carga em função da vazão para linha lateral com tape SANTENO na pressão de serviço de 80 kPa.

Observa-se nas figuras 14 a 17 que, com aumento da pressão a vazão ao longo da tubulação aumenta, e conseqüentemente as perdas de carga também aumentam.

Bernardo (1995), estudando características hidráulicas de tubulações de polietileno flexível, sem orifícios, com  $C=144$ , diâmetro interno de 25,40 mm, e vazão total de 1400 l/h encontrou uma perda de carga de 3,10 m/100m, porém se multiplicar este valor pelo fator F, para 167 saídas, a perda de carga contínua será de 1,04 m/100m. Cabello (1996), encontrou para polietileno com mesma vazão e diâmetro interno de 28 mm, uma perda de 2,0m/100m, em uma tubulação com 167 saídas, a perda de carga contínua será de 0,672 m/100m. Este valor está bem próximo ao obtido para a lateral com tape SANTENO de 200 metros e vazão média de 1421,28 l/h.

Andrade (1990), em 60 m de tubos de polietileno flexível sem orifícios, na pressão de 8,0 mca, obteve uma perda de carga de 9,78 m/100m. Considerando um espaçamento entre orifícios de 1,20 m, em 60 m haverá 50 saídas, portanto, a perda de carga contínua, em função deste número de saídas será de 3,35 m/100m. Este valor foi superior ao encontrado para a lateral com 60 m com tape SANTENO, na pressão de 80 kPa.

Mello e Carvalho (1998), comparando a equação proposta para cálculo da perda de carga, em regime de escoamento turbulento liso para tubos de PVC e polietileno de pequeno diâmetro, com as equações de Darcy-Weisbach e Hazen-Williams, observaram não haver praticamente diferenças entre as três equações para nenhum dos diâmetros internos testados; isto ocorreu devido à semelhança da equação de Hazen-Williams, para um coeficiente  $C = 140$ , com a equação proposta e a equação de Darcy-Weisbach.

Frizzone et al (1998), calculou a perda de carga em linhas laterais com tubo gotejador Rain Tape TPC experimentalmente, por equações ajustadas via análise de regressão e pela equação de Darcy-Weisbach, com  $f$  determinado pela equação de Blasius e

diâmetro corrigido em função da pressão e verificou não haver diferença significativa entre as três.

Oliveira et al.(1993), calculou perda de carga em linhas laterais de diâmetro nominal de 12mm, com microaspersão através das equações de Darcy-Weisbach, Hazen – Williams, e medida em campo, e observou que os valores pouco diferiram uns dos outros.

Faria (1990), determinou a perda de carga ao longo de uma linha do gotejador “in line 64” com 140 metros, diâmetro nominal de 16,0 mm e espaçamento entre emissores de 1,25 metros, igual a 3,07 m/100m. Gonçalves (1988), encontrou para tubos de polietileno da marca CIPLA, perfurado manualmente, com diâmetro nominal de 19,0mm, pressão de 8,0 mca, e 20 orifícios numa de tubulação de 20 metros, uma perda de 0,21m/100m. A lateral com tape SANTENO com 25 orifícios apresenta aproximadamente os mesmos valores.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, chegou-se as seguintes conclusões:

1. A equação característica de vazão-pressão para os emissores do tape SANTENO ajustou-se a um modelo potencial, com  $r^2 = 0,99$ .
2. Os coeficientes de variação de fabricação dos emissores foram classificados como excelentes, conforme a norma americana ASAE (1988). Isto comprova a uniformidade na perfuração dos orifícios feitos com raio laser.
3. A uniformidade média de vazão estimada nos tapes SANTENO, foi de 96,76%, não sendo influenciada pela variação de pressão.
4. Os alcances do jato de água variaram em função da pressão e do tipo do tubo, sendo menor para o tape SANTENO I, e maior para o tape SANTENO II. Já as alturas do jato de água encontradas para o tape SANTENO I, foram maior que para o tape SANTENO II.
5. A pressão influenciou no diâmetro interno do tape SANTENO, variando de 27,82 a 29,02 mm quando a pressão variou de 20 a 80 kPa, e a pressão de ruptura da parede do tubo foi de 169,30 kPa.

6. Os valores de vazão obtidos para as pressões de 20 a 80 kPa, e comprimento de 200m, foram superiores aos divulgados pelo fabricante.

7. Para pressão recomendada pelo fabricante de 80 kPa, estimou-se que comprimentos máximos calculados, de acordo com os critérios pré-estabelecidos de variação de vazão de 10, 15 e 20 % foram de 156, 182,4 e 204 m, respectivamente.

8. A lateral com tape SANTENO apresentou baixos valores de perda de carga contínua comparados, o que resulta numa vantagem deste sistema.

9. As equações de Flamant e Darcy-Wiesbach utilizadas para o cálculo de perda de carga ao longo da linha lateral apresentaram valores bem próximos, já a equação de Hazen-Williams apresentou valores inferiores comparados às duas anteriores.

10. Observa-se nas figuras 14 a 17, que as diferenças entre os valores de perda de carga obtidos pelas três equações, diminuem quando a pressão aumenta.

11. Os resultados obtidos neste trabalho foram semelhantes aos fornecidos pelo catálogo do fabricante, indicando confiabilidade dos dados publicados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - PROJETO 12:02.08.21. Emissores para Irrigação Localizada - Avaliação de Características Operacionais. São Paulo, SP. Abril, 1986. 6p.
- ABNT- Aspersores para Irrigação- Avaliação das Características Operacionais, NBR 8988. São Paulo, 1985. 9p.
- ASAE. Design and Installtion of Microirrigation Systems. ASAE Engineering Practice 458. 1. St: Joseph, MI:ASAE. 1988.
- ABREU, J. M. H.; LOPES, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. El riego localizado. Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias. Madrid,1987, 317p.
- ANDRADE, Dirceu Vilela de. Avaliação Hidráulica de Tubos Flexíveis de Polietileno Perfurados a laser utilizados na irrigação. Piracicaba,1990, 147p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- ARMONI, S. Micro-sprinkler irrigation. Kibuts Dan, Dan sprinklers, Israel, 1986, 91p.
- ASSY, T. M. O emprego da fórmula universal de perda de carga e as limitações das fórmulas empíricas. São Paulo, CETESB, 1977. 64p.
- ÁVILA, G.S. Hidráulica Geral. México, Editorial Limusa S A, 1974. 551p. Vol.1.
- AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. Informe Agropecuário, Belo Horizonte-MG. n.139,p. 40-53, 1986.

- AZEVEDO, H.M. & C. A.V. Planilha eletrônica para tomada de decisões na definição de parâmetros de projeto de irrigação localizada. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais (CD), Campina Grande – PB, UFPB, 1997.
- AZEVEDO, C.A. V. de. Processos Analíticos e Gráficos para Dimensionamento de Laterais e Terciárias no Sistema de Irrigação Localizada com Tubos Perfurados. Sistema Xiquexique. Campina Grande, 1984. 204 p. (Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba).
- AZEVEDO NETTO, J.M. de & ALVAREZ, G. A. Manual de Hidráulica. 7. Ed. São Paulo, Edgar Blucher, 1986. 2v.
- BENAMI, A.; OFEN, A. Irrigation engineering. IESP, Haifa, Israel. 1984.
- BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 6ª ed. Viçosa. U.F.V. Imprensa Universitária, 1995. 657p.
- BOHNENBERGER, J.C. & MESSIAS, J.A. Tabela de perda de carga unitária. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1984. 44p.
- BONOMO, R.; GOMES FILHO, R.R.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Caracterização Hidráulica de tubos perfurados flexíveis de polietileno. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, vol 17, n. 03, p. 60-69, março. 1998.
- BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. Transactions of the ASAE. Vol 24(1): 113-9, 1981.
- CABELLO, F. P.; Riegos localizados de alta frecuencia goteo, microaspersión e exudación. Madrid, Ed. Mundi-Prensa, 510 p. 1996.
- CAMP, C. R.; SADLER, E. J.; BUSSCHER, W. I. A comparison of uniformity measures of drip irrigation systems. Transactions of the ASAE. American Soc. Vol 40(4):1013-1020. Maio- 1997.

- CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLY, D.G. Methods for Evaluation Irrigation Systems. Washington, USDA/ SCS, 1956. 24p. (Agriculture Handbook, 82).
- CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkeley University of California, 1942. 124p. (Bulletin, 670).
- FARIA, D. S.; Irrigação Localizada (DSF), Olinda-PE, 1990, 42 p.
- FARIA, D. S.; PASSOS, M. B.; ONO, P.M. Manual do Projetista- Sistema de Irrigação Santeno. Salvador, 62p. 1995.
- FRIZZONE, J.A.; VIEIRA, A.T.; PAZ, V. P da S.; BROTEL, T. A. Caracterização Hidráulica de um Tubo Gotejador. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.2, n.3: 278-283. Setembro/Dezembro. 1998.
- GILLESPIE, T. A.; PHILLIPS, A. L.; WU, I. P. Drip irrigation design equations, Journal of irrigation and drainage division, v.105 (JR3), 247-257.1979.
- GONÇALVES, A. C. A. Análise da perda de carga em tubos perfurados para irrigação, pela comparação entre o conceito de vazão fictícia e a metodologia proposta por Christiansen. Viçosa, 1988. 80p. ( Mestrado- Universidade Federal de Viçosa).
- HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. Agricultural Engineering, St. Joseph, 42 (7): 354-5, 1961.
- GOMES, H. P. Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1997.390p.
- GONÇALVES, A. C. A. Análise da perda de carga em tubos perfurados para irrigação, pela comparação entre o conceito de vazão fictícia e a metodologia proposta por Christiansen. Viçosa, 1988. 80p. ( Mestrado- Universidade Federal de Viçosa).
- HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. Agricultural Engineering, St. Joseph, 42 (7): 354-5, 1961.

- HOWELL, T. A. & BARINAS, F. A. Pressure losses across trickle irrigation fittings and emitters. Transactions of the ASAE, 23 (4): 928-33, 1980.
- HOWELL, T. A.; HILLER, E. A. "Trickle irrigation lateral desing". Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol.17. n.05. 1974, p.902-908
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation desing. Rain Bird sprinkles manufacturing corp. Glendora, Califórnia, 1ª ed. 1975, 133p.
- KUWABARA, G.; MATSURA, E. E. Avaliação do comportamento Hidráulico de linhas laterais de tubos gotejadores. In: Anais do XI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Campinas- SP, 1996.
- LIMA, V. L. A. Caracterização hidráulica de tubulações laterais de microaspersão utilizando mocrotubos como dissipadores de energia. Campina Grande-PB, 1991,111p. (Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Paraíba).
- MELLO, C. R. de; CARVAHO, J. de A. Análise da equação de perda de carga de Hazen-Williams, associada aos regimes hidráulicos para tubos de PVC e polietileno de pequeno diâmetro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.2 n.3:247-252. Setembro/Dezembro 1998.
- MERRIAN, J. L. & KELLER, J. Trickler irrigation desing. Riverside, Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1978. 133 p.
- OLIVEIRA, C. A. S.; BERNARDO, S.; VIEIRA, M.; FERREIRA, P. A. Dimensionamento de linhas laterais para irrigação por gotejamento. Revista Ceres 26 (146): 341-51, 1979.
- OLIVEIRA, L. F. de; SILVA, A. M. da; FARIA, M. A. de; LIMA, L. A. Avaliação da distribuição de vazão e hidráulica de linhas laterais de um sistema de irrigação por microaspersão. Revista Engenharia Rural, Piracicaba. 4(único): 37-22, Julho/Dezembro. 1993.

- PARAQUEIMA, J. Study of some frictional characteristics of small diameter tubing for trickle irrigation lateral. Logan. 1977. 54p. (M.S. - Utah State University).
- RAMOS, M. M.; DENICULI, W. Máximo comprimento das linhas laterais de irrigação, em nível, usando o conceito de vazão fictícia. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Londrina- PR, v. 1 p.495-502, 1992.
- RODRIGO LÓPEZ, J.; HERNÁNDEZ ABREU, J. M.; PÉREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNÁNDEZ, J. F. Riego Localizado. Madrid, Ed. Mundi- Prensa, 405 p. 1992.
- SAMPAIO, F. M. A. S.; AZEVEDO, H. M.; SILVA, M. A. & AZEVEDO, C.A. V. Estudo de Uniformidade de Confecção de minijanelas para Irrigação pelo sistema Xiquexique. In: XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Rio de Janeiro- RJ, 1980.
- SILVA, J.G.F. de. Características hidráulicas de tubos de polietileno perfurado para irrigação pôr gotejamento. Viçosa – MG. 1984. 63p. (Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa).
- SILVESTRE, P. Hidráulica Geral 2 ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 1982. 316 p.
- SOLOMON, K. H. Manufacturing variation of trickle emitters. Trans. ASAE (AmSoc.Agric. Eng.), St. Joseph of the American Society of Agricultural Engineers. p. 1034-1038. 1979.
- TESTEZLAF, R.; CAMPIONI, E. Comportamento hidráulico do tubo gotejador “Queen Gil”. Revista de Engenharia Agrícola. Campinas- SP. v.(13):29-38, 1993.
- URBINA, J. Head loss characteristics of trickle irrigation hose with emitters. Logan, 1977. 54p. (M.S. - Utah State Uniserty).

- ULLMANN, M. N.; SOCCOL, O.J.; RODRIGUES, L. N. Avaliação de um Sistema de Irrigação por Tubos Perfurados. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais (CD), Campina Grande – PB, UFPB, 1997.
- VERMEIRIEN, I. & JOBLING, G. A. Localized irrigation. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1980. 203p.
- VON BERNUTH, R. D. Simple and accurate friction loss equation for plastic pipe. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, ASCE, v 116, n.2, p. 294-297, 1990.
- VON BERNUTH, R.; SOLOMON, K. H. Emitter Construction. In: *Trickle Irrigation for crop Production* (Nakayama, F. S.; Bucks, D. A ) Phoenix, Arizona, Chapter 2, p. 27-52. 1986.
- WU, I. P.; GITLIN, H. M. "Desing of dip irrigation lines". Technical Bulletin n. 96. Hawaii Agricultural Experiment Station, University of Hawaii, Honollilu, june,1974, p.23.