SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM EQUIPAMENTO
AUTOPROPELIDO DE IRRIGAÇÃO

ALBERTO COLOMBO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Irrigação e Drenagem

Piracicaba

Estado de São Paulo - Brasil

JANEIRO - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Colombo, Alberto

C718s Simulação do desempenho de um equipamento autopropelido de irrigação. Piracicaba, 1991.
120p. ilus.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Água - Distribuição espacial - Uniformidade 2.
Autopropelido - Desempenho - Simulação 3. Irrigação -
Equipamento - Comportamento I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.7

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM EQUIPAMENTO
AUTOPROPELIDO DE IRRIGAÇÃO

ALBERTO COLOMBO

Aprovada em 20.03.1991

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta	ESALQ/USP
Prof. Dr. José Antonio Frizzzone	ESALQ/USP
Prof. Dr. Roberto Testezlaf	FEAGRI/UNICAMP

Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta
Orientador

Dedico

A minha esposa Ivone

e aos meus filhos

Alberto e Fabio

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta, pela ajuda e orientação ao longo do curso de pós graduação.

Ao professor Dr. Edmar José Scaloppi pela constante colaboração nos trabalhos executados.

A Asbrasil S.A., pela colaboração concedida na realização deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo para participação no curso.

Aos colegas do Centro Nacional de Engenharia Agrícola, que contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	XI
RESUMO.....	XII
SUMMARY.....	XIV
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Uniformidade de Aplicação de Água.....	4
2.2. Representatividade dos Índices de Uniformi- dade.....	5
2.3. Modelos de Simulação da Aplicação de Água..	9
2.4. Velocidade de Deslocamento e Uniformidade de Aplicação.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Fundamentos do Método.....	18
3.2 Características do Autopropelido.....	30
3.3 Ensaio de Caracterização da Turbina.....	32
3.4 Verificação Experimental dos Esforços de Tração e da Velocidade de Deslocamento....	36
3.5 Verificação Experimental da Distribuição de Água.....	39
3.5.1 Ensaio Estacionário do Aspersor.....	39
3.5.2 Ensaio de distribuição de Água com o Autopropelido em Movimentação.....	39
3.6 Verificação Analítica da Distribuição de	

	VI
Água.....	43
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 Ensaio de Caracterização da Turbina.....	50
4.2 Verificação Experimental dos Esforços de Tração e da Velocidade de Deslocamento.....	53
4.3 Verificação do Modelo Proposto.....	60
4.3.1 Verificação do Processo de Cálculo da Velocidade.....	60
4.3.2 Verificação do Processo de Cálculo da Lâmina Aplicada.....	67
4.3.2.1 Verificação Analítica.....	67
4.3.2.2 Verificação Experimental...	69
5.CONCLUSÕES.....	79
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
7.APÊNDICE.....	87
Apêndice - 1.....	88
Apêndice - 2.....	89
Apêndice - 3.....	95
Apêndice - 4.....	103
Apêndice - 5.....	109

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Posicionamento das diferentes regiões de sobreposição na faixa irrigada de um autopropelido.....	7
FIGURA 2. Análise da uniformidade na porção central e nas extremidades da faixa irrigada por aspersores operando com diferentes ângulos de giro, em deslocamento linear (KELLER & NIR, 1986).....	8
FIGURA 3. Esquema do processo de cálculo adotado no programa de simulação da distribuição de água (ROLLAND, 1982).....	11
FIGURA 4. Esquema do processo de cálculo adotado na simulação do aspersor operando com um ângulo seco AN.....	26
FIGURA 5. Esquema do processo de cálculo adotado no programa de simulação da distribuição de água na faixa irrigada.....	28
FIGURA 6. Disposição dos instrumentos no ensaio da turbina do Chuvisco.....	34
FIGURA 7. Padrão estacionário de distribuição de água do aspersor MEC - 21, conforme determinado em ensaio.....	40
FIGURA 8. Disposição dos coletores nos ensaios de distribuição de água.....	42
FIGURA 9. Padrão estacionário de distribuição de á-	

gua do aspersor com perfil elíptico de aplicação.....	45
FIGURA 10. Cálculo da lâmina aplicada pelo aspersor de perfil elíptico em deslocamento linear	47
FIGURA 11. Torque x Rotação nos ensaios da turbina do Chuvisco, realizados com diferentes vazões.....	51
FIGURA 12. Esforço de tração com mangueira de 75 mm (3")x 100 m em terreno vegetado.....	55
FIGURA 13. Esforço de tração com mangueira de 75 mm (3")x 100 m em terreno vegetado.....	55
FIGURA 14. Esforço de tração com mangueira de 75 mm (3")x 100 m em solo nú.....	56
FIGURA 15. Esforço de tração com mangueira de 75 mm (3")x 100 m em solo nú.....	56
FIGURA 16. Esforço de tração com mangueira de 100 mm (4") x 200 m em solo nú.....	57
FIGURA 17. Esforço de tração com mangueira de 110 mm (4 3/8") x 200 m em solo nú.....	57
FIGURA 18. Velocidades observadas no ensaio 1 e previstas pelo modelo, nas mesmas condições operacionais.....	64
FIGURA 19. Velocidades observadas no ensaio 2 e previstas pelo modelo, nas mesmas condições operacionais.....	64
FIGURA 20. Velocidades observadas no ensaio 3 e previstas pelo modelo, nas mesmas condições	

operacionais.....	65
FIGURA 21. Velocidades observadas no ensaio 4 e previstas pelo modelo, nas mesmas condições operacionais.....	65
FIGURA 22. Velocidades observadas no ensaio 5 e previstas pelo modelo, nas mesmas condições operacionais.....	66
FIGURA 23. Velocidades observadas no ensaio 6 e previstas pelo modelo, nas mesmas condições operacionais.....	66
FIGURA 24. Lâminas resultantes do deslocamento linear do aspersor de perfil de aplicação elíptico, com o mecanismo setorial em giro de 360 graus.....	68
FIGURA 25. Lâminas resultantes do deslocamento linear do aspersor de perfil de aplicação elíptico, com o mecanismo setorial em giro de 270 graus.....	68
FIGURA 26. Lâminas observadas e previstas a 63 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio: 1-360 graus).....	71
FIGURA 27. Lâminas observadas e previstas a 81 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio: 1-360 graus).....	71
FIGURA 28. Lâminas observadas e previstas a 99 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio: 1-360 graus).....	72

FIGURA 29. Lâminas observadas e previstas a 123 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio: 1-360 graus).....	72
FIGURA 30. Lâminas observadas e previstas a 63 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio: 2-270 graus).....	73
FIGURA 31. Lâminas observadas e previstas a 81 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio: 2-270 graus).....	73
FIGURA 32. Lâminas observadas e previstas a 99 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio: 2-270 graus).....	74
FIGURA 33. Lâminas observadas e previstas a 123 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio: 2-270 graus).....	74
FIGURA 34. índices de uniformidade, observados em campo e previstos pelo modelo (ensaio: 1-360 graus).....	76
FIGURA 35. índices de uniformidade, observados em campo e previstos pelo modelo (ensaio: 2-270 graus).....	76
FIGURA 36. Perfil longitudinal da água aplicada medido em campo e dado pelo modelo (ensaio: 1 - 360 graus).....	78
FIGURA 37. Perfil longitudinal da água aplicada medido em campo e dado pelo modelo (ensaio: 2 - 270 graus).....	78

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1. Variação do raio de enrolamento (RET) em função da quantidade de cabo no tambor enrolador (QAG).....	31
TABELA 2. Condições operacionais da turbina do autopropelido Chuvisco nos ensaios de torque x rotação.....	33
TABELA 3. Valores das variáveis operacionais utilizados na simulação da velocidade do Chuvisco.....	62
TABELA 4. Velocidade média de deslocamento observada e prevista.....	63

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM EQUIPAMENTO AUTOPROPELIDO DE IRRIGAÇÃO

Autor: ALBERTO COLOMBO

Orientador: ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento e avaliação de um modelo de simulação da operação de um equipamento autopropelido de irrigação.

O modelo de simulação desenvolvido se constitui de duas partes. A primeira parte equaciona a uniformidade da velocidade de deslocamento do equipamento no carreador, através da resposta do mecanismo propulsor ao esforço necessário para tracionar a mangueira. A segunda parte computa a lâmina de água aplicada em cada ponto da faixa molhada, pela integração dos valores de intensidade de precipitação ao longo do tempo de irrigação.

Os dados necessários para utilização do modelo envolvem características do carreador, do mecanismo propulsor do equipamento e de distribuição de água do aspersor sob diferentes condições de vento.

A avaliação do modelo foi feita de forma analítica e experimental. Na avaliação analítica utilizou-

se um aspersor ideal com perfil de aplicação elíptico. Na avaliação experimental, utilizou-se um autopropelido, modelo Chuvisco, dotado de uma mangueira de 75 mm (3") x 100m, operando com um aspersor com raio de 51,1m e vazão de 54,4m³/h. Em ambos os casos considerou-se a operação do aspersor com um giro de 360 e 270 graus.

Os resultados da avaliação analítica do modelo foram satisfatórios, não sendo registrados desvios que comprometessem o modelo.

Na avaliação experimental, a confrontação de valores de velocidade média de deslocamento resultou em um desvio máximo de 6%. Os valores de lâmina aplicada ao longo do carreador demonstraram uma boa correlação entre valores observados e simulados. Os índices de uniformidade de distribuição de água simulados, no caso do aspersor com giro completo, ficaram em média 3 unidades abaixo do observado em campo. Os valores de uniformidade de distribuição obtidos com o mecanismo setorial ativado não apresentaram boa correlação.

PERFORMANCE SIMULATION OF
A TRAVELER IRRIGATION MACHINE

Author: ALBERTO COLOMBO

Adviser: ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

SUMMARY

The main objective of this study was to develop and evaluate a model to simulate the operation of a traveler irrigation machine.

The simulation model involves two separate parts. In the first part the travel speed along the path is formulated as a function of the drive mechanism response to the load required to drag the hose. In the second part the water depth applied at each point along the wetted stripe is evaluated integrating the application rate along the irrigation time interval.

Drive mechanism characteristics, travel lane characteristics and stationary water distribution pattern under different wind conditions are inputs variables in the model.

The model was both analitically and experimentally evaluated. In the analitical evaluation a theoretical sprinkler having a elliptical pattern was used.

During the experimental evaluation a commercial traveler machine, Chuvisco model, equipped with a 75 mm (3") X 100m long hose and a sprinkler having a 51,1 m radius and a 54,4 m³/h discharge was used. The evaluations were carried out with the reversing mechanism at both 360 and 270 deg rotation.

The results from the theoretical analysis were judged reasonable since no significant deviations were observed.

The simulated mean velocities showed an average deviation of 6% from the measured velocities. Close agreements were obtained between the measured water depths and those simulated by the model. In general, the 360 deg sprinkler rotation simulated coefficients of water uniformity were 3 units lower than the the measured coefficients. No good correlation was found between the 270 deg sprinkler rotation simulated coefficients and those measured in field.

1. INTRODUÇÃO.

O conceito de uniformidade de distribuição de água tem sido utilizado para descrever o desempenho de sistemas de irrigação. Os índices de uniformidade têm uma conotação estatística à medida em que passam a representar a distribuição espacial da água por um dado sistema.

Uma questão tem sido levantada quanto a representatividade destes índices, determinados em ensaios de campo realizados em pequenas áreas consideradas "típicas", em relação a área total irrigada.

Em vista da dificuldade de se avaliar estes índices de uniformidade em testes de campo que abrangem toda a área irrigada, modelos de simulação têm sido desenvolvidos para reproduzir com fidelidade a distribuição espacial da água aplicada. Tais modelos levam em conta as variações, ao longo de todo o sistema, dos principais parâmetros que afetam a distribuição da água aplicada pelo sistema em consideração.

No caso de equipamentos autopropelidos de irrigação, os modelos de simulação desenvolvidos por ROLLAND (1982), ROCHESTER (1983 a e b), KELLER & NIR (1986) e ROCHESTER et alii (1989) levam em consideração apenas as

variáveis relacionadas ao aspersor, não abordando as características do mecanismo propulsor, que, em alguns casos, introduzem certa desuniformidade em função da variação da velocidade de deslocamento do equipamento, decorrente da variação do esforço de tração ao longo do carreador.

A não inclusão das características do mecanismo propulsor nestes modelos pode ser explicada pela recomendação para que esta velocidade não oscile mais do que 10% (ADDINK et alii, 1983), o que acarretaria num efeito muito pequeno da variação da velocidade sobre a uniformidade.

Por outro lado, sem o conhecimento do exato funcionamento do mecanismo propulsor, fica difícil ao projetista de sistemas de irrigação fixar as condições de trabalho (faixa de vazão, para as turbinas de ação, ou faixa de pressão, para os pistões ou câmaras expansivas) do mecanismo propulsor, onde a variação da velocidade não afete significativamente a uniformidade.

Desta forma, para o caso de equipamentos autopropelidos de irrigação, a simulação do seu desempenho deve levar em conta não só as condições operacionais do aspersor, mas também as condições operacionais de seu mecanismo propulsor.

O propósito deste trabalho foi o estudo detalhado do comportamento de um mecanismo propulsor, do tipo turbina de ação, de um equipamento autopropelido de

irrigação tracionado a cabo, de forma a se poder prever, através de cálculos, a sua uniformidade de deslocamento ao longo do carreador.

A junção destes cálculos de velocidade, nos modelos de simulação da distribuição de água já desenvolvidos, permitirá a obtenção de índices de uniformidade mais representativos que aqueles obtidos apenas com base nas características do aspersor.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uniformidade de Aplicação de Água

A queda de produtividade média das culturas irrigadas, devido a desuniformidade da aplicação da água de irrigação já foi demonstrada em diversos trabalhos (HOWELL, 1964; SEGINER, 1978; HILL & KELLER, 1980; BERNUTH, 1983).

De acordo com SEGINER (1987), se a irrigação é desuniforme, existirão áreas superirrigadas ao lado de áreas subirrigadas nas quais a produtividade será menor, a qualidade do produto será inferior e o tempo de colheita será diferenciado do resto do campo. Mesmo em condições excelentes de drenagem e fertilidade do solo, onde o excesso de irrigação não prejudique a produtividade, o custo da água aplicada em excesso aumenta desnecessariamente o custo de produção.

SEGINER (1978) e HILL & KELLER (1980) apresentaram processos nos quais a distribuição espacial de água de um dado sistema, associada a função de produção de dada cultura, obtida em dado sistema de manejo da irrigação, é utilizada para o cálculo da lâmina total de água a ser aplicada que resultará no máximo rendimento econômico.

BERNUTH (1983) analisou o problema da uniformidade de aplicação de água de forma a combinar, de maneira ótima, o nível de uniformidade de aplicação de água e a área a ser plantada com dada cultura, para atender um determinado volume de água disponível à irrigação.

LETEY (1985) relata as limitações das previsões de produtividade em função da uniformidade de aplicação da água de irrigação medida na superfície do solo. Considerando a redistribuição da água no interior do solo, particularmente para os sistemas de irrigação por aspersão, recomenda determinações da uniformidade com base em pontos localizados à distâncias compatíveis com a escala do sistema radicular da cultura em consideração.

A medida em que se amplia a utilização dos índices de uniformidade de aplicação de água, passando de meros índices comparativos do desempenho de diferentes sistemas de irrigação, para índices integrantes do manejo racional da irrigação, torna-se necessária a obtenção de índices de uniformidade cada vez mais representativos da distribuição espacial da água em toda a área irrigada.

2.2 Representatividade dos índices de Uniformidade

SOLOMON (1985), trabalhando com sistemas de irrigação localizada, mostrou o contraste entre a uniformidade de aplicação local e a uniformidade de aplicação global. No caso da uniformidade de aplicação

global, uma série de fatores é levada em conta, tais como: variações de pressão devido as diferenças de cota, perda de carga ao longo de toda a rede hidráulica, variações temporais e espaciais na temperatura da água, variações de fabricação entre emissores e reguladores de pressão, número de aplicadores de água por planta e o grau e quantidade de emissores entupidos. Com este estudo, o autor evidencia a diferença entre a uniformidade de aplicação local, que é espacialmente restrita, e a uniformidade global.

No caso dos sistemas autopropelidos de irrigação por aspersão, a utilização de índices de uniformidade de caráter local é acentuada. O método de avaliação de campo destes sistemas (MERRIAM & KELLER, 1978; ISO, 1984) preconiza a utilização de coletores dispostos em linhas, formando um ângulo reto com a direção de deslocamento do equipamento, instaladas na área central da faixa irrigada, de forma a assegurar a passagem completa do aspersor sobre estes coletores.

A existência de áreas, ao longo da faixa irrigada, onde o recobrimento não é completo, conforme indicado na figura 1, determina o caráter local dos índices obtidos com esta técnica.

A diferença no grau de uniformidade da irrigação, na porção central da faixa irrigada em relação às áreas onde não houve sobreposição completa, é mostrada no trabalho de KELLER & NIR (1986), tanto para o caso de

autopropelidos tracionados a cabo como para o caso de carretéis enroladores, conforme ilustrado na figura 2.

Nesta figura, pode-se observar, para várias regulagens do mecanismo setorial do aspersor, o valor do índice de uniformidade de Christiansen nas diferentes regiões de sobreposição da faixa irrigada. Os valores legendados como "porção central" foram obtidos considerando-se apenas aquela região onde houve a passagem completa do aspersor. Os valores referidos como "inicial" referem-se à porção afetada pelo recobrimento parcial do aspersor, no início da movimentação do equipamento.

Figura 1 - Posicionamento das diferentes regiões de sobreposição na faixa irrigada de um autopropelido.

A porção extrema , onde se dá a parada do equipamento, foi analisada considerando-se faixas irrigadas adjacentes. Neste caso, o padrão resultante de distribuição da água depende do equipamento considerado. Os valores legendados como "fim-fim" referem-se aos autopropelidos tracionados

Figura 2 - Análise da uniformidade na porção central e nas extremidades da faixa irrigada por aspersores operando com diferentes ângulos de giro, em deslocamento linear (KELLER & NIR, 1986).

a cabo, os valores legendados como "fim-centro" referem-se aos carretéis enroladores.

A análise destes dados evidencia o fato de que os índices de uniformidade de aplicação de água, obtidos na região central da faixa irrigada por equipamentos autopropelidos, têm uma natureza local, servindo apenas como termo comparativo entre equipamentos, ou, entre situações operacionais distintas.

Os trabalhos de SHULL & DYLLA (1976), SCARDUA & LEME (1979) e ROSA (1986) são exemplos da utilização de índices de uniformidade, obtidos na região central da faixa irrigada, para descrever o desempenho de equipamentos autopropelidos de irrigação em função de diferentes condições de vento, pressão ou espaçamento entre carreadores. Os valores apresentados nestes trabalhos servem para selecionar as condições operacionais mais adequadas, com base em um parâmetro numérico, mas não servem para aplicação direta em estudos utilizando as técnicas de SEGNER (1978), HILL & KELLER (1980) ou BERNUTH (1983), citadas no início desta revisão.

2.3. Modelos de Simulação da Aplicação de Água

Devido a dificuldade de se medir a distribuição da água aplicada em toda a área irrigada, utiliza-se a simulação em computador para obtenção de

índices de uniformidade mais representativos da área total irrigada.

ROLLAND (1982) descreve um programa de simulação da distribuição da lâmina de irrigação em sistemas autopropelidos, baseado no perfil estacionário de aplicação de água do aspersor. Este programa, utilizado na França pelo Centre Technique du Genie Rural, des Eaux et des Forêts, tem por base o perfil radial de aplicação de água de um aspersor, obtido no teste estacionário do mesmo, onde se determina a taxa de aplicação de água em função da distância ao aspersor. Com este perfil é possível determinar a lâmina aplicada ao longo do carreador, para diferentes ângulos de operação do aspersor e espaçamentos entre carreadores, conforme ilustra a figura 3.

Nesta figura são ilustradas as sucessivas distâncias, em relação a um dado ponto M, assumidas pelo aspersor em, movimentação, a uma velocidade constante, em dois carreadores contíguos, 1' e 2', localizados a uma distância E. Os valores destas sucessivas distâncias ao ponto M, assumidas pelo aspersor em movimentação, permitem determinar as sucessivas taxas de aplicação de água sobre o ponto M, através do perfil estacionário de aplicação de água, corrigido para o ângulo θ , de operação do aspersor. A lâmina aplicada sobre o ponto M é determinada pela integração das taxas de aplicação de água ao longo do tempo necessário para o equipamento se deslocar de A até A' e de B até B'. Os incrementos de tempo considerados para se

efetuar a integração da taxa de aplicação correspondem ao tempo necessário para se percorrer, com a velocidade constante considerada, a distância correspondente ao incremento de deslocamento adotado (A-A1, A1-A2, etc).

Figura 3 - Esquema do processo de cálculo adotado no programa de simulação da distribuição de água (ROLLAND, 1982).

Este processo, utilizado por ROLLAND (1982), nada mais é do que uma integração numérica do padrão de aplicação de água do aspersor, ao longo da linha de deslocamento do ponto M. Esta mesma integração, para perfis teóricos de aplicação de água do aspersor, foi desenvolvida, analiticamente, por BITTINGER & LONGENBAUGH (1962). De acordo com BITTINGER & LONGENBAUGH (1962) a

passagem completa de um aspersor de raio r , com um perfil triangular de aplicação, tendo no centro do círculo irrigado uma intensidade de aplicação de água de valor h , deslocando-se linearmente com velocidade uniforme v , irá resultar numa lâmina aplicada D , em um ponto localizado a uma distância d do eixo de deslocamento do aspersor, expressa em termos de fração do raio ($d = m \cdot r$), dada por:

$$D = \frac{h \cdot r}{v} \times \left[(1-m^2)^{1/2} - m^2 \times \ln \left(\frac{(1-m^2)^{1/2} + 1}{m} \right) \right] \quad (1)$$

Da mesma forma, para o caso de um perfil elíptico de aplicação de água do aspersor, estes autores apresentam a seguinte fórmula:

$$D = \frac{h \cdot r \cdot \pi \cdot (1-m^2)}{2 \cdot v} \quad (2)$$

Além de possibilitarem a obtenção de valores mais representativos da uniformidade de aplicação de água e, conseqüentemente, da sua distribuição espacial, esses processos auxiliam o estudo das técnicas operacionais mais adequadas aos equipamentos autopropelidos.

ROCHESTER (1983 a, b) e KELLER & NIR (1988) utilizaram programas de simulação da distribuição de água para estudar o efeito do tempo de parada, nas extremidades da faixa irrigada por autopropelidos, sobre a uniformidade total da área.

O estudo de ROCHESTER (1983 a,b) apresenta tempos de parada calculados com base em características do perfil estacionário de aplicação de água do aspersor. KELLER & NIR (1986) desenvolveram cálculos destes mesmos tempos de parada de forma mais generalizada, envolvendo apenas o raio de alcance, o ângulo de trabalho do aspersor e a velocidade de deslocamento do equipamento.

ROCHESTER (1983 c) utilizou estas simulações para cálculo da melhor distância entre as posições iniciais de duas faixas contíguas de irrigação, aplicável para campos estreitos e longos onde as faixas irrigadas devem se sobrepor lateral e longitudinalmente.

GRANT et alii (1984), através de simulações em computador, analisaram o problema dos tempos de parada nas extremidades dos carregadores, considerando a operação do aspersor parado com ângulos setoriais diferentes daqueles utilizados durante a movimentação.

Os programas utilizados por ROLLAND (1982), ROCHESTER (1983 a,b) e KELLER & NIR (1986) apresentam limitações para simulação em condições onde haja vento, variação da pressão do aspersor ou variação da velocidade de deslocamento do aspersor.

ROCHESTER et alii (1989) desenvolveram um programa de simulação, aplicável aos sistemas tipo carretel enrolador, que considera a variação da pressão de operação do aspersor ao longo do carregador. Esta variação é induzida pelo aumento da perda de carga na mangueira, em

decorrênciado do seu enrolamento no carretel, conforme já descrito por OAKES & ROCHESTER (1980). Neste programa, um perfil adimensional de aplicação de água do aspersor, construído com base em ensaios estacionários realizados a diferentes pressões, é utilizado para gerar os valores de intensidade de aplicação nos diferentes pontos do carreador, a cada posição do aspersor, caracterizada por uma pressão de operação diferente.

Variações da velocidade de deslocamento do aspersor ao longo do carreador, decorrentes da variação da força de tração (ROLLAND, 1982), ou, da variação no perímetro de enrolamento do carretel (ROLLAND, 1982; COLLIER & ROCHESTER, 1980), não foram incorporadas neste programa, uma vez que, ROCHESTER et alii (1989) consideram que estas variações devem ser evitadas por meio de mecanismos adequados a serem instalados nos autopropelidos.

ZAGGO et alii (1988) desenvolveram um programa de simulação que pode levar em conta os efeitos do vento. A simulação necessita de ensaios estacionários de distribuição de água, realizados em quaisquer condições de vento. O resultado obtido reproduz uma condição em que o vento tenha a mesma direção e intensidade, daquela observada no ensaio estacionário, durante todo o período de deslocamento do aspersor. Este programa admite, também, variações na velocidade de deslocamento do aspersor, que são introduzidas como dado de entrada, não sendo, no entanto, objeto de cálculo durante a simulação.

2.4. Velocidade de Deslocamento e Uniformidade de Aplicação

De acordo com ADDINK et alii (1983), o coeficiente de uniformidade de aplicação de água de um equipamento autopropelido de irrigação decresce caso a velocidade de deslocamento do equipamento ao longo do carreador não seja constante. Estes autores relatam que na literatura encontram-se valores extremos de até 60% de variação na velocidade de deslocamento de autopropelidos. A causa desta variação é atribuída às variações no diâmetro do carretel enrolador de cabo de aço ou mangueira, e às variações na velocidade de rotação do mecanismo propulsor.

A variação na velocidade de rotação do mecanismo propulsor é decorrente da diferença no esforço de tração exigido, que, por sua vez, é função do comprimento de mangueira sendo tracionado. De acordo com o procedimento de ensaio de laboratório do mecanismo de propulsão de equipamentos autopropelidos da norma ISO 8224 (ISO, 1984), a força necessária para tracionar um determinado comprimento de mangueira de um autopropelido é dada por:

$$FT = 0.0098 \times A \times ml \times l \quad (3)$$

onde: FT = força de tração (kN);

A = coeficiente que depende do tipo e da inclinação da superfície na qual a mangueira desliza;

m_l = massa linear da mangueira cheia de água (kg/m);

l = comprimento de mangueira sendo tracionada (m)

Para o caso de mecanismos de propulsão do tipo turbina de ação, os textos de hidráulica (LINSLEY & FRANZINI, 1978) apresentam a seguinte equação, que relaciona o esforço na pá da turbina e sua rotação, para uma dada vazão:

$$F = \rho * Q * (V_1 - U) * (1 - \cos \beta) \quad (4)$$

onde: F = Força transmitida a pá pela água.

Q = vazão na turbina;

V_1 = velocidade da água no momento da incidência do jato com a pá;

U = velocidade tangencial à circunferência correspondente ao centro das pás;

β = ângulo da pá ;

ρ = massa específica da água .

Nesta equação, é possível observar que, para uma dada vazão, e, portanto, para uma dada velocidade de impacto (V_1), quanto maior a velocidade de rotação da turbina, menor o esforço desenvolvido .

A necessidade de se diminuir o valor da velocidade tangencial da pá (U), para se atender um aumento no valor do esforço efetuado pela turbina, em condição

vazão constante, dada pela equação 4, e a relação direta entre esforço e comprimento de mangueira sendo tracionada, dada pela equação 3, confirmam as observações de ADDINK et alii (1983), relatando a necessidade de um acréscimo de até 50% no perímetro do tambor enrolador de cabo de aço dos autopropelidos, para compensar a queda da rotação do mecanismo propulsor, decorrente do aumento na força de tração exigida no deslocamento .

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Fundamentos do Método

O modelo desenvolvido, para previsão da distribuição da água aplicada ao longo da faixa irrigada por um equipamento autopropelido, utiliza-se de um processo semelhante aquele proposto por ZAGGO et alii (1988), para integração do perfil de aplicação de água do aspersor, incorporando uma pequena sub-rotina para cálculo da velocidade de deslocamento do autopropelido, em cada posição do carreador.

Esta simulação da distribuição espacial da água se desenvolveu dentro das seguintes limitações:

- a) aplica-se apenas aos autopropelidos tracionados a cabo, dotados de mecanismo de propulsão do tipo turbina de ação;
- b) a vazão da turbina de ação é constante e igual a do aspersor;
- c) o carreador, onde o equipamento se desloca, deve ser plano, de forma a não haver alteração na pressão do aspersor, causada por alterações em sua cota;

d) as condições de vento devem ser iguais aquelas observadas ao longo do ensaio estacionário de distribuição de água do aspersor que equipa o autopropelido. Não sendo possível reproduzir a operação do mecanismo setorial em condições de vento;

e) a análise da distribuição da água aplicada nas extremidades da faixa irrigada reflete, apenas, o caso em que o sentido de movimentação do autopropelido é sempre o mesmo.

A sub-rotina para cálculo da velocidade ao longo do carreador foi desenvolvida levando-se em conta as seguintes hipóteses.

a.1) O esforço de tração em qualquer ponto do carreador, cuja distância do ponto de início da movimentação é dada por d , pode ser calculado por uma expressão do tipo:

$$F(d) = F_i + A * ((d/2) + L_1) * PL \quad (5)$$

onde: $F(d)$ = esforço de tração no cabo do autopropelido em dada posição (daN);

F_i = resistência ao rolamento do autopropelido (daN);

A = coeficiente que depende da superfície do terreno;

d = distância do autopropelido ao ponto de início da movimentação (m);

L_i = comprimento de mangueira sendo tracionada no início da movimentação (m),

PL = peso linear da mangueira cheia de água (daN).

Os valores de F_i e A podem ser obtidos em ensaios de campo onde se registre a força no cabo ao longo do deslocamento. Através de um gráfico dos valores de $F(d)$ versus d , determina-se o intercepto do eixo das forças, sendo F_i dado por:

$$F_i = \text{intercepto} - A * L_i * PL \quad (8)$$

O valor de A é obtido através do coeficiente angular desta reta ($A = (\Delta F(d) / \Delta d) * (0,5 * PL)$).

A adoção do valor $(0,5 * PL)$ justifica-se pelo fato de que a cada metro deslocado pelo autopropelido, aumenta-se em meio metro o comprimento de mangueira que está sendo tracionada. Este fato é evidente, considerando-se que, autopropelidos dotados de 100 metros de mangueira são capazes de se deslocar em carreadores de 200 metros de comprimento.

a.2) O torque aplicado no eixo do tambor enrolador de cabo de aço (TB), em qualquer posição ao longo do carreador, é igual ao produto do esforço de tração no cabo de aço ($F(d)$) pelo raio de enrolamento do tambor (RET):

$$TB = RET * F(d)$$

(7)

O raio de enrolamento do tambor (RET) é função da quantidade de cabo recolhido pelo tambor para atingir uma dada posição. Esta quantidade de cabo de aço (QAC) pode ser expressa, em termos de comprimento recolhido, através da diferença entre a quantidade total de cabo existente no rolo (QTC) e o comprimento do carreador (CC), somada ao deslocamento já efetuado, expresso por d:

$$QAC = QTC - CC + d$$

(8)

A função que relaciona QAC e RET pode ser determinada através do perfil de enrolamento do cabo no tambor ao término de uma irrigação. Atribuindo-se a cada camada de cabo de aço (n), que se forma no tambor, o correspondente comprimento de cabo enrolado, pode-se elaborar uma tabela da seguinte forma:

$$\text{camada 1: } 0 < QAC < d_1 \quad RET = R_1 = (1 - 0,5) * dc + Ro$$

$$\text{camada 2: } d_1 < QAC < d_2 \quad RET = R_2 = (2 - 0,5) * dc + Ro$$

• • • •

• • • •

• • • •

$$\text{camada n: } d_{n-1} < QAC < QTC \quad RET = R_n = (n - 0,5) * dc + Ro$$

O valor de R_1 corresponde ao raio do tambor enrolador vazio (R_0) acrescido de metade do diâmetro do cabo de aço que está sendo enrolado. O valor de R_n corresponde a soma do raio do tambor vazio com $(n - 0,5)$ vezes o diâmetro do cabo de aço (d_c).

a.3) O torque transmitido à turbina do equipamento (TT) pode ser estimado pela divisão do torque no tambor (TB) pela relação de transmissão do equipamento (RLT).

$$TT = TB / RLT$$

(8)

A relação de transmissão (RLT) é característica do equipamento, sendo dada pelo número necessário de voltas da turbina para se obter uma volta do tambor.

a.4) Tratando-se de um mecanismo de propulsão tipo turbina de ação, pode-se utilizar a equação 4, de LINSLEY e FRANZINI (1987), para relacionar, em dada vazão (Q), o torque (TT) e a rotação da turbina (RTB).

Esta equação pode ser modificada, para ser expressa em termos de torque, vazão e rotação, assumindo-se que :

a.4.1) o torque é o produto da força transmitida às pás da turbina pelo raio da circunferência descrita pela trajetória do centro das pás ($TT = F \times k_1$);

a.4.2) a velocidade de impacto da água nas pás é proporcional a vazão da turbina ($V1 = k2 \times Q$);

a.4.3) a rotação da turbina é proporcional à velocidade tangencial das pás ($U = k3 \times RTB$);

a.4.4) para uma dada turbina e um dado líquido, os valores do ângulo da pá e da massa específica do líquido são constantes ($k0 = \gamma \times (1 - \cos \alpha)$).

Desta forma, a equação 4 será expressa da seguinte maneira :

$$TT = K1 \times (K0 \times K2 \times Q^2 - K0 \times K3 \times RTB \times Q) \quad (10a)$$

Onde: TT = torque no eixo da turbina (daN*m);

RTB = rotação da turbina (rpm);

Q = vazão na turbina (m³/h).

Uma vez que, neste modelo, o valor da rotação será estabelecido através de valores já conhecidos de torque e vazão, a equação 10a será modificada em sua forma, deixando a rotação como variável dependente:

$$RTB = K4 \times Q - K5 \times TT/Q \quad (10b)$$

Considerando-se que a equação 10b é teórica, não levando em consideração perdas no processo de transferência de energia da água para as pás da turbina, e que os coeficientes desta equação devem ser determinados através do ajuste de valores observados de torque, rotação

e vazão, obtidos em ensaios da turbina, realizados com auxílio de um dinamômetro, espera-se que uma equação do seguinte tipo, forneça, para uma dada vazão e um dado torque calculado pela equação 9, a rotação da turbina :

$$RTB = K8 * K4 * Q - K5 * TT/Q \quad (10c)$$

a.5) Conhecendo-se a rotação da turbina em dada posição, calculada com base no esforço nesta posição ($F(d)$), pode-se estimar a velocidade de deslocamento do equipamento através do produto da rotação do tambor enrolador pelo seu perímetro:

$$V(d) = (RTB/RLT) * (\pi * RET) * 60 \quad (11)$$

onde: $V(d)$ = velocidade de deslocamento na posição (d)
(m/h);

RTB = rotação da turbina (rpm);

RLT = relação de transmissão do equipamento;

RET = raio efetivo de enrolamento do tambor (m).

A simulação, da distribuição espacial da água no carreador, parte do resultado do ensaio estacionário de distribuição de água do aspersor, realizado de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8989 (ABNT, 1985).

Esta sub-rotina, para cálculo da lâmina de água aplicada ao longo da faixa irrigada, foi desenvolvida levando-se em conta as hipóteses que se seguem.

b.1) Sendo $A (b \times b)$, a matriz que contém os valores de intensidade de precipitação de água nos coletores dispostos ao redor do aspersor, em dado espaçamento c , determinados durante o ensaio estacionário de distribuição de água do aspersor, pode-se obter uma outra matriz $A (b \times b)$, que represente a distribuição estacionária de água deste mesmo aspersor, operando com qualquer ângulo seco (AN), menor que cento e oitenta graus, da seguinte forma.

b.1.1) Eliminação dos elementos $a(i,j)$ localizados no setor seco. A identificação destes elementos é feita através das suas coordenadas, conforme ilustra a figura 4.

b.1.2) Correção dos valores remanescentes, através da multiplicação pelo fator $(360/(360-AN))$.

b.2) Admitindo-se que o aspersor se desloca em um carreador de comprimento cc (dado em metros), pode-se construir uma matriz imaginária $B (b \times (b + cc/c))$, que represente a distribuição espacial da água resultante da movimentação do aspersor (figura 5). Nesta matriz, cada elemento $b(i,j)$ representa o valor da lâmina aplicada numa malha de coletores dispostos, no mesmo espaçamento c adotado no ensaio estacionário do aspersor, ao longo de toda a faixa molhada pelo autopropelido. Estes valores são

IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS NO SETOR SECO

Para $b/2+1 \leq i \leq b$ $K2 = i - (b/2+0.5)$

Para $1 \leq j \leq b$ $K1 = |j - (b/2+0.5)|$

Se $K1/K2 < Tg (AN/2)$ $a(i, j) = 0$

SE $K1/K2 = Tg (AN/2)$ $a(i, j) = 0$ e

$$a(i-1, j) = a(i-1, j) + a(i, j) / 2$$

CORREÇÃO DOS VALORES PARA O NOVO ÂNGULO DE GIRO

Para $1 \leq i \leq b$ e $1 \leq j \leq b$ $a(i, j) = a(i, j) * (360 / (360 - AN))$

Figura 4 - Esquema do processo de cálculo adotado na simulação do aspersor operando com um ângulo seco AN.

Para $i=1$:

$$b(i, j) = TI \times a(i, j) + 0.5 \times a(i, j) \times C/v(i)$$

Para $2 \leq i \leq b$:

$$b(i, j) = TI \times a(i, j) + 0.5 \times a(i, j) \times C/v(i) + \sum_{K=1}^{i-1} \frac{a(i-K+1, j) + a(i-K, j)}{2 \times v(K)} \times C$$

Para $b+1 \leq i \leq CC/C$:

$$b(i, j) = 0.5 \times a(b, j) \times C/v(i-b) + 0.5 \times a(i, j) \times C/v(i) + \sum_{K=1}^{b-1} \frac{a(b-K+1, j) + a(b-K, j)}{2 \times v(i-b+K)} \times C$$

Para $CC/C+1 \leq i \leq CC/C+(b-1)$:

$$b(i, j) = TF \times a(i-CC/C, j) + 0.5 \times a(b, j) \times C/v(i-b) + \sum_{K=1}^{CC/C+B-1} \frac{a(b-K+1, j) + a(b-K, j)}{2 \times v(i-B+K)} \times C$$

Para $i=CC/C+b$:

$$b(i, j) = TF \times a(b, j) + 0.5 \times a(b, j) \times C/v(CC/C)$$

Figura 5 - Esquema do processo de cálculo adotado no programa de simulação da distribuição de água na faixa irrigada.

obtidos através do procedimento que se segue.

b.2.1) Para os pontos localizados na extremidade inicial da faixa, caracterizados por um índice i menor ou igual a b , a lâmina total aplicada compõem-se de duas parcelas, conforme indica a figura 5.

A primeira parcela corresponde ao produto da intensidade de aplicação observada no ponto, pelo tempo que o aspersor permanece parado antes do início da movimentação (T_1).

A segunda parcela corresponde a integração do perfil estacionário de aplicação de água do aspersor. Esta parcela é resultante da somatória dos valores da lâmina aplicada entre duas posições sucessivas do equipamento. Considera-se que para cada deslocamento do equipamento, numa distância equivalente ao espaçamento entre coletores, a lâmina aplicada no ponto em consideração é igual ao produto da média das intensidades aplicadas neste ponto, pelo tempo necessário para que o deslocamento se efetue.

Desta forma, se um determinado coletor $b(i,j)$, da malha imaginária, recebia uma intensidade de aplicação dada por $a(i,j)$ e, em consequência de um deslocamento, de c metros, do equipamento, passou a receber uma intensidade $a(i-1,j)$. A lâmina total aplicada durante este intervalo de tempo será dada pelo produto da média destas taxas de aplicações $((a(i,j) + a(i-1,j))/2)$ pelo tempo necessário para haver este deslocamento.

O tempo para haver o deslocamento é computado com base nos valores de velocidade ao longo do carreador, armazenados na matriz unidimensional V (cc/c). Desta forma, o tempo necessário para o autopropelido se deslocar os primeiros c metros ao longo do carreador é dado pela relação $(c/(v(1)))$, enquanto que, o último deslocamento de c metros se fará em um tempo dado por $(c/(v(cc/c)))$. A figura 5 ilustra melhor este processo.

b.2.2) Para os pontos localizados na zona central da faixa irrigada, caracterizados por índices i maiores que b e menores que $(cc/c+b)-b/2$, há uma integração ao longo de toda a área molhada pelo aspersor. Neste caso, os tempos de parada no início e no final não mais interferem. As equações aplicadas a esta faixa são mostradas na figura 5.

b.2.3) Finalmente, nos pontos da extremidade onde se dá a parada do equipamento, caracterizados por índices i maiores ou iguais a $(cc/c+b)-b/2$, o processo utilizado na extremidade inicial se repete. A lâmina correspondente a operação do aspersor no tempo de parada (TF) é somada à lâmina resultante da integração do perfil, conforme indicado na figura 5.

b.3) Uma vez determinada a distribuição de água do equipamento operando isoladamente, nas condições estabelecidas, pode-se calcular a distribuição da água ao longo da faixa compreendida entre dois carreadores, resultante da passagem do aspersor em duas posições

adjacentes, localizadas a uma distância W , através da sobreposição dos valores obtidos em cada lado da linha de deslocamento, conforme a metodologia normalmente adotada em ensaios de campo (MERRIAN & KELLER, 1978; SCARDUA & LEME, 1979; ROSA, 1986). Este procedimento considera que as mesmas condições operacionais são aplicáveis aos carregadores adjacentes.

3.2. Características do Autopropelido.

O modelo desenvolvido foi testado em um equipamento autopropelido modelo Chuvisco, fabricado pela ASBRASIL - Aspersão no Brasil S.A.

Este equipamento é dotado de uma mangueira de 75 mm (3"), com 100 m de comprimento, tendo um peso linear, quando cheia de água, da ordem de 5,78 daN/m. O seu mecanismo propulsor é dotado de uma turbina de ação, tipo Pelton, que pode operar com um bocal de 50 ou 53 mm.

O seu tambor enrolador de cabo de aço, com 287 mm de largura e 202 mm de diâmetro, é dotado de 210 m de cabo de aço, com 6,0 mm de diâmetro. Devido à ausência de um guia para orientar o recolhimento do cabo de aço pelo tambor enrolador, o recolhimento do cabo se faz de maneira irregular, havendo a formação de camadas com um menor número de voltas do cabo.

Os valores médios da quantidade de cabo armazenada no tambor, a medida em que as diversas camadas

se formam ao redor do mesmo, são mostrados na tabela 1. Estes valores foram obtidos pela análise de três perfis de enrolamento do tambor (largura x altura), determinados ao término do deslocamento do Chuvisco, ao longo de um carreador plano.

Tabela 1 - Variação do raio de enrolamento (RET) em função da quantidade de cabo no tambor enrolador (QAC).

Comprimento (m)	camada	raio (cm)
L <= 26,1	1	10,4
26,1 < L <= 51,0	2	11,0
51,0 < L <= 78,5	3	11,6
78,5 < L <= 100,5	4	12,2
100,5 < L <= 124,0	5	12,8
124,0 < L <= 147,8	6	13,4
147,8 < L <= 170,1	7	14,0
170,1 < L <= 185,2	8	14,6
185,2 < L <= 196,3	9	15,2
196,3 < L <= 205,0	10	15,8
205,0 < L <= 209,0	11	16,4
209,0 < L <= 210,0	12	17,0

O carro de transporte do aspersor tem massa de 640 kg, tendo um conjunto de transmissão, entre a turbina e o tambor enrolador, composto de um par de polias

com correia e quatro engrenagens dentadas. Uma destas engrenagens pode ser substituída, com opção entre engrenagens de 15, 17 ou 19 dentes, permitindo uma maior ou menor velocidade de deslocamento.

Em função da maior ou menor tensão da correia que une as duas polias do mecanismo de transmissão, a relação entre o número de voltas da turbina e o número de voltas da polia movida varia de 3,63 a 3,90, com uma média de 3,79 voltas. Resultando, respectivamente, nas seguintes relações de transmissão, conforme se utilize das engrenagens de 15, 17 ou 19 dentes: 327,3; 288,8 ou 258,4.

Um aspersor, modelo MEC-21 equipa o autopropelido. Este aspersor, quando instalado no Chuvisco, opera, de acordo com as recomendações da Asbrasil, com bocais de 28 x 6,3; 30 x 6,3; 32 x 6,3 ou 34 x 6,3 mm, com pressões de 500 a 700 kPa, resultando em vazões de 49,1 a 98,5 m³/h, conforme informações de ensaios realizados no CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CENEA, apresentadas no apêndice 1.

3.3. Ensaio de Caracterização da Turbina

Os ensaios de desempenho da Turbina, no que se refere a relação torque-rotação, em diferentes valores de vazão e pressão, foram efetuados com o aspersor operando em diversas combinações de bocais, à pressão constante, regulada ao início de cada ensaio, com a turbina livre de

qualquer esforço. Foram realizados um total de seis ensaios deste tipo, com a turbina operando com o bocal de 50 mm, de acordo com as condições operacionais especificadas na tabela 2.

Tabela - 2 Condições operacionais da turbina do autopropelido Chuvisco nos ensaios de torque x rotação.

ENSAIO	BOCAL (mm)	VAZÃO (m ³ /h)	PRESSÃO (kPa)
1	28 x 6,3	46,5	450
2	28 x 6,3	53,9	600
3	30 x 6,3	54,8	450
4	30 x 6,3	63,5	600
5	32 x 6,3	62,5	450
6	34 x 6,3	78,7	450

A disposição do conjunto dos instrumentos utilizados no ensaio é mostrada na figura 6. O princípio de funcionamento do dispositivo de mensuração de torque é baseado no atrito entre a corda e a parte interna da canaleta da polia, o qual é variado através do acréscimo ou retirada de pesos.

A força de atrito responsável pelo torque transmitido pela turbina, é calculado através da equação 12.

Figura 6 - Disposição dos instrumentos no ensaio da turbina do Chuvisco.

$$F_a = F_d - F_p + F_c$$

(12)

onde: F_a = força de atrito;

F_d = força registrada na célula de carga;

F_p = somatório dos pesos do conjunto no lado oposto à célula de carga;

F_c = somatório dos pesos do conjunto no lado da célula de carga.

O torque no eixo é calculado através da equação 13.

$$TT = F_a \times r_p$$

(13)

onde: TT = torque no eixo da turbina;

r_p = raio médio interno da polia.

Para efeito de frenagem da turbina, foram utilizadas duas polias de diâmetros diferentes, uma de 50 mm e outra de 132,5 mm de diâmetro. Estas polias e um jogo de pesos, que permitiram o acréscimo da carga (F_p) desde 2,0 daN até 34,0 daN, a intervalos de 1,0 daN, foram suficientes para diminuir a rotação da turbina desde o valor correspondente a rotação sem carga (500 - 350 rpm) até um valor próximo a 50 rpm.

Utilizou-se neste ensaio um medidor de rotação composto de um disco perfurado, preso ao eixo da turbina, e um sensor foto-elétrico fixo, preso à estrutura. Este conjunto permitiu a determinação da rotação da turbina com precisão de mais ou menos 1 rpm.

A pressão de operação do aspersor foi determinada com um manômetro de Bourdon, classe 0,5%, com fundo de escala de 1 a 10 bar e subdivisão de 0,05 bar, instalado no corpo do aspersor.

A célula de carga utilizada tinha capacidade de 500 daN, o que permitiu a determinação da força a cada 0,1 daN.

3.4. Verificação Experimental dos Esforços de Tração e da Velocidade de Deslocamento.

Na caracterização dos esforços de tração foram realizados oito ensaios, em diferentes equipamentos autopropelidos tracionados a cabo. Nestes ensaios, acoplou-se uma célula de carga na extremidade do cabo de aço localizada junto a âncora. A célula de carga foi acoplada a um registrador gráfico, possibilitando o registro da força ao longo do tempo de deslocamento do conjunto autopropelido. Durante o deslocamento do equipamento, a sua posição foi determinada, a cada dez minutos, permitindo a associação entre os valores de força média no intervalo de tempo considerado e posição do equipamento.

Dois destes ensaios, o ensaio de número 7 e o ensaio de número 8, abrangeram equipamentos com mangueira de 200 m de comprimento, um referente ao Perromatic, com mangueira de diâmetro de 100 mm (4") e outro, referente ao Combo, com mangueira de diâmetro de 110 mm (4 3/8"), ambos em carreador sem vegetação, em terreno argiloso.

Os demais ensaios foram realizados com um equipamento modelo Chuvisco, dotado de mangueira de 100 mm (3"), com 100 m de comprimento. Sendo realizados dois ensaios, o de número 1 e o de número 2, em carreador vegetado, e dois ensaios, o de número 4 e o de número 5, em carreador sem vegetação, em solo de textura média.

Além da força e da posição em função do tempo, registrou-se, também, a cada dez minutos, a pressão do aspersor, e, no caso dos ensaios com equipamento modelo Chuvisco, a rotação da turbina e da primeira polia por ela movida. Estas determinações foram feitas com os mesmos equipamentos utilizados no ensaio da turbina do Chuvisco.

Para efeito de comparação entre os valores de velocidade previstos por cálculo e os valores observados em campo, foram realizados mais dois ensaios de campo com o Chuvisco, o de número 3 e o de número 6, onde se determinou apenas a velocidade de deslocamento e os fatores relacionados ao comportamento da turbina. Estes ensaios foram realizados em carreador sem vegetação, em terreno de textura média.

As principais condições operacionais dos equipamentos nos oito ensaios realizados são apresentadas a seguir:

ensaio 1 - autopropelido modelo Chuvisco com aspersor MEC -21 dotado de bocal de 28 x 6,3 mm, operando a 590 kPa, com giro de 360°. Mecanismo de propulsão com engrenagem de 17 dentes e bocal de 50 mm na turbina. Carreador vegetado.

ensaio 2 - autopropelido modelo Chuvisco com aspersor MEC -21 dotado de bocal de 28 x 6,3 mm, operando a 590 kPa, com giro de 270°. Mecanismo de propulsão com engrenagem de 17 dentes e bocal de 50 mm na turbina. Carreador vegetado.

ensaio 3 - autopropelido modelo Chuvisco com aspersor MEC -21 dotado de bocal de 32 x 6,3 mm, operando a 550 kPa, com giro de 360°. Mecanismo de propulsão com engrenagem de 17 dentes e bocal de 50 mm na turbina. Carreador não vegetado.

ensaio 4 - autopropelido modelo Chuvisco com aspersor MEC -21 dotado de bocal de 34 x 6,3 mm, operando a 600 kPa, com giro de 360°. Mecanismo de propulsão com engrenagem de 17 dentes e bocal de 50 mm na turbina. Carreador não vegetado.

ensaio 5 - autopropelido modelo Chuvisco com aspersor MEC -21 dotado de bocal de 32 x 6,3 mm, operando a 560 kPa, com giro de 360°. Mecanismo de propulsão com engrenagem de 19 dentes e bocal de 50 mm na turbina. Carreador não vegetado.

ensaio 6 - autopropelido modelo Chuvisco com aspersor MEC -21 dotado de bocal de 32 x 6,3 mm, operando a 560 kPa, com giro de 360°. Mecanismo de propulsão com engrenagem de 15 dentes e bocal de 50 mm na turbina. Carreador não vegetado.

ensaio 7 - autopropelido modelo Perromatic, com aspersor SC - 77, dotado de bocal de 42 mm, operando a 600 kPa, com giro de 360°. Carreador não vegetado.

ensaio 8 - autopropelido modelo Combo, com aspersor 660, dotado de bocal de 44,2 mm, operando a 620 kPa, com giro de 360°. Carreador não vegetado.

3.5. Verificação Experimental da Distribuição de Água.

3.5.1. Ensaio Estacionário do Aspersor.

A distribuição de água prevista pelo modelo desenvolvido foi verificada em campo em apenas uma combinação de bocal e uma pressão de operação do aspersor. Para efeito desta verificação foi utilizado no modelo os resultados de um ensaio estacionário de distribuição de água do aspersor MEC-21, operando à 590 kPa, com bocal de 28 x 6,3 mm.

A metodologia adotada no ensaio estacionário de distribuição foi a preconizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua norma NBR 8989 (ABNT, 1985). Neste ensaio, adotou-se um espaçamento entre coletores de 6 x 6 m, tendo estes forma cilíndrica com área de captação de 55,4 cm². Para evitar a evaporação da água coletada, ao início do ensaio, cada coletor foi preenchido com 20 ml de querosene.

Na figura 7 são apresentados os valores de lâmina coletada na malha de coletores utilizados neste ensaio, bem como as condições de vento reinante durante o mesmo.

3.5.2. Ensaio de Distribuição de Água com o Autopropelido em Movimentação.

CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRICOLA

CAIXA POSTAL 568 - CEP 18001 - SOROCABA - SP - TEL (0152) 33-13-33

ANALISE DA DISTRIBUICAO DE AGUA DE ASPERSORES

ENSAIO No.MMSS101 REALIZADO EM: 18-03-88

FABRICANTE: ASBRASIL

MODELO: MEC-21

BOCAIS: 28X6.3 mm

PRESSAO NA BASE : 583kPa

VAZAO: 54.4 m³/h

DURACAO DO ENSAIO: 59.5 min.

VENTO MEDIO 3.4 km/h(MAX: 5.8 MIN : 1) ESP. COLETORES: 6 X 6 DIAM. COL. : 84.4 mm

DADOS OBTIDOS NO ENSAIO (cm³)

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	**	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	28.0	70.0	48.0	**	54.0	55.0	42.0	12.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	38.0	49.0	55.0	55.0	**	58.0	56.0	53.0	44.0	47.0	1.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	9.0	50.0	54.0	50.0	52.0	51.0	**	50.0	59.0	52.0	56.0	56.0	52.0	2.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	52.0	54.0	50.0	43.0	44.0	44.0	**	42.0	39.0	38.0	47.0	58.0	66.0	38.0	0.0	0.0
0.0	0.0	12.0	51.0	50.0	41.0	42.0	52.0	53.0	**	48.0	44.0	31.0	38.0	42.0	60.0	52.0	50.0	0.0
0.0	0.0	25.0	65.0	49.0	41.0	41.0	50.0	43.0	**	37.0	39.0	40.0	32.0	41.0	55.0	65.0	32.0	0.0
0.0	0.0	47.0	68.0	56.0	45.0	56.0	57.0	62.0	**	47.0	41.0	39.0	36.0	33.0	52.0	57.0	46.0	20.0

0.0	0.0	34.0	72.0	61.0	49.0	58.0	73.0	75.0	**	20.0	50.0	39.0	34.0	35.0	52.0	58.0	38.0	0.0
0.0	0.0	21.0	74.0	69.0	58.0	49.0	70.0	67.0	**	64.0	44.0	45.0	34.0	38.0	43.0	48.0	36.0	0.0
0.0	0.0	6.0	58.0	79.0	62.0	48.0	52.0	69.0	**	67.0	53.0	35.0	38.0	47.0	59.0	70.0	22.0	0.0
0.0	0.0	1.0	25.0	80.0	75.0	62.0	54.0	47.0	**	45.0	41.0	37.0	42.0	42.0	61.0	51.0	1.0	0.0
0.0	0.0	0.0	1.0	46.0	79.0	79.0	68.0	59.0	**	52.0	55.0	55.0	58.0	53.0	49.0	14.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	38.0	76.0	78.0	74.0	**	65.0	62.0	61.0	46.0	34.0	36.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	16.0	45.0	60.0	**	53.0	56.0	53.0	36.0	60.0	1.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	**	13.0	11.0	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

No. DE COLETORES CONSIDERADOS : 194 LAMINA TOTAL: 1554.69 mm LAMINA MEDIA : 8.01 mm

Figura 7 - Padrão estacionário de distribuição de água do
 aspersor MEC-21, conforme determinado no
 ensaio.

A simulação do perfil de distribuição de água fornecida pelo programa desenvolvido foi verificada em campo em dois ensaios, um com o aspersor operando com um ângulo de giro 360 graus (ensaio 1) e, outro, com um ângulo de giro de 270 graus (ensaio 2).

Durante a realização dos ensaios 01 e 02, de determinação do esforço de tração e velocidade de deslocamento, foram colocadas linhas de coletores ao longo da faixa irrigada para determinar, em campo, a distribuição de água do autopropelido.

Nestes ensaios, foram instalados quatro conjuntos de linhas perpendiculares a movimentação do equipamento, situados a 61,5, 81,5, 101,5 e 121,5 m do ponto de início da movimentação (figura 8). Cada conjunto era composto de duas linhas espaçadas de 3,0 m, com 36 coletores espaçados de 3,0 m. Além destes coletores transversais, foram instaladas duas linhas longitudinais, com coletores espaçados de 10 metros, localizadas paralelamente ao eixo de deslocamento do autopropelido, a uma distância de 19,4 m.

Os coletores utilizados eram do mesmo tipo daqueles empregados no ensaio de distribuição estacionário de água. Para evitar a evaporação da água coletada, todos os coletores foram preenchidos com 20 ml de querosene, ao início do ensaio.

A velocidade e a direção do vento foram determinadas, continuamente, com anemômetro totalizador.

Figura 8 - Disposição dos coletores nos ensaios de distribuição de água.

Através do registro do tempo em que cada linha de coletor iniciava e terminava de receber água, foi possível computar a velocidade média do vento durante a irrigação em cada um dos perfis determinados ao longo do carreador.

O referencial de direção do vento adotado tinha a linha Norte-Sul paralela a direção do deslocamento do equipamento, com o Norte na âncora, resultando na direção Leste-Oeste para os coletores transversais.

3.6 Verificação Analítica da Distribuição de Água.

O processo de integração do perfil de aplicação de água do aspersor em movimento, adotado neste trabalho, foi avaliado através da comparação com valores obtidos analiticamente.

As comparações foram efetuadas em duas situações operacionais distintas, abrangendo, à semelhança dos ensaios de campo, um aspersor de 51,1m de raio, com vazão de 54,4 m³/h, operando com ângulo de giro de 360 e 270 graus, em deslocamento linear, a uma velocidade constante de 50 m/h.

Para efeito destas comparações, utilizou-se no programa desenvolvido o resultado de um ensaio estacionário de distribuição de água de um aspersor fictício, com um perfil de aplicação elíptico. Para gerar o resultado deste ensaio, adotou-se em cada coletor, dentro

do raio molhado, valores de volume correspondentes às intensidades de precipitação dadas pela equação 14, que foi utilizada por BITTINGER & LONGENBAUGH (1962) para representar o perfil elíptico de aplicação de água de um aspersor:

$$P_p = \frac{h * (r^2 - s^2)^{1/2}}{r} \quad (14)$$

onde: P_p = intensidade de aplicação no ponto p (mm/h);

h = intensidade de aplicação no centro do círculo molhado do aspersor (mm/h);

r = raio de alcance do aspersor (m);

s = distância do ponto p ao aspersor (m)

A figura 9 apresenta o resultado do ensaio estacionário gerado por este processo, adotando-se para o raio de alcance do aspersor um valor de 51,1 m e, para a precipitação no centro do círculo irrigado, um valor de 9,95 mm/h. Este valor de precipitação adotado corresponde a 1,5 vezes a precipitação média de um aspersor com 51,1 m de raio e uma vazão de 54,4 m³/h, à semelhança daquele apresentado na figura 7, que foi utilizado nas simulações de campo.

O cálculo analítico das lâminas aplicadas ao longo do carreador, com o aspersor se deslocando isoladamente, a uma velocidade constante, baseou-se nas seguintes equações:

CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRICOLA

CAIXA POSTAL 568 - CEP 18001 - SOROCABA - SP - TEL (0152) 33-13-33

ANALISE DA DISTRIBUICAO DE AGUA DE ASPERSORES

ENSAIO No.MMS110 REALIZADO EM: 22/10/89

FABRICANTE: ELIPSE

MODELO: ELIIPSE

BOCAIS: ***** mm

PRESSAO NA BASE : *****

VAZAO: 54.4 m³/h

DURACAO DO ENSAIO: 60 min.

VENTO MEDIO *** km/h(MAX: **** MIN : ****) ESP. COLETORES: 6 X 6 DIAM. COL. : 84.4 mm

DADOS OBTIDOS NO ENSAIO (cm³)

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	**	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1	20.7	24.5	26.2	**	26.2	24.5	20.7	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	20.7	27.7	32.1	34.6	35.8	**	35.8	34.6	32.1	27.7	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	1.2	22.7	30.7	35.8	39.2	41.3	42.4	**	42.4	41.3	39.2	35.8	30.7	22.7	1.2	0.0	0.0
0.0	0.0	20.7	30.7	37.0	41.3	44.3	46.2	47.2	**	47.2	46.2	44.3	41.3	37.0	30.7	20.7	0.0	0.0
0.0	13.1	27.7	35.8	41.3	45.0	48.1	49.8	50.6	**	50.6	49.8	48.1	45.0	41.3	35.8	27.7	13.1	0.0
0.0	20.7	32.1	39.2	44.3	48.1	50.6	52.3	53.1	**	53.1	52.3	50.6	48.1	44.3	39.2	32.1	20.7	0.0
0.0	24.5	34.6	41.3	46.2	49.8	52.3	53.9	54.7	**	54.7	53.9	52.3	49.8	46.2	41.3	34.6	24.5	0.0
1.2	26.2	35.8	42.4	47.2	50.6	53.1	54.7	55.4	**	55.4	54.7	53.1	50.6	47.2	42.4	35.8	26.2	1.2

1.2	26.2	35.8	42.4	47.2	50.6	53.1	54.7	55.4	**	55.4	54.7	53.1	50.6	47.2	42.4	35.8	26.2	1.2
0.0	24.5	34.6	41.3	46.2	49.8	52.3	53.9	54.7	**	54.7	53.9	52.3	49.8	46.2	41.3	34.6	24.5	0.0
0.0	20.7	32.1	39.2	44.3	48.1	50.6	52.3	53.1	**	53.1	52.3	50.6	48.1	44.3	39.2	32.1	20.7	0.0
0.0	13.1	27.7	35.8	41.3	45.0	48.1	49.8	50.6	**	50.6	49.8	48.1	45.0	41.3	35.8	27.7	13.1	0.0
0.0	0.0	20.7	30.7	37.0	41.3	44.3	46.2	47.2	**	47.2	46.2	44.3	41.3	37.0	30.7	20.7	0.0	0.0
0.0	0.0	1.2	22.7	30.7	35.8	39.2	41.3	42.4	**	42.4	41.3	39.2	35.8	30.7	22.7	1.2	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	20.7	27.7	32.1	34.6	35.8	**	35.8	34.6	32.1	27.7	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1	20.7	24.5	26.2	**	26.2	24.5	20.7	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	**	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

No. DE COLETORES CONSIDERADOS : 228 LAMINA TOTAL: 1496.76 mm LAMINA MEDIA : 6.564737 mm

Figura 9 - Padrão estacionário de distribuição de água do
aspersor com perfil elíptico de aplicação.

$$D = \frac{h \times r \times \pi(1 - m^2)}{2 \times v} \quad (15a)$$

$$D = B \times \left[A \times \left(\frac{\pi}{2} - \text{Arc.Sen.} \left(\frac{k_2}{A^{1/2}} \right) - k_2 \times (A - k_2^2)^{1/2} \right] \quad (15b)$$

$$D = C + B \times \left[k_2 \times (A - k_2^2)^{1/2} + A \times \text{Arc.Sen.} \left(\frac{k_2}{A^{1/2}} \right) \right] \quad (15c)$$

$$\text{SENDO : } A = r^2 \times (1 - m^2)$$

$$B = h / (2 \times v \times r)$$

$$C = h \times r \times (1 - m^2) \times \pi / (4 \times v)$$

onde: D = lâmina resultante da passagem do aspersor (mm);

h = precipitação no centro do padrão molhado do aspersor (9,5mm/h);

r = raio de alcance do aspersor (51,1m);

m = distância do ponto em consideração ao eixo de deslocamento do aspersor, expressa como fração do raio ($m = k_1/r$);

v = velocidade de deslocamento do aspersor (50 m/h);

k1 e k2 = coordenadas em relação a posição do aspersor nos pontos de início e término da movimentação, em metros (figura 10).

Para o caso do aspersor com giro de 360°, utilizou-se a equação 15a na região de cobertura completa, conforme recomendado, por BITTINGER & LONGENBAUGH (1962).

Figura 10 - Cálculo da lâmina aplicada pelo aspersor de perfil elíptico em deslocamento linear.

A equação 15b aplicou-se aos coletores na região da extremidade inicial do carreador, situados numa posição anterior à linha de partida do aspersor. A equação 15c foi aplicada à esta mesma região, nos pontos situados a frente da linha de partida do aspersor (figura 10).

Na região da extremidade final do carreador, aplicou-se as mesmas equações utilizadas na extremidade inicial, apenas invertendo a sua aplicação quanto a linha de parada do aspersor: equação 15c nos pontos anteriores ao ponto de parada do aspersor; equação 15b nos pontos posteriores ao ponto de parada do aspersor (figura 10).

Para o caso do aspersor operando com um ângulo de giro de 270 graus, aplicou-se a equação 15c, na região de sobreposição completa, corrigindo-se o valor de lâmina obtido por esta equação pelo fator $360/270$. Os valores de K_2 utilizados neste caso foram aqueles correspondentes ao ponto de retrocesso do setorial, em cada linha de trajeto determinada no padrão molhado do aspersor (figura 10).

Na região da extremidade inicial do carreador, nos pontos situados anteriormente ao ponto de partida do aspersor, aplicou-se a equação 15b, corrigindo-se, também, os valores obtidos pela relação $360/270$. Nos pontos situados na parte posterior ao ponto de partida do aspersor, aplicou-se a equação 15c, com a mesma correção, computando-se os valores de lâmina dos coletores situados

dentro do ângulo seco, com o mesmo processo utilizado na região de sobreposição completa.

Na região da extremidade final do carreador, os valores atribuídos aos coletores, situados na porção anterior ao ponto de parada do aspersor, foram obtidos pela diferença entre os valores dados pelas equações 15c e 15b, aplicando-se, na equação 15c, um valor de k_2 igual aquele do ponto de retrocesso do setorial, e, na equação 15b, um valor de k_2 correspondente ao ponto em consideração (figura 10). Nos pontos localizados além do ponto de parada do aspersor, utilizou-se a diferença entre os valores fornecidos pela equação 15c, obtidos com valores de k_2 iguais ao do ponto de retrocesso do setorial, na linha de deslocamento determinada no padrão molhado do aspersor, e com valores de K_2 correspondentes ao ponto em consideração (figura 10). Tanto para o caso dos coletores situados acima da linha de partida, como para os coletores situados abaixo desta linha, corrigiu-se os valores finais pelo fator 360/270.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

4.1. Ensaio de Caracterização da Turbina.

Os resultados originais dos ensaios de caracterização da turbina do autopropelido Chuvisco são apresentados na tabela 2.1 do Apêndice 2. Os valores de torque apresentados nesta tabela foram obtidos pelas equações 12 e 13, adotando-se, na equação 12, um valor de 1.3 daN, para o índice F_c (somatório dos pesos no lado da célula de carga) e, na equação 13, para o índice r_p (raio médio interno da polia), um valor equivalente a metade do diâmetro da polia utilizada no ensaio.

Os 248 conjuntos de valores de torque, rotação e vazão foram ajustados, por meio de regressão múltipla, a uma equação semelhante aquela dada em 10 c, conforme proposto no modelo desenvolvido.

A seguinte equação, com um coeficiente de determinação múltipla (R^2) de 0,996, foi obtida para relacionar a rotação da turbina do autopropelido Chuvisco, operando com um bocal de 50 mm, a uma determinada condição de vazão (Q) e exigência de torque no eixo (TT) :

$$RTT = - 97,72 + 7,51 Q - 12610 (TT/Q) \quad (16)$$

onde: RTT = rotação da turbina (rpm);

Q = vazão na turbina (m³/h);

TT = torque no eixo da turbina (daN.m).

A equação 16 confirma a relação linear entre torque e rotação, para uma dada vazão, demonstrada anteriormente na equação 4 de LINSLEY & FRANZINI (1978). Esta linearidade pode ser melhor observada na figura 11.

Figura 11 - Torque x Rotação nos ensaios da turbina do Chuvisco, realizados com diferentes vazões.

O efeito da vazão sobre a relação torque x rotação pode, também, ser observado na figura 11. A primeira reta a esquerda, nesta figura, refere-se aos dados obtidos com uma vazão de 46,5 m³/h. Nesta reta, para um

aumento no torque exigido da turbina de 0,2 para 0,8 daN.m, observa-se uma queda de 150 unidades na rotação da turbina, que passa de 200 rpm para um valor próximo de 50 rpm. No caso da vazão de 78,7 m³/h, representada pela reta mais a direita, a mesma elevação no torque provoca uma redução de apenas 80 unidades na rotação da turbina, que passa de 450 para 370 rpm.

A relação entre a capacidade máxima de tração da turbina e a vazão pode, também, ser observada na figura 11. Para rotações próximas de zero, a reta correspondente à vazão de 46,5 m³/h projeta um torque máximo próximo de 1 daN.m. Na mesma condição de rotação, a reta correspondente à vazão de 78,7 m³/h projeta um valor próximo de 3 daN.m.

Estes resultados, aplicados ao funcionamento de um equipamento autopropelido de irrigação dotado de um mecanismo de propulsão do tipo turbina de ação, permitem concluir que:

a) Para uma dada condição de exigência de torque, a velocidade de deslocamento do equipamento será tanto maior quanto maior for a vazão ao longo de sua turbina.

b) Para um dada exigência de torque, quanto maior for a vazão da turbina, menor será a variação da sua rotação.

c) Quanto menor for a vazão ao longo da turbina, menor será a capacidade de vencer obstáculos do equipamento.

4.2. Ensaios de Campo para determinação do esforço de tração e velocidade de deslocamento.

Os resultados originais dos oito ensaios de verificação das condições operacionais dos autopropelidos ao longo do carreador são apresentados no Apêndice 3, nas tabelas 3.1 a 3.8.

Nestas tabelas constata-se ligeira queda na rotação da turbina do autopropelido, acompanhada de aumento no esforço de tração, em todos os ensaios conduzidos com o Chuvisco, confirmando as observações de ADDINK et alii (1983), feitas em equipamentos autopropelidos deste mesmo tipo. Por outro lado, verificou-se um aumento na velocidade de deslocamento, que pode ser explicado pelo aumento no perímetro do tambor enrolador de cabo de aço, conforme já citado por ADDINK et alii.

Nos ensaios realizados com as mangueiras de 200 m (Combo e Perromatic), embora não se tenha registrado a velocidade de rotação da turbina, verificou-se em campo uma queda acentuada da velocidade de deslocamento dos autopropelidos ao longo do carreador, acompanhada de aumento no esforço de tração.

A relação linear entre o esforço de tração e o deslocamento ao longo do carreador, adotada no modelo proposto e na Norma ISO 8224 (ISO, 1984), só foi observada nos ensaios realizados com as mangueiras de 100 m de comprimento, tanto em solo nú como vegetado, conforme se pode observar nas figuras 12, 13, 14 e 15.

No caso das mangueiras de 200 m de comprimento (figuras 16 e 17), o aumento não linear do esforço de tração, observado após aproximadamente 200 m de deslocamento dos autopropelidos pode ser atribuído a geometria destes sistemas. Considerando-se que, nos ensaios 7 e 8, o diâmetro molhado do aspersor era de 100 m, temos uma situação, no início do carreador, na qual toda a superfície do solo onde está se efetuando o deslocamento da mangueira recebe água do aspersor. Ao atingir uma posição à 200 m do início do deslocamento, apenas 50m, dos 100 m de mangueira sob tração estão sendo molhados. No final do carreador, a 400 m do ponto de partida, apenas 50 m, dos 200 m de mangueira sob tração, estão sendo molhados. Desta forma, um comprimento cada vez menor de mangueira sob tração está se beneficiando do encharcamento do carreador, que diminui o atrito da mangueira com a superfície do solo, e conseqüentemente o esforço de tração exigido.

No caso da mangueira de 100 m, a situação mais desfavorável aconteceu no final do carreador, com 50 m de mangueira sendo molhada e 50 m sem molhar, numa situação próxima ao que ocorre no ponto localizado a 200 m do ponto

FORÇA NO DESLOCAMENTO

ENSAIO No. 1

Figura 12 - Esforço de tração com mangueira de 75 mm (3") x 100 m em terreno vegetado.

FORÇA NO DESLOCAMENTO

ENSAIO N.º 2

Figura 13 - Esforço de tração com mangueira de 75 mm (3") x 100 m em terreno vegetado.

Figura 14 - Esforço de tração com mangueira de 75mm (3") x 100 m em solo nú.

Figura 15 - Esforço de tração com mangueira de 75 mm (3") x 100 m em solo nú.

FORÇA NO DESLOCAMENTO

ENSAIO N.º 7

Figura 16 - Esforço de tração com mangueira de 100 mm (4")
x 200 m em solo nú.

FORÇA NO DESLOCAMENTO

ENSAIO N.º 8

Figura 17 - Esforço de tração com mangueira de 110 mm
(4 3/8") x 200 m em terreno vegetado.

de início da movimentação, dos carregadores de 400 m, onde, conforme indicam as figuras 16 e 17, ainda existe uma linearidade entre força de tração e deslocamento.

Desta forma, para o caso do Chuvisco, que tem 100 m de mangueira, é possível correlacionar o esforço de tração ao deslocamento através de uma relação linear. Por outro lado, no caso dos autopropelidos com mangueiras de mais de 100 m de comprimento, os resultados indicam que um outro tipo de equacionamento do problema deve ser adequado.

No caso do autopropelido Chuvisco, as equações de regressão, entre o esforço de tração (F em daN) e a distância percorrida no carregador (D em m), obtidas com os dados dos ensaios 1 e 2, realizados em carregador vegetado, e 4 e 5, realizados em solo nú, foram as seguintes:

$$\text{ensaio 1 : } F = 93,2 + 2,28 * D \quad (R^2 = 0,992)$$

$$\text{ensaio 2 : } F = 85,1 + 2,34 * D \quad (R^2 = 0,996)$$

$$\text{ensaio 3 : } F = 84,3 + 1,59 * D \quad (R^2 = 0,971)$$

$$\text{ensaio 4 : } F = 101,8 + 1,60 * D \quad (R^2 = 0,964)$$

Estas equações, aplicadas ao procedimento proposto no modelo, no que se refere ao cálculo do

coeficiente de atrito, conforme dado pela equação 8, resultam nos seguintes valores de coeficiente de atrito (A), considerando-se que a metade do peso linear da mangueira $0,5 \times PL$ tem um valor de 2,89 daN:

Ensaio	Superfície	Coeficiente de atrito (A)
1	solo vegetado	$2,28/2,89 = 0,79$
2	solo vegetado	$2,34/2,89 = 0,81$
4	solo nú	$1,59/2,89 = 0,55$
5	solo nú	$1,60/2,89 = 0,55$

Justifica-se, portanto, para o caso do Chuvisco, deslocando-se em carreador vegetado, a adoção de um coeficiente de atrito da ordem de 0,8 e, para o caso de carreador em solo nú, um coeficiente de atrito da ordem de 0,55.

Da mesma forma, o valor do esforço inicial (F_i) que é característico do equipamento ensaiado, será dado por:

Ensaio	L_i	Intercepto	F_i
(-)	(m)	(daN)	(daN)
1	4,5	93,2	72,7
2	4,5	85,1	63,9
4	3,25	84,3	74,0
5	12,6	101,8	61,7

De acordo com estes resultados, o esforço inicial pode ser estimado por um valor de 68 daN, que corresponde a cerca de 10% do peso total do conjunto (68/640).

Desta forma, a equação 5 do modelo proposto, que descreve o esforço exigido do mecanismo propulsor em função do deslocamento, toma a seguinte forma:

a) Para um carreador vegetado

$$F(d) = 68 + 0,8 * ((d/2) + L_i) * 5,89$$

b) Para um carreador em solo nú

$$F(d) = 68 + 0,55 * ((d/2) + L_i) * 5,89$$

A equação do carreador vegetado, que resulta na maior exigência de tração, está de acordo com a recomendação da norma ISO, de ensaio dos mecanismos propulsores (ISO,1984), que adota para o coeficiente de atrito um valor igual a 0,8 nos ensaios comparativos de equipamentos autopropelidos.

4.3. Verificação do Modelo Proposto

4.3.1. Verificação do Processo de Cálculo da Velocidade.

O processo de cálculo da velocidade foi avaliado confrontando-se os valores de velocidade ao longo do carreador, observados em campo nos ensaios 1, 2, 3, 4, 5 e 6, com valores obtidos pela aplicação do modelo proposto, conforme descrito nos itens a1 a a5 de materiais e métodos, ao autopropelido Chuvisco da Asbrasil Aspersão no Brasil S/A.

Um programa de computador (Apêndice 4) foi desenvolvido, com base neste processo, para gerar valores de velocidade de deslocamento ao longo do carreador, nas diferentes condições operacionais do autopropelido Chuvisco.

Os valores característicos do autopropelido Chuvisco, determinados anteriormente, e comuns às 6 simulações efetuadas por este programa, foram os seguintes:

- a) resistência ao rolamento do autopropelido (F_i) = 68 daN;
- b) peso linear da mangueira (PL) = 5,78 daN;
- c) quantidade total de cabo no tambor (QTC) = 210 m;
- d) diâmetro do cabo de aço (d_c) = 6,0 mm;
- e) relação QAC x RET conforme tabela 1;
- f) rotação da turbina em função do torque e da vazão dada pela equação 16 : $RTT = -97,72 + 7,51 Q - 12610 (TT/Q)$.

Os valores atribuídos à distância do autopropelido à âncora e ao comprimento inicial de mangueira foram aqueles observados em campo ao início de cada ensaio, constantes das tabelas 3.1 a 3.6. Os valores

atribuídos à vazão e à relação de transmissão foram as médias das observações feitas em campo durante os diferentes ensaios, registrados nestas mesmas tabelas. Os valores atribuídos ao coeficiente de atrito foram selecionados, em função do tipo da cobertura do carreador, de acordo com aqueles obtidos pelas regressões de força e deslocamento, já apresentados.

A tabela 3 apresenta estes valores de entrada, utilizados nas 6 simulações, realizadas pelo programa.

Tabela 3 - Valores das variáveis operacionais utilizados na simulação da velocidade do Chuvisco.

ENSAIO	1	2	3	4	5	6
vazão (m ³ /h)	53,7	53,6	70,1	92,6	70,9	70,6
carreador	veg.	veg.	solo	solo	solo	solo
coef. atrito	0,79	0,81	0,55	0,55	0,55	0,55
distância	179,4	177,4	184,1	184,6	165,4	150,9
comp. inicial	4,5	4,5	3,2	3,2	12,6	12,8
engrenagem	17	17	17	17	15	19
r. médio	3,63	(3,79)	3,90	3,78	3,75	3,88
rel. transm.	276,6	288,8	297,2	288,8	323,8	264,54

As figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23 apresentam a confrontação dos valores de velocidade observados em campo e previstos pelo modelo, conforme obtidos nas simulações.

A tabela 4 apresenta os valores de velocidade média de deslocamento, computados com base no modelo e nas observações de campo.

Em termos de velocidade média de deslocamento, conforme se observa na tabela 4, o modelo apresentou excelentes resultados, havendo um desvio máximo da ordem de 6%, em relação ao valor observado.

Tabela 4 - Velocidade média de deslocamento observada e prevista.

Ensaio	Veloc.Obs.(A)	Veloc.Prevista (B)	Desvio
No.	m/h	m/h	B/A
1	47,0	48,2	1,03
2	47,1	46,3	0,98
3	64,4	68,1	1,06
4	94,6	99,8	1,05
5	62,2	64,5	1,04
6	81,1	79,8	0,98

VELOCIDADE NO CARREADOR

ENSAIO No. 1

Figura 18 - Velocidades Observadas no Ensaio 1 e previstas pelo Modelo, nas mesmas condições operacionais.

VELOCIDADE NO CARREADOR

ENSAIO N.º 2

Figura 19 - Velocidades Observadas no Ensaio 2 e previstas pelo Modelo, nas mesmas condições operacionais.

VELOCIDADE NO CARREADOR

ENSAIO No.3

Figura 20 - Velocidades Observadas no Ensaio 3 e previstas pelo Modelo, nas mesmas condições operacionais.

VELOCIDADE NO CARREADOR

ENSAIO N.º 4

Figura 21 - Velocidades Observadas no Ensaio 4 e previstas pelo Modelo, nas mesmas condições operacionais.

VELOCIDADE NO CARREADOR

ENSAIO No. 5

Figura 22 - Velocidades Observadas no Ensaio 5 e previstas pelo Modelo, nas mesmas condições operacionais.

VELOCIDADE NO CARREADOR

ENSAIO No.6

Figura 23 - Velocidades Observadas no Ensaio 6 e previstas pelo Modelo, nas mesmas condições operacionais.

Em termos de valores individuais de velocidade de deslocamento, o modelo não apresentou o mesmo grau de precisão conforme se observa nas figuras 16 a 21. Estas diferenças, entre os valores previstos e medidos, podem ser explicadas em função do padrão de enrolamento do cabo de aço ao redor do tambor. No modelo, de acordo com a tabela 1, o perímetro de enrolamento do cabo de aço cresce de forma constante e uniforme. No campo, o enrolamento se efetua de forma desordenada. O perímetro de enrolamento aumenta com taxas instantâneas mais elevadas, havendo, no entanto, decréscimo de seu valor, em função da passagem do cabo de uma posição mais elevada no rolo para uma posição mais baixa. Estes "pulos" do cabo explicam as grandes oscilações de velocidade verificadas em campo e não reproduzidas pelos valores obtidos através do modelo.

Em termos médios, os processos de enrolamento se igualam, razão pela qual as velocidades médias são tão próximas, conforme indicado pelos valores da tabela 4.

4.3.2. Verificação do Processo de Cálculo da lâmina Aplicada.

4.3.2.1. Verificação Analítica.

As figuras 24 e 25 apresentam os valores de lâmina aplicada em uma secção longitudinal da faixa molhada

PERFIL LONGITUDINAL ELIPSE -SETORIAL 360

Figura 24 - Lâminas resultantes do deslocamento linear do aspersor de perfil de aplicação elíptico, com o mecanismo setorial em giro de 360 graus.

PERFIL LONGITUDINAL ELIPSE -SETORIAL 270

Figura 25 - Lâminas resultantes do deslocamento linear do aspersor de perfil de aplicação elíptico, com o mecanismo setorial em giro de 270 graus.

resultante da movimentação linear, a uma velocidade constante de 50 m/h, de um aspersor, com raio de 51,1 m e 54,4 m³/h de vazão, em um carreador de 180 m de comprimento. O perfil, mostrado nestas figuras, foi traçado a uma distância de 9 m do eixo de deslocamento do aspersor, assumindo-se giros de 360 e 270 graus, nas figuras 24 e 25, respectivamente.

Nestas figuras, os pontos de início e término da movimentação do aspersor correspondem, respectivamente, à distância zero e 180 m. Os valores de lâmina indicados pela legenda "previsto" foram obtidos através de integração numérica adotada no modelo desenvolvido (fig.5), enquanto os valores identificados pela legenda "analítico" foram obtidos pelas equações 15a, 15b e 15c (fig.10).

Observa-se nestas figuras que os valores obtidos pelos dois processos são equivalentes, sendo, portanto, adequado o procedimento de cálculo adotado no modelo proposto.

4.3.2.2. Verificação Experimental.

Os resultados originais dos ensaios de campo para a determinação dos perfis longitudinais e transversais de aplicação de água do autopropelido Chuvisco, operando com bocais de 28 x 6,3 mm, a uma pressão de 583 kPa, com um

ângulo de giro de 360 graus e com um ângulo de giro de 270 graus são mostrados nas tabelas 5.1 a 5.10 do Apêndice 5.

Os resultados da simulação da lâmina aplicada ao longo do carreador, obtidos com o modelo desenvolvido, para as duas situações de campo consideradas, são mostrados nas tabelas 5.11 e 5.12 do Apêndice 5.

Nas figuras 26 a 29 pode-se confrontar os valores previstos pelo modelo aos observados em campo, para o caso de um ângulo de giro de 360 graus. Nas figuras 30 a 33 estes mesmos valores são confrontados para o caso de um giro de 270 graus.

O perfil 1, mostrado nas figuras 26 e 30, confronta a média dos valores experimentais de lâmina coletada a 60 e 63 m do ponto de partida do aspersor, com valores previstos pelo modelo proposto, gerados a uma distância de 63 m do ponto de partida do aspersor.

Da mesma forma, os perfis 2, 3 e 4 confrontam, respectivamente, médias de valores medidos a 80 e 83 m, 100 e 103 m e 120 e 123 m, com dados gerados a 81, 99 e 123 m do ponto de partida do aspersor.

Os valores negativos de distância ao aspersor referem-se àqueles valores identificados como "esquerda" nas planilhas de campo (tabelas 5.1 a 5.10).

A análise destas figuras indica que o modelo tem uma boa capacidade de refletir a tendência geral dos dados de campo. Podendo reproduzir satisfatoriamente as alterações introduzidas pela mudança do ângulo de operação.

PERFIL TRANSVERSAL DE APLICAÇÃO

ENSAIO No.1 - PERFIL 1

Figura 26 - Lâminas observadas e previstas a 63 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio : 1- 360 graus).

PERFIL TRANSVERSAL DE APLICAÇÃO

ENSAIO No.1 - PERFIL 2

Figura 27 - Lâminas observadas e previstas a 81 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio : 1- 360 graus).

PERFIL TRANSVERSAL DE APLICAÇÃO

ENSAIO No.1 - PERFIL 3

Figura 28 - Lâminas observadas e previstas a 99 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio : 1- 360 graus).

PERFIL TRANSVERSAL DE APLICAÇÃO

ENSAIO No.1 - PERFIL 4

Figura 29 - Lâminas observadas e previstas a 123 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio : 1- 360 graus).

PERFIL TRANSVERSAL DE APLICAÇÃO

ENSAIO No. 2- PERFIL 1

Figura 30 - Lâminas observadas e previstas a 63 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio : 2- 270 graus).

PERFIL TRANSVERSAL DE APLICAÇÃO

ENSAIO No.2- PERFIL 2

Figura 31 - lâminas observadas e previstas a 81 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio : 2- 270 graus).

PERFIL TRANSVERSAL DE APLICAÇÃO

ENSAIO No.2- PERFIL 3

Figura 32 - Lâminas observadas e previstas a 99 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio : 2- 270 graus).

PERFIL TRANSVERSAL DE APLICAÇÃO

ENSAIO No.2- PERFIL 4

Figura 33 - Lâminas observadas e previstas a 123 m do ponto de partida do Chuvisco (ensaio : 2- 270 graus).

As figuras 34 e 35 apresentam esta confrontação de valores, observados e previstos, de uma forma mais quantitativa. Nelas são apresentados os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen, calculados com base em valores obtidos em campo e com base em valores previstos pelo modelo, para espaçamentos entre carregadores de 36, 42, 48, 54, 60, 66 e 72 m.

No caso da figura 34, que representa o aspersor operando com um ângulo de giro de 360 graus, houve uma nítida tendência do modelo sub estimar os valores observados em campo. Estes desvios atingiram um valor máximo de 7 pontos, isto é, para um valor observado de 88% foi previsto um valor de 81%. Nas 28 comparações mostradas nesta figura o valor médio do desvio foi de 3 unidades.

Estes desvios não refletem a validade do modelo mas sim, as limitações da aplicação dos seus resultados à condições de vento muito diferentes daquelas observadas durante o ensaio estacionário de distribuição de água do aspersor, que é a base para o cálculo dos valores de lâmina ao longo da faixa irrigada.

Por outro lado, os desvios mostrados na figura 35 confirmam a limitação do modelo na simulação, em condições de vento, da operação do aspersor em movimentação com o mecanismo setorial ativado. Neste caso, as maiores diferenças entre os valores observados e os valores previstos, em relação aquelas obtidas com o giro completo, podem ser atribuídas à concepção do modelo que não é capaz

Figura 34 - Índices de uniformidade, observados em campo e previstos pelo modelo (ensaio : 1-360 graus).

Figura 35 - Índices de uniformidade, observados em campo e previstos pelo modelo (ensaio : 2-270 graus).

de reproduzir a distorção do vento no setor seco.

Desta forma, a semelhança do recomendado para o giro completo, deve-se utilizar no modelo resultados de ensaios estacionários de distribuição de água de aspersores operando com o mecanismo setorial ativado, realizados em condições de vento semelhantes àquelas que se deseja reproduzir na operação do autopropelido.

As figuras 36 e 37 apresentam a confrontação dos perfis longitudinais de aplicação de água obtidos em campo e previstos pelo modelo. Nestas figuras, adotou-se, para as distâncias, a mesma simbologia das figuras 24 e 25.

Na análise destes perfis, aplicam-se as mesmas considerações já efetuadas na análise dos perfis transversais, observando-se os mesmos efeitos do vento e a mesma resposta do modelo ao ângulo de giro do aspersor.

O efeito do aumento da velocidade de deslocamento sobre a lâmina aplicada é evidente nas duas figuras, demonstrando a importância da incorporação das características do mecanismo propulsor na análise da uniformidade global da área irrigada.

A diferença entre os valores de lâmina aplicada nas extremidades do carreador, em relação a sua porção central, ilustra o potencial deste tipo de simulação na solução deste problema, conforme demonstram os trabalhos de ROCHESTER (1983a), GRANT et alii (1984) e de KELLER & NIR (1986).

PERFIL LONGITUDINAL ENSAIO 1- MEDIAS DOS PERFIS

Figura 36 - Perfil longitudinal da água aplicada medido em campo e dado pelo modelo (ensaio: 1-360 graus).

PERFIL LONGITUDINAL ENSAIO 2- MEDIAS DOS PERFIS

Figura 37 - Perfil longitudinal da água aplicada medido em campo e dado pelo modelo (ensaio: 2-270 graus).

5. CONCLUSÕES.

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

a) as características de torque e rotação das turbinas de ação, do mecanismo propulsor dos equipamentos autopropelidos de irrigação, podem ser adequadamente obtidas e expressas pela metodologia utilizada neste trabalho;

b) a relação linear entre o esforço necessário para o deslocamento do autopropelido e o comprimento de mangueira sendo tracionado, adotada no modelo proposto, não é regra geral, recomendando-se, no caso de autopropelidos com mais de 200m de mangueira, um estudo mais detalhado desta relação;

c) a velocidade média de deslocamento ao longo do carreador de um equipamento autopropelido de irrigação, com as mesmas características do autopropelido Chuvisco, pode ser adequadamente prevista pelo modelo proposto;

d) a velocidade instantânea de deslocamento ao longo do carreador será prevista com maior exatidão, através do modelo proposto, no caso de carretéis enroladores e autopropelidos tracionados por cabo, dotados de um

mecanismo de regularização do recolhimento de cabo ou mangueira no tambor enrolador;

e) o processo, adotado no modelo proposto, para integração do perfil de aplicação de água, nos diversos pontos ao longo da faixa molhada pelo aspersor em deslocamento linear, adotado no modelo mostrou-se compatível com o processo analítico;

f) a distribuição espacial da água aplicada por um equipamento autopropelido de irrigação só é adequadamente representada pelo modelo, quando se insere no modelo a distribuição estacionária de água do aspersor do autopropelido nas mesmas condições operacionais e de vento;

g) as simulações da operação do aspersor em ângulos de giro diferentes daquele observado no ensaio estacionário devem ser feitas somente em condições de vento calmo.

Como sugestão para trabalhos futuros, os seguintes aspectos devem ser ressaltados:

a) a transformação da equação de torque x rotação, adotada no modelo proposto, visando incluir, como uma variável, o diâmetro do bocal da turbina;

b) a execução de uma série de simulações, alimentando-se o modelo proposto com ensaios estacionários realizados sob diferentes condições de vento, nas mesmas condições operacionais, buscando verificar a adequação das recomendações, atualmente adotadas, de espaçamento entre carregadores sob condições de vento;

c) a execução de uma série de simulações, adotando-se diferentes tempos de parada nas extremidades, buscando verificar a adequação dos critérios para cálculo dos tempos de parada nas extremidades,

d) a execução de uma série de simulações, considerando-se diferentes vazões na turbina do mecanismo propulsor, buscando verificar o efeito da desuniformidade da velocidade de deslocamento sob a uniformidade global de aplicação de água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Aspersores para irrigação. Determinação da distribuição de água - Método de ensaio*, NBR 8989 Rio de Janeiro, 1985. 8p.

ADDINK, J. W. ; KELLER, J. ; PAIR, C.H. ; SNEDO, R. E. ; WOLFE, J.W. *Desing and operation of sprinkler systems*. In: JENSEN, M.E., ed. *Design and operation of farm irrigation systems*. St.Joseph, ASAE, 1983. cap. 15, p.621-658.

BERNUT, R.D. *Uniformity desing criteria under limited water*. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, 26(5):1418-21, 1983.

BITTINGER, M.W. & LONGENBAUGH, R.A. *Theoretical distribution of water from a moving irrigation sprinkler*. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, 5(1):26-30, 1962.

COLLIER, R.L. & ROCHESTER, E.W. Water application uniformity of hose towed traveler irrigators. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, 23(5):1135-1138, 1980.

GRANT, T.W.; ANDERSON, W.C.; ROCHESTER, E.W. Constant and variable operating-angle sprinklers for traveler irrigators. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, 27(4):1106-10, 1984.

HILL, R.W. & KELLER, J. Irrigation system selection for maximum crop profit. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, 21(1): 366-72, 1980.

HOWELL, D. T. Sprinkler nonuniformity characteristics and yield. Journal of the Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineering, Ann Arbor, 90(3):55-67, 1964

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Traveler Irrigation Machines-part-1 :Test Methods ISO/DIS 8224/1. Geneva, 1984. 9p. (Draft).

KELLER, J. & NIR, D. Traveling gun sprinkler design. Logan, Utah State University, 1986. 30p.

LETEY, J. Irrigation uniformity as related to optimum crop production. - additional research is needed. *Irrigation Science*, Ann Arbor, 6(4):253-263, 1985.

LINSLEY, R.K. & FRANZINI, J.B. *Engenharia de recursos hídricos*. Trad. L.A. Pastorino. São Paulo, Mc Graw-Hill, 1978. 798p.

MERRIAM, J.L. & KELLER, J. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. 3 ed. Logan, Utah State University, 1978. 271p.

OAKES, L.P. & ROCHESTER, E.W. Energy utilization of hose towed Traveler Irrigators. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, 23(5) : 1131-1134, 1980.

ROCHESTER, E. W. Initial delay requirements in traveler irrigation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, 26(1):137-140, 1983a.

ROCHESTER, E.W. Water distributions with initial stationary sets in traveler irrigation. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, 26(4):1105-1108, 1983 b.

ROCHESTER, E.W.; HACKWELL, S.C.; YOO, K.H. Pressure vs. flow control in traveler irrigation evaluation. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, 32(6):2029-2034, 1989.

ROLLAND, L. Mechanized Sprinkler Irrigation. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1982. 409 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 35)

ROSA, J.A. Avaliação do desempenho de um sistema de irrigação microautopropelido em diferentes condições de operação. Viçosa, 1986. 72p. (M.S. - Universidade Federal de Viçosa).

SCARDUA, R. & LEME E.J.de A. Determinação da uniformidade e eficiência da irrigação por aspersão com equipamento autopropelido em projetos de irrigação em cana de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 1. Maceió , 1979. Anais, Maceió, IAA, 1979 p.286-290.

SEGINER, I. A note on the economical significance of uniform water application. *Irrigation Science*, Ann Arbor, 1(1):19-25, 1978.

SEGINER, I. Spatial water distribution in sprinkler irrigation. In: HILLEL, D. ed. *Advances in Irrigation*. Academic Press, 1987. 4:119-165.

SHULL, H. & DYLLA, A.S. Traveling application uniformity in high winds. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, 19(2):254-8, 1976.

SOLOMON, K. H. Global uniformity of trickle systems. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, 28(4):1151-1158, 1985.

ZAGGO, S.P.; COLOMBO, A.; GIL, O.F.; SCALOPPI, E.J. Simulação de desempenho de irrigação com aspersor autopropelido. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, VII. Florianópolis, 1988. *Anais*. Florianópolis, ABID, 1988, 1:283-308.

APÊNDICE

APÊNDICE - 1

MEDIDAS DE VAZÃO DO ASPERSOR MEC 21 DA ASBRASIL
CONFORME RELATÓRIO 987/85 DO CENTRO NACIONAL DE
ENGENHARIA AGRÍCOLA PAG-13

BOCAL	PRESSÃO	VAZÃO
(mm)	(kgf/cm ²)	(m ³ /h)
28 x 6.3	4,0	43,8
28 x 6.3	5,0	49,1
28 x 6.3	6,0	53,9
30 x 6.3	4,0	51,7
30 x 6.3	5,0	57,8
30 x 6.3	6,0	63,3
32 x 6.3	4,0	58,9
32 x 6.3	5,0	66,0
32 x 6.3	6,0	72,4
34 x 6.3	4,0	74,1
34 x 6.3	5,0	83,0
34 x 6.3	6,0	91,1

APÊNDICE - 2

ENSAIOS DE CARATERIZAÇÃO DA TURBINA DO AUTOPROPELIDO
CHUVISCO DA ASBRASIL COM BOCAL DE 50mm

TABELA 2.1 Resultado do ensaio da turbina do autopropelido chuva.

NUMERO	ROTACAO (rpm)	PESO (daN)	LEITURA (daN)	POLIA (mm)	PRESSAO (Bar)	BOCAL (mm)	TORQUE (daN*m)	VAZAO (m ³ /h)
1.000	245.000	1.000	0.700	50.0	4.500	28.000	0.025	46.500
2.000	244.000	1.000	0.700	50.0	4.500	28.000	0.025	46.500
3.000	249.000	1.000	0.700	50.0	4.500	28.000	0.025	46.500
4.000	243.000	1.000	1.200	50.0	4.500	28.000	0.038	46.500
5.000	244.000	1.000	1.200	50.0	4.500	28.000	0.038	46.500
6.000	241.000	1.000	1.200	50.0	4.500	28.000	0.038	46.500
7.000	237.000	2.000	3.100	50.0	4.500	28.000	0.060	46.500
8.000	238.000	2.000	3.100	50.0	4.500	28.000	0.060	46.500
9.000	242.000	2.000	3.100	50.0	4.500	28.000	0.060	46.500
10.000	241.000	2.000	3.100	50.0	4.500	28.000	0.060	46.500
11.000	234.000	3.000	4.400	50.0	4.500	28.000	0.068	46.500
12.000	233.000	3.000	4.400	50.0	4.500	28.000	0.068	46.500
13.000	232.000	3.000	4.300	50.0	4.500	28.000	0.065	46.500
14.000	235.000	3.000	4.200	50.0	4.500	28.000	0.063	46.500
15.000	237.000	4.000	5.500	50.0	4.500	28.000	0.070	46.500
16.000	230.000	4.000	5.600	50.0	4.500	28.000	0.073	46.500
17.000	226.000	5.000	7.200	50.0	4.500	28.000	0.088	46.500
18.000	224.000	5.000	7.200	50.0	4.500	28.000	0.088	46.500
19.000	221.000	5.000	7.300	50.0	4.500	28.000	0.090	46.500
20.000	225.000	6.000	8.900	50.0	4.500	28.000	0.105	46.500
21.000	223.000	6.000	8.900	50.0	4.500	28.000	0.105	46.500
22.000	223.000	6.000	9.000	50.0	4.500	28.000	0.108	46.500
23.000	226.000	6.000	9.000	50.0	4.500	28.000	0.108	46.500
24.000	219.000	7.000	10.200	50.0	4.500	28.000	0.113	46.500
25.000	220.000	7.000	10.200	50.0	4.500	28.000	0.113	46.500
26.000	217.000	7.000	10.400	50.0	4.500	28.000	0.118	46.500
27.000	214.000	7.000	10.400	50.0	4.500	28.000	0.118	46.500
28.000	209.000	8.000	12.400	50.0	4.500	28.000	0.143	46.500
29.000	211.000	8.000	12.400	50.0	4.500	28.000	0.143	46.500
30.000	211.000	9.000	14.900	50.0	4.500	28.000	0.148	46.500
31.000	212.000	9.000	14.900	50.0	4.500	28.000	0.148	46.500
32.000	215.000	9.000	14.900	50.0	4.500	28.000	0.148	46.500
33.000	209.000	10.000	14.800	50.0	4.500	28.000	0.153	46.500
34.000	214.000	10.000	14.800	50.0	4.500	28.000	0.153	46.500
35.000	211.000	12.000	16.600	50.0	4.500	28.000	0.148	46.500
36.000	214.000	16.600	16.600	50.0	4.500	28.000	0.148	46.500
37.000	198.000	14.000	19.000	50.0	4.500	28.000	0.158	46.500
38.000	206.000	14.000	19.000	50.0	4.500	28.000	0.158	46.500
39.000	196.000	16.000	22.100	50.0	4.500	28.000	0.185	46.500
40.000	197.000	16.000	22.100	50.0	4.500	28.000	0.185	46.500

TABELA 2.1 Continuação

NUMERO	ROTACAO (rpm)	PESO (daN)	LEITURA (daN)	POLIA (mm)	PRESSAO (Bar)	BOCAL (mm)	TORQUE (daNm)	VAZAO (m ³ /h)
41.000	193.000	18.000	25.300	50.0	4.500	28.000	0.215	46.500
42.000	197.000	18.000	25.300	50.0	4.500	28.000	0.215	46.500
43.000	196.000	18.000	24.900	50.0	4.500	28.000	0.205	46.500
44.000	193.000	20.000	30.500	50.0	4.500	28.000	0.230	46.500
45.000	189.000	20.000	30.500	50.0	4.500	28.000	0.230	46.500
46.000	187.000	22.000	30.100	50.0	4.500	28.000	0.235	46.500
47.000	187.000	24.000	32.600	50.0	4.500	28.000	0.248	46.500
48.000	188.000	24.000	32.600	50.0	4.500	28.000	0.248	46.500
49.000	177.000	26.000	35.900	50.0	4.500	28.000	0.280	46.500
50.000	175.000	26.000	36.000	50.0	4.500	28.000	0.283	46.500
51.000	183.000	28.000	37.200	50.0	4.500	28.000	0.263	46.500
52.000	178.000	30.000	39.900	50.0	4.500	28.000	0.280	46.500
53.000	174.000	30.000	40.000	50.0	4.500	28.000	0.283	46.500
54.000	176.000	32.000	42.300	50.0	4.500	28.000	0.290	46.500
55.000	159.000	1.000	5.200	132.5	4.500	28.000	0.364	46.500
56.000	148.000	1.000	5.700	132.5	4.500	28.000	0.398	46.500
57.000	110.000	2.000	8.000	132.5	4.500	28.000	0.484	46.500
58.000	118.000	2.000	8.100	132.5	4.500	28.000	0.490	46.500
59.000	78.000	4.000	13.200	132.5	4.500	28.000	0.696	46.500
60.000	66.000	5.000	14.700	132.5	4.500	28.000	0.729	46.500
61.000	82.000	4.000	12.900	132.5	4.500	28.000	0.676	46.500
62.000	63.000	6.000	15.900	132.5	4.500	28.000	0.742	46.500
63.000	55.000	7.000	17.600	132.5	4.500	28.000	0.788	46.500
64.000	47.000	8.000	18.600	132.5	4.500	28.000	0.788	46.500
65.000	37.000	9.000	20.100	132.5	4.500	28.000	0.822	46.500
66.000	496.000	2.000	2.400	50.0	4.500	34.000	0.043	78.700
67.000	486.000	4.000	4.600	50.0	4.500	34.000	0.048	78.700
68.000	478.000	8.000	11.400	50.0	4.500	34.000	0.118	78.700
69.000	476.000	10.000	13.800	50.0	4.500	34.000	0.128	78.700
70.000	475.000	12.000	16.200	50.0	4.500	34.000	0.138	78.700
71.000	473.000	14.000	18.500	50.0	4.500	34.000	0.145	78.700
72.000	472.000	16.000	20.800	50.0	4.500	34.000	0.153	78.700
73.000	469.000	18.000	23.300	50.0	4.500	34.000	0.165	78.700
74.000	465.000	20.000	25.500	50.0	4.500	34.000	0.170	78.700
75.000	466.000	22.000	27.800	50.0	4.500	34.000	0.178	78.700
76.000	463.000	24.000	29.800	50.0	4.500	34.000	0.178	78.700
77.000	460.000	26.000	32.200	50.0	4.500	34.000	0.188	78.700
78.000	457.000	28.000	34.700	50.0	4.500	34.000	0.200	78.700
79.000	452.000	30.000	37.600	50.0	4.500	34.000	0.223	78.700
80.000	452.000	32.000	39.100	50.0	4.500	34.000	0.210	78.700
81.000	445.000	1.000	3.400	132.5	4.500	34.000	0.245	78.700
82.000	422.000	2.000	6.400	132.5	4.500	34.000	0.378	78.700
83.000	393.000	4.000	11.300	132.5	4.500	34.000	0.570	78.700
84.000	373.000	6.000	15.300	132.5	4.500	34.000	0.702	78.700
85.000	361.000	8.000	18.500	132.5	4.500	34.000	0.782	78.700
86.000	349.000	10.000	21.900	132.5	4.500	34.000	0.875	78.700
87.000	329.000	12.000	24.600	132.5	4.500	34.000	0.921	78.700
88.000	324.000	14.000	28.100	132.5	4.500	34.000	1.020	78.700

TABELA 2.1 Continuação

NUMERO	ROTACAO (rpm)	PESO (daN)	LEITURA (daN)	POLIA (mm)	PRESSAO (Bar)	BODAL (mm)	TORQUE (daN*m)	VAZAO (m ³ /h)
89.000	323.000	16.000	29.800	132.5	4.500	34.000	1.000	78.700
90.000	317.000	18.000	32.800	132.5	4.500	34.000	1.067	78.700
91.000	314.000	20.000	34.800	132.5	4.500	34.000	1.067	78.700
92.000	313.000	22.000	37.100	132.5	4.500	34.000	1.087	78.700
93.000	296.000	24.000	40.800	132.5	4.500	34.000	1.199	78.700
94.000	283.000	26.000	43.600	132.5	4.500	34.000	1.252	78.700
95.000	276.000	28.000	47.000	132.5	4.500	34.000	1.345	78.700
96.000	379.000	2.000	3.200	50.0	4.500	32.000	0.063	62.500
97.000	372.000	4.000	6.800	50.0	4.500	32.000	0.103	62.500
98.000	368.000	6.000	9.600	50.0	4.500	32.000	0.123	62.500
99.000	365.000	8.000	12.400	50.0	4.500	32.000	0.143	62.500
100.000	360.000	10.000	15.200	50.0	4.500	32.000	0.163	62.500
101.000	357.000	12.000	17.600	50.0	4.500	32.000	0.173	62.500
102.000	354.000	14.000	20.000	50.0	4.500	32.000	0.183	62.500
103.000	350.000	16.000	22.800	50.0	4.500	32.000	0.203	62.500
104.000	348.000	18.000	25.100	50.0	4.500	32.000	0.210	62.500
105.000	345.000	20.000	27.500	50.0	4.500	32.000	0.220	62.500
106.000	343.000	22.000	30.400	50.0	4.500	32.000	0.243	62.500
107.000	343.000	24.000	32.200	50.0	4.500	32.000	0.238	62.500
108.000	343.000	26.000	34.000	50.0	4.500	32.000	0.233	62.500
109.000	341.000	28.000	36.600	50.0	4.500	32.000	0.248	62.500
110.000	339.000	30.000	38.700	50.0	4.500	32.000	0.250	62.500
111.000	337.000	32.000	40.500	50.0	4.500	32.000	0.245	62.500
112.000	305.000	2.000	5.700	132.5	4.500	32.000	0.331	62.500
113.000	256.000	4.000	11.700	132.5	4.500	32.000	0.596	62.500
114.000	228.000	6.000	16.100	132.5	4.500	32.000	0.755	62.500
115.000	204.000	8.000	20.300	132.5	4.500	32.000	0.901	62.500
116.000	172.000	10.000	23.500	132.5	4.500	32.000	0.981	62.500
117.000	147.000	12.000	26.800	132.5	4.500	32.000	1.067	62.500
118.000	132.000	14.000	30.800	132.5	4.500	32.000	1.199	62.500
119.000	125.000	16.000	33.600	132.5	4.500	32.000	1.252	62.500
120.000	122.000	18.000	35.400	132.5	4.500	32.000	1.239	62.500
121.000	120.000	20.000	38.100	132.5	4.500	32.000	1.285	62.500
122.000	118.000	22.000	41.100	132.5	4.500	32.000	1.352	62.500
123.000	106.000	24.000	44.200	132.5	4.500	32.000	1.424	62.500
124.000	105.000	26.000	46.700	132.5	4.500	32.000	1.459	62.500
125.000	95.000	28.000	48.900	132.5	4.500	32.000	1.471	62.500
126.000	82.000	30.000	51.900	132.5	4.500	32.000	1.537	62.500
127.000	68.000	32.000	55.900	132.5	4.500	32.000	1.670	62.500
128.000	350.000	2.000	3.100	50.0	6.000	30.000	0.060	63.500
129.000	354.000	4.000	6.100	50.0	6.000	30.000	0.085	63.500
130.000	349.000	6.000	9.000	50.0	6.000	30.000	0.108	63.500
131.000	345.000	8.000	11.500	50.0	6.000	30.000	0.120	63.500
132.000	342.000	10.000	14.200	50.0	6.000	30.000	0.129	63.500
133.000	338.000	12.000	17.000	50.0	6.000	30.000	0.158	63.500
134.000	336.000	14.000	20.000	50.0	6.000	30.000	0.103	63.500
135.000	332.000	16.000	22.800	50.0	6.000	30.000	0.203	63.500

TABELA 2.1 Continuação

NUMERO	ROTACAO (rpm)	PESO (daN)	LEITURA (daN)	POLIA (mm)	PRESSAO (Bar)	BOCAL (mm)	TORQUE (daN*m)	VAZAO (m ³ /h)
136.000	328.000	18.000	25.600	50.0	6.000	30.000	0.223	63.500
137.000	326.000	20.000	28.100	50.0	6.000	30.000	0.235	63.500
138.000	323.000	22.000	30.600	50.0	6.000	30.000	0.248	63.500
139.000	322.000	24.000	32.500	50.0	6.000	30.000	0.245	63.500
140.000	320.000	26.000	35.500	50.0	6.000	30.000	0.270	63.500
141.000	316.000	28.000	38.300	50.0	6.000	30.000	0.290	63.500
142.000	312.000	30.000	40.200	50.0	6.000	30.000	0.288	63.500
143.000	330.000	1.000	6.00	132.5	6.000	30.000	0.295	63.500
144.000	315.000	2.000	6.500	132.5	6.000	30.000	0.384	63.500
145.000	255.000	4.000	11.700	132.5	6.000	30.000	0.596	63.500
146.000	223.000	6.000	16.200	132.5	6.000	30.000	0.762	63.500
147.000	188.000	8.000	20.800	132.5	6.000	30.000	0.901	63.500
148.000	150.000	10.000	23.800	132.5	6.000	30.000	1.000	63.500
149.000	130.000	12.000	27.800	132.5	6.000	30.000	1.133	63.500
150.000	125.000	14.000	31.100	132.5	6.000	30.000	1.219	63.500
151.000	106.000	16.000	35.700	132.5	6.000	30.000	1.391	63.500
152.000	99.000	18.000	38.700	132.5	6.000	30.000	1.458	63.500
153.000	97.000	20.000	40.600	132.5	6.000	30.000	1.457	63.500
154.000	109.000	22.000	41.000	132.5	6.000	30.000	1.345	63.500
155.000	100.000	24.000	43.700	132.5	6.000	30.000	1.391	63.500
156.000	91.000	26.000	47.300	132.5	6.000	30.000	1.497	63.500
157.000	78.000	28.000	50.100	132.5	6.000	30.000	1.550	63.500
158.000	312.000	2.000	2.400	50.0	4.500	30.000	0.043	54.800
159.000	305.000	4.000	5.600	50.0	4.500	30.000	0.073	54.800
160.000	302.000	6.000	8.700	50.0	4.500	30.000	0.100	54.800
161.000	295.000	8.000	11.700	50.0	4.500	30.000	0.125	54.800
162.000	287.000	10.000	14.800	50.0	4.500	30.000	0.153	54.800
163.000	283.000	12.000	17.500	50.0	4.500	30.000	0.170	54.800
164.000	278.000	14.000	20.300	50.0	4.500	30.000	0.190	54.800
165.000	273.000	16.000	22.700	50.0	4.500	30.000	0.200	54.800
166.000	270.000	18.000	25.200	50.0	4.500	30.000	0.213	54.800
167.000	268.000	20.000	27.600	50.0	4.500	30.000	0.223	54.800
168.000	266.000	22.000	30.300	50.0	4.500	30.000	0.240	54.800
169.000	262.000	24.000	32.600	50.0	4.500	30.000	0.248	54.800
170.000	259.000	26.000	35.000	50.0	4.500	30.000	0.258	54.800
171.000	255.000	28.000	37.400	50.0	4.500	30.000	0.268	54.800
172.000	251.000	30.000	39.900	50.0	4.500	30.000	0.280	54.800
173.000	250.000	32.000	41.900	50.0	4.500	30.000	0.280	54.800
174.000	231.000	2.000	6.100	132.5	4.500	30.000	0.358	54.800
175.000	219.000	4.000	9.400	132.5	4.500	30.000	0.444	54.800
176.000	190.000	6.000	13.100	132.5	4.500	30.000	0.557	54.800
177.000	167.000	8.000	16.500	132.5	4.500	30.000	0.649	54.800
178.000	129.000	10.000	13.800	132.5	4.500	30.000	0.748	54.800
179.000	117.000	12.000	22.600	132.5	4.500	30.000	0.808	54.800
180.000	110.000	14.000	25.800	132.5	4.500	30.000	0.868	54.800
181.000	102.000	16.000	28.900	132.5	4.500	30.000	0.941	53.900
182.000	93.000	18.000	31.800	132.5	4.500	30.000	1.000	53.900
183.000	85.000	20.000	34.500	132.5	4.500	30.000	1.047	53.900

TABELA 2.1 Continuação

NUMERO	ROTACAO (rpm)	PESO (daN)	LEITURA (daN)	POLIA (mm)	PRESSAO (Bar)	BOCAL (mm)	TORQUE (daN*m)	VAZAO (m3/h)
184.000	77.000	22.000	37.600	132.5	4.500	30.000	1.120	53.900
185.000	55.000	24.000	40.300	132.5	4.500	30.000	1.166	53.900
186.000	291.000	4.000	4.500	50.0	6.000	28.000	0.056	53.900
187.000	289.000	6.000	7.700	50.0	6.000	28.000	0.075	53.900
188.000	282.000	8.000	10.300	50.0	6.000	28.000	0.103	53.900
189.000	280.000	10.000	13.300	50.0	6.000	28.000	0.115	53.900
190.000	276.000	12.000	15.900	50.0	6.000	28.000	0.130	53.900
191.000	274.000	14.000	18.300	50.0	6.000	28.000	0.140	53.900
192.000	270.000	16.000	21.000	50.0	6.000	28.000	0.159	53.900
193.000	268.000	18.000	23.200	50.0	6.000	28.000	0.163	53.900
194.000	268.000	18.000	23.200	50.0	6.000	28.000	0.163	53.900
195.000	274.000	20.000	22.300	50.0	6.000	28.000	0.090	53.900
196.000	271.000	22.000	24.700	50.0	6.000	28.000	0.103	53.900
197.000	266.000	24.000	29.400	50.0	6.000	28.000	0.168	53.900
198.000	264.000	26.000	31.700	50.0	6.000	28.000	0.175	53.900
199.000	260.000	28.000	34.400	50.0	6.000	28.000	0.193	53.900
200.000	256.000	30.000	36.800	50.0	6.000	28.000	0.203	53.900
201.000	253.000	32.000	39.600	50.0	6.000	28.000	0.223	53.900
202.000	245.000	34.000	42.800	50.0	6.000	28.000	0.253	53.900
203.000	202.000	1.000	6.400	132.5	6.000	28.000	0.444	53.900
204.000	199.000	1.000	6.600	132.5	6.000	28.000	0.457	53.900
205.000	194.000	2.000	8.000	132.5	6.000	28.000	0.470	53.900
206.000	188.000	2.000	7.800	132.5	6.000	28.000	0.484	53.900
207.000	173.000	3.000	10.100	132.5	6.000	28.000	0.557	53.900
208.000	168.000	3.000	10.400	132.5	6.000	28.000	0.576	53.900
209.000	143.000	4.000	11.700	132.5	6.000	28.000	0.596	53.900
210.000	136.000	4.000	12.100	132.5	6.000	28.000	0.623	53.900
211.000	131.000	5.000	13.100	132.5	6.000	28.000	0.623	53.900
212.000	128.000	5.000	13.400	132.5	6.000	28.000	0.643	53.900
213.000	147.000	4.000	12.000	132.5	6.000	28.000	0.616	53.900
214.000	144.000	4.000	12.100	132.5	6.000	28.000	0.623	53.900
215.000	131.000	5.000	13.200	132.5	6.000	28.000	0.629	53.900
216.000	128.000	5.000	13.400	132.5	6.000	28.000	0.643	53.900
217.000	131.000	6.000	14.700	132.5	6.000	28.000	0.663	53.900
218.000	126.000	6.000	14.900	132.5	6.000	28.000	0.676	53.900
219.000	119.000	7.000	16.100	132.5	6.000	28.000	0.689	53.900
220.000	116.000	7.000	16.400	132.5	6.000	28.000	0.709	53.900
221.000	115.000	8.000	17.600	132.5	6.000	28.000	0.709	53.900
222.000	111.000	8.000	17.400	132.5	6.000	28.000	0.722	53.900
223.000	113.000	9.000	19.300	132.5	6.000	28.000	0.769	53.900
224.000	108.000	9.000	19.400	132.5	6.000	28.000	0.775	53.900
225.000	111.000	8.000	18.100	132.5	6.000	28.000	0.755	53.900
226.000	109.000	8.000	18.400	132.5	6.000	28.000	0.775	53.900
227.000	111.000	9.000	19.600	132.5	6.000	28.000	0.788	53.900
228.000	107.000	9.000	18.800	132.5	6.000	28.000	0.802	53.900
229.000	106.000	10.000	21.200	132.5	6.000	28.000	0.826	53.900
230.000	102.000	10.000	24.400	132.5	6.000	28.000	0.841	53.900

TABELA 2.1 Continuação

NUMERO	ROTACAO (rpm)	PESO (daN)	LEITURA (daN)	POLIA (mm)	PRESSAO (Bar)	BOCAL (mm)	TORQUE (daN*m)	VAZAO (m3/h)
231.000	101.000	11.000	22.900	132.5	6.000	28.000	0.875	53.900
232.000	100.000	11.000	23.000	132.5	6.000	28.000	0.881	53.900
233.000	99.000	12.000	24.300	132.5	6.000	28.000	0.888	53.900
234.000	97.000	12.000	24.400	132.5	6.000	28.000	0.901	53.900
235.000	91.000	13.000	25.300	132.5	6.000	28.000	0.934	53.900
236.000	89.000	13.000	25.600	132.5	6.000	28.000	0.954	53.900
237.000	99.000	12.000	26.300	132.5	6.000	28.000	0.901	53.900
238.000	97.000	12.000	26.700	132.5	6.000	28.000	0.908	53.900
239.000	93.000	13.000	25.300	132.5	6.000	28.000	0.901	53.900
240.000	90.000	13.000	25.600	132.5	6.000	28.000	0.921	53.900
241.000	91.000	14.000	26.300	132.5	6.000	28.000	0.901	53.900
242.000	88.000	14.000	26.700	132.5	6.000	28.000	0.928	53.900
243.000	80.000	15.000	28.600	132.5	6.000	28.000	0.987	53.900
244.000	77.000	15.000	28.900	132.5	6.000	28.000	1.007	53.900
245.000	80.000	16.000	29.600	132.5	6.000	28.000	0.987	53.900
246.000	77.000	16.000	29.800	132.5	6.000	28.000	1.000	53.900
247.000	78.000	17.000	30.900	132.5	6.000	28.000	1.007	53.900
248.000	76.000	17.000	31.200	132.5	6.000	28.000	1.027	53.900

TABELA 3.2 - Condições operacionais no ensaio 2

ENSAIO: 2 MODELO: CHUVISCO BOCAL: 28 x 6.3 mm TRANS: 17 DENTES

COMP. INICIAL: 4.5 m DISTAN: 179.9 m SUPERF: SOLO VEGETADO

N	TEMPO (min)	DES. (m)	PRESSAO (bar)	VAZAO (m3/h)	ROT. POLIA (rpm)	ROT. TURBINA (rpm)	VELOC. (m/h)	FORÇA (daN)	POS. MEIO (m)	POS. ACUM. (m)	R
1	0	0.00	0.00	0.00	-	0	0.00	-	-	0.00	-
2	10	7.11	5.62	52.61	-	-	42.66	96.5	3.56	7.11	-
3	20	7.29	5.79	53.40	-	311	43.74	122.5	10.76	14.40	-
4	30	9.02	5.80	53.45	-	306	54.12	131.3	18.91	23.42	-
5	40	6.06	5.81	53.49	-	305	36.36	145.8	26.45	29.48	-
6	50	7.75	5.78	53.35	-	304	46.50	160.2	33.36	37.23	-
7	60	7.92	5.79	53.40	-	302	47.52	172.2	41.19	45.15	-
8	70	8.03	5.80	53.45	-	296	48.18	189.4	49.17	53.18	-
9	80	7.58	5.82	53.54	-	292	45.48	219.0	56.97	60.76	-
10	90	8.11	5.83	53.58	-	287	48.66	229.9	64.82	68.87	-
11	100	7.97	5.84	53.63	-	291	47.82	252.1	72.86	76.84	-
12	110	8.28	5.86	53.72	-	280	49.68	279.7	80.98	85.12	-
13	120	8.42	5.87	53.77	-	283	50.52	283.4	89.33	93.54	-
14	130	7.65	5.84	53.63	-	277	45.90	309.8	97.37	101.19	-
15	140	8.46	5.85	53.68	-	268	50.76	344.7	105.42	109.65	-
16	150	7.35	5.87	53.77	-	280	44.10	359.5	113.33	117.00	-
17	160	7.44	5.88	53.81	-	274	44.64	381.6	120.72	124.44	-
18	170	8.52	5.89	53.86	-	268	51.12	385.6	128.70	132.96	-
19	180	8.70	5.86	53.72	-	267	52.20	404.2	137.31	141.66	-
20	190	7.61	5.87	53.77	-	273	45.66	433.8	145.47	149.27	-
21	200	8.00	5.89	53.86	-	264	48.00	439.8	153.27	157.27	-
22	210	8.79	5.90	53.91	-	270	52.74	452.1	161.67	166.06	-
23	220	8.79	5.92	54.00	-	266	52.74	484.5	170.46	174.85	-
25	246	5.10	5.90	53.91	-	-	51.00	-	177.40	179.95	-

TABELA 3.5 - Condições operacionais no ensaio 5

ENSAIO:	5	MODELO:CHUVISCO	BOCAL: 32 x 6.3 m	TRANS: 15 DENTES						
COMP. INICIAL:	12.6 m	DISTAN:165.4 m	SUPERF:SOLO NU							
N	TEMPO	L	PRESSAO VAZAO	ROT.	ROT.	VELOC.	FORCA	POS.	POS.	R
	(min)	(m)	(bar) (m3/h)	POLIA (rpm)	TURBINA (rpm)	(m/h)	(daN)	MEIO (m)	ACUM. (m)	
1	0	0.00	0.00 0.00	0	0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
2	10	9.20	5.65 70.87	110	421	55.20	120.3	4.60	9.20	3.83
3	20	9.22	5.65 70.87	111	416	55.32	117.1	13.81	18.42	3.75
4	30	9.68	5.65 70.87	110	412	58.08	131.4	23.26	28.10	3.75
5	40	9.83	5.65 70.87	112	412	58.98	148.9	33.02	37.93	3.68
6	50	10.11	5.69 71.12	110	410	60.66	162.7	42.99	48.04	3.73
7	60	10.50	5.60 70.56	110	413	63.00	168.5	53.29	58.54	3.75
8	70	10.04	5.60 70.56	109	406	60.24	190.8	63.56	68.58	3.72
9	80	10.71	5.60 70.56	108	406	64.26	230.0	73.94	79.29	3.76
10	90	10.16	5.60 70.56	108	404	60.96	259.7	84.37	89.45	3.74
11	100	10.95	5.60 70.56	108	402	65.70	267.9	94.93	100.40	3.72
12	110	10.83	5.60 70.56	107	400	64.98	288.3	105.82	111.23	3.74
13	120	11.08	5.60 70.56	107	402	66.48	303.7	116.77	122.31	3.76
14	130	11.44	5.60 70.56	107	398	68.64	292.6	128.03	133.75	3.72
15	140	10.37	5.60 70.56	107	404	62.22	314.6	138.94	144.12	3.78
16	150	11.39	5.60 70.56	104	396	68.34	323.3	149.82	155.51	3.81

TABELA 3.6 - Condições operacionais no ensaio 6

ENSAIO: 6 MODELO:CHUVISCO BOCAL: 32 x 6.3 mm TRANS: 19 DENTES

COMP. INICIAL:12.8 m DISTAN:150.8 m SUPERF:SOLO NU

N	TEMPO (min)	DES. (m)	PRESSAO (bar)	VAZAO (m3/h)	ROT. POLIA (rpm)	ROT. TURBINA (rpm)	FORÇA (daN)	VELOC. (m/h)	POS. MEIO (m)	POS. ACUM. (m)	R
1	0	0.00	0.00	0.00	0	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00
2	10	12.23	5.60	70.56	114	454	-	73.38	6.12	12.23	3.98
3	20	12.29	5.60	70.56	113	437	-	73.74	18.38	24.52	3.87
4	30	12.50	5.60	70.56	113	434	-	75.00	30.77	37.02	3.84
5	40	13.00	5.60	70.56	113	438	-	78.00	43.52	50.02	3.88
6	50	13.55	5.60	70.56	114	428	-	81.30	56.80	63.57	3.75
7	60	13.65	5.60	70.56	113	427	-	81.90	70.40	77.22	3.78
	70	14.30	5.60	70.56	110	433	-	85.80	84.37	91.52	3.94
9	80	14.00	5.60	70.56	110	429	-	84.00	98.52	105.52	3.90
10	90	14.13	5.60	70.56	110	427	-	84.78	112.59	119.65	3.88
11	100	15.17	5.60	70.56	109	427	-	91.02	127.24	134.82	3.92
12	103	4.46	5.60	70.56	109	427	-	89.20	137.05	139.28	3.92

TABELA 3.7 - Condições operacionais no ensaio 7

ENSAIO: 7 MODELO: PERROMATIC BOCAL: 42 mm TRANS: -----

COMP. INICIAL: ----- DISTAN: ----- SUPERF: SOLO NU

N	TEMPO (min)	DESL. (m)	PRESSAO (bar)	VAZAO (m3/h)	ROT. POLIA (rpm)	ROT. TURBINA (rpm)	VELOC. (m/h)	FORÇA (daN)	POS. MEIO (m)	POS. ACUM. (m)	R
1	30	-	0.00	-	-	-	-	-	-	41.45	-
2	40	15.10	6.00	-	-	-	90.60	-	-	56.55	-
3	50	15.55	6.00	-	-	-	93.30	189.1	64.33	72.10	-
4	60	16.00	6.00	-	-	-	96.00	220.6	80.10	88.10	-
5	70	15.35	6.00	-	-	-	92.10	280.3	95.78	103.45	-
6	80	15.55	6.00	-	-	-	93.30	325.0	111.23	119.00	-
7	90	15.35	6.00	-	-	-	92.10	336.7	126.68	134.35	-
8	100	14.95	6.00	-	-	-	89.70	376.5	141.83	149.30	-
9	110	14.85	6.00	-	-	-	89.10	384.7	156.73	164.15	-
10	120	15.30	6.00	-	-	-	91.80	389.7	171.80	179.45	-
11	130	15.45	6.00	-	-	-	92.70	444.1	187.18	194.90	-
12	140	15.80	6.00	-	-	-	94.80	449.6	202.80	210.70	-
13	150	15.10	6.00	-	-	-	90.60	520.4	218.25	225.80	-
14	160	15.35	6.00	-	-	-	92.10	583.1	233.48	241.15	-
15	170	15.65	6.00	-	-	-	93.90	604.9	248.97	256.80	-
16	180	15.00	6.00	-	-	-	90.00	639.0	264.30	271.80	-
17	190	15.35	6.00	-	-	-	92.10	722.1	279.48	287.15	-
18	200	13.70	6.00	-	-	-	82.20	805.2	294.00	300.85	-
19	210	13.30	6.00	-	-	-	79.80	890.0	307.50	314.15	-
20	220	12.90	6.00	-	-	-	77.40	1021.0	320.60	327.05	-
21	230	12.05	6.00	-	-	-	72.30	1190.0	333.08	339.10	-
22	240	12.25	6.00	-	-	-	73.50	1234.0	345.23	351.35	-
24	250	11.25	6.00	-	-	-	67.50	1367.0	356.98	362.60	-
25	260	11.30	6.00	-	-	-	67.00	1505.0	368.25	373.90	-
26	270	10.55	6.00	-	-	-	63.30	1527.0	379.18	384.45	-
27	280	12.10	6.00	-	-	-	72.60	1597.0	390.50	396.55	-

APÊNDICE - 4

LISTAGEM DO PROGRAMA UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES

```

10 OPTION BASE 1
20 CLS :PRINT "SIMULACAO DO DESEMPENHO DE ASPERSOR AUTOPROPULSIVO"
30 PRINT:PRINT"ESTE PROGRAMA FOI CARREGADO COM DADOS DO CHUVISCO "
40 PRINT "DA ASERKASJL ,OPERANDO COM BOCAL NA TURBINA DE 50mm E COM"
50 PRINT "210 METROS DE CABO NO TAMBORE ENROLADOR ,TRACIONANDO UMA ."
60 PRINT "MANGUEIRA DE TRIS POLEGADAS" :PRINT :PRINT
70 PRINT "A SEGUIR O NOME DO ARQUIVO CONTENDO A DISTRIBUICAO ESTACIONARIA DO ASPERSOR ,NAS CONDICoes
OPERACIONAIS DESEJADAS,DEVE SER DIGITADO"
80 PRINT :PRINT "POR MOTIVOS DIVERSOS OS ENSAIOS REFERENTES AO ASPERSOR MEC-21"
90 PRINT " FORAM GRAVADOS NA SEQUENCIA MMSS-NNN" :PRINT
100 INPUT "QUAL O NOME DO ARQUIVO ";B1$
110 OPEN "1",#1,B1$
120 INPUT #1,B
130 INPUT #1,B1
140 INPUT #1,B3
150 INPUT #1,B4
160 INPUT #1,C1$
170 INPUT #1,C2$
180 INPUT #1,C3$
190 INPUT #1,A1
200 INPUT #1,A2$
210 INPUT #1,A3$
220 INPUT #1,A4
230 INPUT #1,A5$
240 INPUT #1,A6$
250 INPUT #1,A7$
260 INPUT #1,C
270 INPUT #1,A9
280 INPUT #1,A0$
290 DIM A(B,B)
300 FOR I=1 TO B
310 FOR J= 1 TO B
320 INPUT #1,L : A(I,J)=L
330 NEXT J
340 NEXT I
350 CLOSE #1
360 PRINT "FORNECA O ANGULO SECTORIAL DE OPERACAO (GRAUS)"
370 INPUT "210-240-270-330-360";AN
380 PRINT "FORNECA O COMPRIMENTO DO CARREADOR,ELE DEVERA SER MULTIPLO DE";C;"m"
390 INPUT "COMPRIMENTO DO CARREADOR ";CC
400 PRINT :PRINT "FORNECA O ESPACAMENTO ENTRE CARREADORES,ELE DEVERA SER MULTIPLO DE ";C;"m"
410 INPUT "ESPACAMENTO ENTRE CARREADORES ";W
420 DIM V(CC/C),R((CC/C)+B,W/C),M(B)
430 PRINT :PRINT:INPUT "TEMPO DE PARADA NO INICIO DO PERCURSO (HORAS);TI

```

```

440 PRINT :PRINT:INPUT "TEMPO DE PARADA NO FIM DO PERCURSO (HORAS)";TF
450 PRINT:PRINT "VOCE DESEJA":PRINT " A-UMA VELOCIDADE TEORICA CONSTANTE ":PRINT "B-VELOCIDADES CALCU
LADAS PELA TURBINA"
460 INPUT "OPCAO A OU B ";OP1$
470 IF OP1$(<) "A" AND OP1$(<)"B" THEN GOTO 450
480 IF OP1$ ="B" THEN GOTO 540
490 INPUT "QUAL A VELOCIDADE EM M/H";V
500 FOR I= 1 TO CC/C
510 V(I) =V
520 NEXT I
530 GOTO 550
540 GOSUB 2180
550 REM *****
560 REM TRNASFORMA O ENSAIO ESTACIONARIO (MM/H)
570 REM *****
640 IF AN=360 THEN TE=0
650 IF AN=330 THEN TE=.267949192#
660 IF AN=270 THEN TE=1
670 IF AN=340 THEN TE=1.732050808#
680 IF AN=210 THEN TE=3.732050808#
690 FOR I=(B/2+1) TO B
700 K1 =I-(B/2+.5)
710 FOR J=1 TO B
720 K2= ABS (J-(B/2+.5))
725 IF K2/K1 = TE THEN A(I-1,J)= A(I-1,J) + A(I,J)/2
730 IF K2/K1 (<=TE THEN A(I,J)=0
740 NFX1 J
750 NEXT I
760 N=0:S1=0
820 K1= (76394.373#/(A9*A1^2))*(360/AN)
830 FOR I=1 TO B
840 FOR J=1 TO B
850 A(I,J)=A(I,J)*K1
855 IF A(I,J)<>0 THEN N=N+1:S1=S1+A(I,J)
860 NEXT J
870 NEXT I
880 S1=(S1*1273.239545#)/(A1^2)*(360/AN)
890 S1=(INT(S1*100+.5))/100
895 B4 = (INT ((S1/N )*100+.5))/100
900 CLS :PRINT :INPUT"DESEJA IMPRESSAO DA MATRIZ BASE (S/N)";G$
910 IF G$ (<) "S" AND G$ (<) "N" THEN GOTO 900
920 IF G$="N" GOTO 940
930 GOSUB 1840
940 REM *****
950 REM INICIA INTEGRACAO DO PERFIL DE APLICACAO
960 REM *****
970 LPRINT CHR$(30);"4";
980 WIDTH LPRINT 132
990 LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT :LPRINT :LPRINT
1000 LPRINT "
RESULTADOS DA SIMULACAO DO DESEMPENHO DE UM ASPERSO
R AUTOPROPELIDO"

```


1010 LPRINT"
 NENTO DO CARREADOR : ";CC;"M"

ESPACAMENTO ENTRE CARREADORES :";W;" M

COMPRI

1020 LPRINT"
 ULO DE GIRO : ";AN;"GRAUS"

VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO :";V(1);"M/H

ANG

1030 LPRINT"
 DE PARADA NO FINAL: ";TF;"H"

TEMPO DE PARADA NO INICIO :";TI;" H

TEMPO

1040 LPRINT :LPRINT "
 -MM "

LAMINAS APLICADAS

1050 LPRINT CHR\$(30);"5";

1060 WIDTH LPRINT 160

1070 LPRINT CHR\$(27);"2";

1080 LPRINT CHR\$(27);"0";

1090 D\$=" "

1100 LPRINT D\$;

1110 FOR K=1 TO W/C

1120 LPRINT " ";

1130 NEXT K

1140 LPRINT "L.No -DIST (M)"

1150 I=1

1160 FOR J=1 TO B

1170 M (J)= TI * A(I,J) + (.5 * A(I,J) * C/V(I))

1180 NEXT J

1190 GOSUB 1530

1200 FOR I=2 TO B

1210 FOR J=1 TO B

1220 M (J) = TI * A(I,J) + .5 * A(I,J) * C/V(I)

1230 FOR K=1 TO I-1

1240 M(J) = M(J) + ((A(I-K+1,J) + A(I-K,J)) * C/(2*V(K)))

1250 NEXT K

1260 NEXT J

1270 GOSUB 1530

1280 NEXT I

1290 FOR I=(B+1) TO CC/C

1300 FOR J=1 TO B

1310 M(J) = .5 * A(B,J) * C /V(I-B) + .5 * A(I,J) * C/V(I)

1320 FOR K =1 TO B-1

1330 M(J) = M(J) + ((A(B-K+1,J) + A(B-K,J)) * C /(2*V(I-B+K)))

1340 NEXT K

1350 NEXT J

1360 GOSUB 1530

1370 NEXT I

1380 FOR I= (CC/C+1) TO ((CC/C) + B-1)

1390 FOR J=1 TO B

1400 M(J) = TF * A(I-CC/C,J) + .5 * A(B,J) * C/V(I-B)

1410 FOR K=1 TO (CC/C+B-I)

1420 M(J) = M(J)+((A(B-K+1,J) +A(B-K,J)) * C/(2*V(I-B+K)))

1430 NEXT K

1440 NEXT J

1450 GOSUB 1530

1460 NEXT I

1470 I=(CC/C+B)

1480 FOR J=1 TO B

```

1490 H(J) = TF*A(B,J) + .5 * A(B,J) * C/V(CC/C)
1500 NEXT J
1510 GOSUB 1530
1520 END
1530 REM *****
1540 REM SOBREPOSICAO DE M COMPODO B(B+CC/C,W/C)
1550 REM *****
1560 K=0
1570 FOR J=B/2+1 TO B
1580 K=K+1
1590 IF K > W/C THEN K=1
1600 B(I,K)=B(I,K) + H(J)
1610 NEXT J
1620 K=W/C+1
1630 FOR J=B/2 TO 1 STEP - 1
1640 K=K-1
1650 IF K=0 THEN K=W/C
1660 B(I,K) = B(I,K) + H(J)
1670 NEXT J
1680 IF I=B/2+1 THEN GOTO 1710
1690 IF J= CC/C +B/2+1 THEN GOTO 1710
1700 GOTO 1770
1710 LPRINT D$;
1720 FOR K=1 TO W/C
1730 LPRINT "*****";
1740 NEXT K
1750 IF J= B/2+1 THEN LPRINT " PARTIDA"
1760 IF I= CC/C+B/2 +1 THEN LPRINT " CHEGADA"
1770 LPRINT D$;
1780 FOR K=1 TO W/C
1790 LPRINT USING "###.##";B(I,K);
1800 LPRINT " ";
1810 NEXT K
1820 LPRINT " ";J; " "; (I-(B/2+.5))*C
1830 RETURN
1840 REM SUBROTINA PARA IMPRESSAO DE DADOS
1850 LPRINT CHR$(30);"4";
1860 WIDTH LPRINT 133
1870 LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT
1880 LPRINT"
LA"
1890 LPRINT :LPRINT
1900 LPRINT "
152) 33-13-33"
1910 LPRINT :LPRINT "
DE ASPERSORES"
1920 LPRINT :LPRINT"
EM: ";C3$
1930 LPRINT :LPRINT"
BOCAIS: ";A2$;" mm"
1940 LPRINT :LPRINT"
DURACAO DO ENSAIO: ";A9;" min."

```

CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRICO

CAIXA POSTAL 568 - CEP 18001 - SOROCABA - SP - TEL (0

ANALISE DA DISTRIBUICAO DE AGUA

ENSAIO No.;"B1\$;" REALIZADO

FABRICANTE: ";C1\$;"

MODELO: ";C2\$;"

PRESSAO NA BASE : ";A3\$;"

VAZAO: ";A4\$;" m3/h

```

1950 LPRINT :LPRINT"                                VENTO MEDIO ";A5$;" km/h(MAX: ";A6$;" MIN : ";A7$;" ) E
SP. COLETORES: ";C;"X";C;" DIAM. COL. : ";A1;" mm"
1960 LPRINT: LPRINT :LPRINT "                                DADOS OBTIDOS NO EN
SAIO (MM/II)"
1970 LPRINT CHR$(30);"5";
1980 WIDTH LPRINT 160
1990 LPRINT :LPRINT
2000 D$=" "
2010 FOR I=1 TO 8
2020 IF I=((8/2)+1) THEN LPRINT D$;"*****"
*****"
2030 LPRINT D$;
2040 FOR J=1 TO 8
2050 IF J=((8/2)+1) THEN LPRINT " ** ";
2060 LPRINT USING "###.##";A(I,J);
2070 LPRINT " ";
2080 NEXT J
2090 IF J< >8/2 THEN LPRINT
2100 NEXT I
2110 LPRINT CHR$(30);"4";
2120 WIDTH LPRINT 132
2130 LPRINT :LPRINT :LPRINT
2140 LPRINT "                                No. DE COLETORES CONSIDERADOS :";N;" LAMINA TOTAL: ";S1;"
mm LAMINA MEDIA : "84;" mm"
2150 LPRINT CHR$(12)
2160 RETURN
2170 REM*****
2180 REM INICIA SIMULACAO DA VELOCIDADE
2190 REM*****
2200 PRINT "COMPRIMENTO INICIAL (m)?"
2210 INPUT CIM
2220 PRINT "RELACAO DE TRANSMISSAO?"
2230 INPUT RT
2240 PRINT "FATOR DE ATRITO?"
2250 INPUT FATI
2260 N = INT(CC/C)
2270 REM COMPRIMENTO TOTAL DE CABO NO ROLO (m)
2280 LO=210
2290 REM COMPRIMENTO DE CABO NA PRIMEIRA CAMADA (m)
2300 LPC=26.1
2310 REM COMPRIMENTO DE CABO ACUMULADO NAS OUTRAS CAMADAS (m)
2320 DATA 51.0,78.5,100.5,124,147.8,170.1,185.2,196.3,205,209,210
2330 REM RAO DO TABOR VAZIO (m)
2340 DT=.101
2350 REM ACRESCIMO NO RAO POR CAMADA (m)
2360 ACB=.006
2370 REM VALOR DE PI
2380 PI=3.141592654#
2390 REM PESO LINEAR DA MANGUEIRA VAZIA (daN)
2400 PL= 1.1

```

```

2410 REM DIAMETRO INTERNO DA MANGUEIRA (mm)
2420 DI=77.2
2430 PM=(DI/1000)^2*PI*.25*1000*PL
2440 REM TRACAO INICIAL (daN)
2450 ESFI=68+(CI*PM)*FATI
2460 REM COEFICIENTES DA TURBINA
2470 REM RPM = A0+B0*M^3/H+C0*DAN/H^3/H
2480 A0=-97.72304
2490 B0=7.51079
2500 C0=-12610.66
2510 L=LPC
2520 CO=L0-CC
2530 IF CO < 0 THEN PRINT "FALTA CABO":STOP
2540 K=1
2550 VMAX=0:VMED=0:VMIN=1000
2560 LPRINT CHR$(27);"2";
2570 LPRINT CHR$(30);"0";
2580 LPRINT :LPRINT :LPRINT
2590 D$=" "
2600 LPRINT"          SIMULACAO DA VELOCIDADE "
2610 LPRINT:LPRINT D$;"COMPRIMENTO INICIAL:";CI;"M COMPRIMENTO DO CARREADOR:";CC;"M"
2620 LPRINT D$;"RELACAO DE TRANSMISSAO :";RT;"COEFICIENTE DE ATRITO: " ;FATI
2630 LPRINT D$;"VAZAO : ";A4;" m3/h"
2640 LPRINT :LPRINT D$;"POSICAO FORCA T.TAMBOR R.TURBINA VELOC. RATO"
2650 LPRINT D$;" ( m ) (daN) (daN*m) (rpm) (m/h) (cm)"
2660 LPRINT CHR$(27);"2";
2670 LPRINT CHR$(27);"0";
2680 FOR I=1 TO N
2690 DIST=I*CO+CD
2700 IF DIST<L THEN GOTO 2740
2710 READ L
2720 K=K+1
2730 GOTO 2700
2740 BR=OT+(K-.5)*ACB
2750 F=(CI+(DIST-CD)/2)*PM*FATI+ESFI
2760 ITURB=F*BR/RT
2770 RTURB=A0+B0*A4+C0*ITURB/A4
2780 V(I)=(2*PI*BR)*(RTURB/RT)*60
2790 IF V(I)< VMIN THEN VMIN=V(I)
2800 IF V(I)> VMAX THEN VMAX=V(I)
2810 LPRINT D$;:LPRINT USING "###.##";I*CO;:LPRINT USING "#####.##";F;
2820 LPRINT USING "#####.##";F*BR;:LPRINT " ";:LPRINT USING "###.##";RTURB;:LPRINT " ";:LPRINT
T USING "###.##";V(I);:LPRINT USING "#####.##";BR*100
2830 VMED=VMED+V(I)
2840 NEXT I
2850 VMED=VMED/N
2860 RESTORE
2870 LPRINT CHR$(27);"2"
2880 LPRINT D$;"VELOCIDADE MAXIMA:";:LPRINT USING "###.##";VMAX;:LPRINT " m/h";
2890 LPRINT " VELOCIDADE MINIMA :";:LPRINT USING "###.##";VMIN;:LPRINT "m/h"
2900 LPRINT D$;"VELOCIDADE MEDIA:";:LPRINT USING "###.##";VMED;:LPRINT "m/h VMAX/VMED:";:LPRINT USING "
.##";VMAX/VMED;
2910 LPRINT " VMIN/VMED";:LPRINT USING "###.##";VMIN/VMED
2920 LPRINT CHR$(12)
2930 RETURN

```

APÊNDICE - 5

VERIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA APLICADA

TABELA 5.1- Distribuição longitudinal de água e condições de vento

ENSAIO: 01		MODELO: CHUVISCO		ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa							
POSICAO: 19.4 m		TIPO: LONGITUDINAL		ESPAC: 10 m							
INICIO: 0:00'		FIN: 3:49'		TOT: 3:49'							
V. MED: 4.5 km/h		V. MIN: 0.7 km/h		V. MAX: 5.9 km/h							
PERFIL						!	VENTO				
N	DIST ESQUERDA (m)	DIREITA (ml)	MEDIA (ml)	MEDIA (mm)	!	!	TEMPO (min)	DESL. (m)	ACUM. (m)	VELOC. (km/h)	DIR.
1	-40	0	0	0.0	0.0	!	0	0.00	0.0	0.00	-
2	-30	10	7	8.5	1.5	!	10	120.00	120.0	0.72	SE
3	-20	10	14	12.0	2.1	!	20	172.00	292.0	1.03	L
4	-10	35	37	36.0	6.4	!	30	575.00	867.0	3.45	SE
5	0	42	61	51.5	9.2	!	40	423.00	1290.0	2.54	SE
6	10	50	71	60.5	10.8	!	50	748.00	2038.0	4.49	SE
7	20	70	76	73.0	13.0	!	60	743.00	2781.0	4.46	S
8	30	71	79	75.0	13.4	!	70	835.00	3616.0	5.01	SE
9	40	75	85	80.0	14.3	!	80	592.00	4208.0	3.55	SE
10	50	71	76	73.5	13.1	!	90	640.00	4848.0	3.84	SE
11	60	66	70	68.0	12.2	!	100	330.00	5178.0	1.98	SE
12	70	64	57	60.5	10.8	!	110	723.00	5901.0	4.34	S
13	80	62	72	67.0	12.0	!	120	872.00	6773.0	5.23	L
14	90	58	87	72.5	13.0	!	130	757.00	7530.0	4.54	L
15	100	55	69	62.0	11.1	!	140	598.00	8128.0	3.59	L
16	110	62	77	69.5	12.4	!	150	840.00	8968.0	5.04	NE
17	120	71	80	75.5	13.5	!	160	988.00	9956.0	5.93	NE
18	130	65	79	72.0	12.9	!	170	823.00	10779.0	4.94	L
19	140	60	73	66.5	11.9	!	180	1085	11864.0	6.61	L
20	150	63	66	64.5	11.5	!	190	728	12592.0	4.37	L
21	160	56	64	60.0	10.7	!	200	1140	13732.0	6.04	NE
22	170	31	49	40.0	7.1	!	210	1540	15272.0	9.24	L
23	180	41	33	37.0	6.6	!	220	772	16044.0	4.63	SE
24	190	23	21	22.0	3.9	!	229	963	17007.0	5.78	NE
25	200	14	13	13.5	2.4	!	240	0	17007.0	0.00	-
26	210	12	9	10.5	1.9	!	250	0	17007.0	0.00	-
27	220	0	0	0.0	0.0	!	260	0	17007.0	0.00	-

TABELA -5.2 Distribuicao transversal de agua no perfil 1 no ensaio 1

ENSAIO: 01		MODELO: CHUVISCO		ASPERSOR:28X23 mm x 590 kPa	
POSICAO: 61.5 m		TIPO: TRANSVERSAL		ESPAC: 3x3 m	
INICIO: 0:22'		FIM: 2:24'		TOT: 2:02'	
V.MED: 4.1 km/h		V. MIN: 1.98 km/h		V. MAX: 5.23 km/h	

TABELA 5.3 - Distribuicao transversal de agua no perfil 2 no ensaio 1

ENSAIO: 01			MODELO: CHUVISCO			ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa					
POSICAO: 81.5 m			TIPO: TRANSVERSAL			ESPAC: 3x3 m					
INICIO: 0:47'			FIM: 2:46'			TOT: 2:01'					
V. MED: 4.37 km/h			V. MIN: 1.98 km/h			V. MAX: 5.93 km/h					
DIREITA						ESQUERDA					
N	DIST	1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA	1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA		
(m)		(ml)	(ml)	(ml)	(mm)	(ml)	(ml)	(ml)	(mm)		
1	1.5	89	89	89.0	15.9	100	95	97.5	17.4		
2	4.5	105	87	96.0	17.2	75	80	77.5	13.8		
3	7.5	93	98	95.5	17.1	83	94	88.5	15.8		
4	10.5	76	79	77.5	13.8	74	70	72.0	12.9		
5	13.5	84	93	88.5	15.8	87	92	89.5	16.0		
6	16.5	75	84	79.5	14.2	74	68	71.0	12.7		
7	19.5	72	182	127.0	22.7	62	85	73.5	13.1		
8	22.5	77	77	77.0	13.8	74	61	67.5	12.1		
9	25.5	65	66	65.5	11.7	58	72	65.0	11.6		
10	28.5	75	75	75.0	13.4	58	54	56.0	10.0		
11	31.5	56	57	56.5	10.1	49	43	46.0	8.2		
12	34.5	55	55	55.0	9.8	47	51	49.0	8.8		
13	37.5	44	45	44.5	8.0	39	35	37.0	6.6		
14	40.5	37	35	36.0	6.4	13	22	17.5	3.1		
15	43.5	22	18	20.0	3.6	7	1	4.0	0.7		
16	46.5	13	7	10.0	1.8	0	0	0.0	0.0		
17	49.5	1	0	0.5	0.1	0	0	0.0	0.0		
18	52.5	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0		

TABELA 5.4 - Distribuicao transversal de agua no perfil 3 no ensaio 1

ENSAIO: 01			MODELO: CHUVISCO				ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa				
POSICAO: 101.5 m			TIPO: TRANSVERSAL				ESPAC: 3x3 m				
INICIO: 1:18'			FIM: 3:08'				TOT: 1:50				
V. MED: 4.57 km/h			V. MIN: 1.98 km/h				V. MAX: 6.51 km/h				
DIREITA							ESQUERDA				
N	DIST	ã	1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA	ã	1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA
	(m)	ã	(ml)	(ml)	(ml)	(mm)	ã	(ml)	(ml)	(ml)	(mm)
1	1.5	ã	86	86	86.0	15.4	ã	76	91	83.5	14.9
2	4.5	ã	87	99	93.0	16.6	ã	88	97	92.5	16.5
3	7.5	ã	108	89	98.5	17.6	ã	83	78	80.5	14.4
4	10.5	ã	80	87	83.5	14.9	ã	74	71	72.5	13.0
5	13.5	ã	76	82	79.0	14.1	ã	87	74	80.5	14.4
6	16.5	ã	69	88	78.5	14.0	ã	79	65	72.0	12.9
7	19.5	ã	69	82	75.5	13.5	ã	55	85	70.0	12.5
8	22.5	ã	74	65	69.5	12.4	ã	82	82	82.0	14.7
9	25.5	ã	68	65	66.5	11.9	ã	54	69	61.5	11.0
10	28.5	ã	63	67	65.0	11.6	ã	68	53	60.5	10.8
11	31.5	ã	77	70	73.5	13.1	ã	40	44	42.0	7.5
12	34.5	ã	40	72	56.0	10.0	ã	35	40	37.5	6.7
13	37.5	ã	46	46	46.0	8.2	ã	23	38	30.5	5.5
14	40.5	ã	35	32	33.5	6.0	ã	25	17	21.0	3.8
15	43.5	ã	24	22	23.0	4.1	ã	5	5	5.0	0.9
16	46.5	ã	16	14	15.0	2.7	ã	0	0	0.0	0.0
17	49.5	ã	5	0	2.5	0.4	ã	0	0	0.0	0.0
18	52.5	ã	0	0	0.0	0.0	ã	0	0	0.0	0.0

TABELA 5.5 - Distribuicao transversal de agua no perfil 4 no ensaio 1

ENSAIO: 01			MODELO: CHUVISCO				ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa					
POSICAO: 121.5 m			TIPO: TRANSVERSAL				ESPAC: 3x3 m					
INICIO: 1:42'			FIM: 3:35'				TOT: 1:53'					
V.MED: 5.43 km/h			V. MIN: 3.59 km/h				V. MAX: 9.24 km/h					
3			DIREITA				3			ESQUERDA		
N	DIST	3	1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA	3	1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA	
	(m)	3	(ml)	(ml)	(ml)	(mm)	3	(ml)	(ml)	(ml)	(mm)	
1	1.5	3	81	82	81.5	14.6	3	80	80	80.0	14.3	
2	4.5	3	92	93	92.5	16.5	3	80	71	75.5	13.5	
3	7.5	3	89	98	93.5	16.7	3	80	82	81.0	14.5	
4	10.5	3	84	88	86.0	15.4	3	80	84	82.0	14.7	
5	13.5	3	96	97	96.5	17.2	3	80	67	73.5	13.1	
6	16.5	3	78	88	83.0	14.8	3	66	61	63.5	11.3	
7	19.5	3	80	90	85.0	15.2	3	71	65	68.0	12.2	
8	22.5	3	75	84	79.5	14.2	3	64	62	63.0	11.3	
9	25.5	3	74	85	79.5	14.2	3	52	63	57.5	10.3	
10	28.5	3	82	77	79.5	14.2	3	68	44	56.0	10.0	
11	31.5	3	61	77	69.0	12.3	3	27	55	41.0	7.3	
12	34.5	3	61	60	60.5	10.8	3	40	41	40.5	7.2	
13	37.5	3	66	58	62.0	11.1	3	37	30	33.5	6.0	
14	40.5	3	44	44	44.0	7.9	3	18	22	20.0	3.6	
15	43.5	3	20	19	19.5	3.5	3	5	7	6.0	1.1	
16	46.5	3	7	4	5.5	1.0	3	1	1	1.0	0.2	
17	49.5	3	0	0	0.0	0.0	3	0	0	0.0	0.0	
18	52.5	3	0	0	0.0	0.0	3	0	0	0.0	0.0	

TABELA 5.6 - Distribuicao longitudinal de agua e condicoes de vento

ENSAIO: 02		MODELO: CHUVISCO		ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa							
POSICAO: 19.4 m		TIPO: LONGITUDINAL		ESPAC: 10 m							
INICIO: 0:00'		FIM: 3:46'		TOT: 3:46'							
V.MED: 6.8 km/h		V. MIN: 3.0 km/h		V. MAX: 10.2 km/h							
PERFIL						!	VENTO				
N	DIST ESQUERDA (m)	DIREITA (ml)	MEDIA (ml)	MEDIA (mm)	!	!	TEMPO (min)	DESL. (m)	ACUM. (m)	VELOC. (km/h)	DIR.
1	-40	0	5	2.5	0.4	!	0	0.00	0.0	0.00	-
2	-30	13	20	16.5	2.9	!	10	850.00	850.0	5.10	SE
3	-20	28	27	27.5	4.9	!	20	1225.00	2075.0	7.35	S
4	-10	36	50	43.0	7.7	!	30	1113.00	3188.0	6.68	SE
5	0	44	52	48.0	8.6	!	40	889.00	4077.0	5.33	SE
6	10	77	69	73.0	13.0	!	50	573.00	4650.0	3.44	SE
7	20	79	81	80.0	14.3	!	60	1246.00	5896.0	7.48	L
8	30	79	92	85.5	15.3	!	70	652.00	6548.0	3.91	SE
9	40	74	66	70.0	12.5	!	80	655.00	7203.0	3.93	SE
10	50	80	75	77.5	13.8	!	90	500.00	7703.0	3.00	SE
11	60	78	76	77.0	13.8	!	100	1009.00	8712.0	6.05	SE
12	70	91	86	88.5	15.8	!	110	1440.00	10152.0	8.64	SE
13	80	87	73	80.0	14.3	!	120	1680.00	11832.0	10.08	SE
14	90	94	65	79.5	14.2	!	130	1520.00	13352.0	9.12	SE
15	100	87	70	78.5	14.0	!	140	1516.00	14868.0	9.10	SE
16	110	85	74	79.5	14.2	!	150	1144.00	16012.0	6.86	SE
17	120	81	66	73.5	13.1	!	160	1252.00	17264.0	7.51	SE
18	130	80	64	72.0	12.9	!	170	1188.00	18452.0	7.13	SE
19	140	94	68	81.0	14.5	!	180	1697	20149.0	10.18	S
20	150	62	45	53.5	9.6	!	190	1086	21235.0	6.52	SE
21	160	44	36	40.0	7.1	!	200	1432	22667.0	8.59	SE
22	170	40	23	31.5	5.6	!	210	1185	23852.0	7.11	SE
23	180	34	13	23.5	4.2	!	220	1194	25046.0	7.16	SE
24	190	1	14	7.5	1.3	!	226	652	25698.0	3.91	SE
25	200	0	0	0.0	0.0	!	240	0	25698.0	0.00	-
26	210	0	0	0.0	0.0	!	250	0	25698.0	0.00	-
27	220	0	0	0.0	0.0	!	260	0	25698.0	0.00	-

TABELA 5.7 - Distribuicao transversal de agua no perfil 1 no ensaio 2

ENSAIO: 02			MODELO: CHUVISCO			ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa					
POSICAO: 61.5 m			TIPO: TRANSVERSAL			ESPAC: 3x3 m					
INICIO: 0:37'			FIM: 2:23'			TOT: 1:46'					
V.MED: 6.53 km/h			V. MIN: 3.29 km/h			V. MAX: 10.1 km/h					
DIREITA						ESQUERDA					
N	DIST		1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA		1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA
	(m)		(ml)	(ml)	(ml)	(mm)		(ml)	(ml)	(ml)	(mm)
1	1.5		50	57	53.5	9.6		68	70	69.0	12.3
2	4.5		58	70	64.0	11.4		80	77	78.5	14.0
3	7.5		75	70	72.5	13.0		80	82	81.0	14.5
4	10.5		61	70	65.5	11.7		89	87	88.0	15.7
5	13.5		71	77	74.0	13.2		79	86	82.5	14.7
6	16.5		80	75	77.5	13.8		81	86	83.5	14.9
7	19.5		76	79	77.5	13.8		78	87	82.5	14.7
8	22.5		85	81	83.0	14.8		76	78	77.0	13.8
9	25.5		82	93	87.5	15.6		80	77	78.5	14.0
10	28.5		92	110	101.0	18.0		71	80	75.5	13.5
11	31.5		93	94	93.5	16.7		65	62	63.5	11.3
12	34.5		85	80	82.5	14.7		43	48	45.5	8.1
13	37.5		86	70	78.0	13.9		21	16	18.5	3.3
14	40.5		70	66	68.0	12.2		10	16	13.0	2.3
15	43.5		54	48	51.0	9.1		0	0	0.0	0.0
16	46.5		31	36	33.5	6.0		0	0	0.0	0.0
17	49.5		10	12	11.0	2.0		0	0	0.0	0.0
18	52.5		1	0	0.5	0.1		0	0	0.0	0.0

TABELA 5.8 - Distribuicao transversal de agua no perfil 2 no ensaio 2

ENSAIO: 02		MODELO: CHUVISCO		ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa					
POSICAO: 81.5 m		TIPO: TRANSVERSAL		ESPAC: 3x3 m					
INICIO: 0:57'		FIM: 2:50'		TOT: 1:53'					
V. MED: 6.87 km/h		V. MIN: 3.29 km/h		V. MAX: 10.1 km/h					
		DIREITA				ESQUERDA			
N	DIST	1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA	1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA
(m)	(ml)	(ml)	(ml)	(ml)	(mm)	(ml)	(ml)	(ml)	(mm)
1	1.5	56	54	55.0	9.8	71	61	66.0	11.8
2	4.5	74	67	70.5	12.6	75	83	79.0	14.1
3	7.5	67	68	67.5	12.1	88	86	87.0	15.5
4	10.5	91	81	86.0	15.4	90	87	88.5	15.8
5	13.5	89	64	76.5	13.7	93	93	93.0	16.6
6	16.5	76	75	75.5	13.5	87	89	88.0	15.7
7	19.5	73	174	123.5	22.1	87	88	87.5	15.6
8	22.5	80	80	80.0	14.3	92	104	98.0	17.5
9	25.5	95	90	92.5	16.5	93	94	93.5	16.7
10	28.5	92	99	95.5	17.1	79	81	80.0	14.3
11	31.5	90	84	87.0	15.5	55	50	52.5	9.4
12	34.5	76	84	80.0	14.3	21	28	24.5	4.4
13	37.5	58	50	54.0	9.6	24	22	23.0	4.1
14	40.5	38	39	38.5	6.9	2	1	1.5	0.3
15	43.5	38	30	34.0	6.1	0	0	0.0	0.0
16	46.5	15	7	11.0	2.0	0	0	0.0	0.0
17	49.5	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
18	52.5	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0

TABELA -5.9 Distribuicao transversal de agua no perfil 3 no ensaio 2

ENSAIO: 02			MODELO: CHUVISCO				ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa				
POSICAO: 101.5 m			TIPO: TRANSVERSAL				ESPAC: 3x3 m				
INICIO: 1:36'			FIM: 3:16'				TOT: 2:00				
V. MED: 7.39km/h			V. MIN: 6.05km/h				V. MAX: 10.2 km/h				
			DIREITA				ESQUERDA				
N	DIST		1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA		1a DET	2a DET	MEDIA	MEDIA
	(m)		(ml)	(ml)	(ml)	(mm)		(ml)	(ml)	(ml)	(mm)
1	1.5		72	65	60.5	12.2		71	62	66.5	11.9
2	4.5		68	56	62.0	11.1		85	86	85.5	15.3
3	7.5		72	59	65.5	11.7		84	86	85.0	15.2
4	10.5		72	62	67.0	12.0		91	92	91.5	16.4
5	13.5		70	73	71.5	12.8		87	84	85.5	15.3
6	16.5		74	73	73.5	13.1		91	78	84.5	15.1
7	19.5		70	70	70.0	12.5		87	84	85.5	15.3
8	22.5		69	73	71.0	12.7		95	85	90.0	16.1
9	25.5		85	82	83.5	14.9		100	89	94.5	16.9
10	28.5		87	85	86.0	15.4		104	83	93.5	16.7
11	31.5		85	88	86.5	15.5		61	62	61.5	11.0
12	34.5		79	73	76.0	13.6		21	23	22.0	3.9
13	37.5		69	51	60.0	10.7		9	8	8.5	1.5
14	40.5		43	51	47.0	8.4		2	1	1.5	0.3
15	43.5		24	31	27.5	4.9		0	0	0.0	0.0
16	46.5		14	13	13.5	2.4		0	0	0.0	0.0
17	49.5		0	0	0.0	0.0		0	0	0.0	0.0
18	52.5		0	0	0.0	0.0		0	0	0.0	0.0

TABELA 5.10 - Distribuicao transversal de agua no perfil 4 no ensaio 2

ENSAIO: 02		MODELO: CHUVISCO		ASPERSOR: 28X23 mm x 590 kPa	
POSICAO: 121.5 m		TIPO: TRANSVERSAL		ESPAC: 3x3 m	
INICIO: 1:55		FIM: 3:32'		TOT: 1:37'	
V. MED: 8.2 km/h		V. MIN: 6.5 km/h		V. MAX: 10,2 km/h	

Tabela 5.11 Simulação do desempenho do chuvisco nas condições operacionais do ensaio 1.

RESULTADOS DA SIMULACAO DO DESEMPENHO DE UM ASPERSOR AUTOPROPELIDO

ESPACAMENTO ENTRE COLETORES : 6 M	COMPRIMENTO DO CARREADOR : 180 M
VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO : 45.19276 M/H	ANGULO DE GIRO : 360 GRAUS
TEMPO DE PARADA NO INICIO : 0 H	TEMPO DE PARADA NO FINAL : 0 H

LAMINAS APLICADAS -MM																	L.No	-DIST (M)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	-51
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	-45
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.6	0.7	0.7	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3	-39
0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	1.3	2.3	1.8	2.0	2.0	1.6	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	4	-33
0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	1.6	2.4	3.6	3.1	3.3	3.4	2.9	2.0	1.8	0.6	0.0	0.0	5	-27
0.0	0.0	0.0	0.8	2.2	2.9	3.6	4.7	4.2	4.4	4.6	4.0	3.2	3.2	2.1	0.5	0.0	6	-21
0.0	0.0	0.1	2.1	3.4	3.9	4.5	5.8	5.3	5.4	5.5	4.8	4.2	4.4	3.6	1.6	0.6	7	-15
0.0	0.0	0.6	3.5	4.6	4.9	5.5	7.0	6.5	6.4	6.4	5.6	5.0	5.3	4.9	3.0	1.6	8	-9
0.0	0.0	1.5	5.0	5.8	5.9	6.6	8.3	7.7	7.4	7.4	6.5	5.8	6.2	6.2	4.4	2.5	9	-3
*****																	PARTIDA	
0.0	0.0	2.4	6.7	7.1	7.0	8.0	9.8	9.3	8.2	8.4	7.4	6.6	6.9	7.4	5.8	3.5	10	3
0.0	0.0	3.1	8.4	8.7	8.2	9.2	11.6	11.0	9.1	9.5	8.4	7.4	7.8	8.5	7.0	4.4	11	9
0.0	0.0	3.4	9.9	10.4	9.6	10.3	13.0	12.5	10.6	10.6	9.3	8.2	8.8	9.7	8.4	5.0	12	15
0.0	0.0	3.4	10.9	12.3	11.2	11.6	14.2	13.8	11.9	11.7	10.1	9.1	9.8	11.0	9.8	5.3	13	21
0.0	0.0	3.4	11.1	13.7	13.0	13.2	15.6	15.0	13.0	12.7	11.1	10.3	10.9	12.3	10.5	5.3	14	27
0.0	0.0	3.4	11.0	14.2	14.3	14.9	17.2	16.5	14.3	14.0	12.4	11.5	11.8	13.2	10.6	5.2	15	33
0.0	0.0	3.4	11.0	14.1	14.6	16.0	18.6	18.0	15.6	15.4	13.7	12.4	13.1	13.6	10.5	5.2	16	39
0.0	0.0	3.4	10.9	14.0	14.5	16.0	19.0	18.7	16.3	16.1	14.3	12.7	14.0	13.5	10.5	5.2	17	45
0.0	0.0	3.3	10.8	13.9	14.4	15.9	18.9	18.7	16.4	16.1	14.2	12.6	13.9	13.4	10.4	5.1	18	51
0.0	0.0	3.3	10.7	13.8	14.4	15.8	18.7	18.5	16.2	16.0	14.1	12.5	13.8	13.3	10.3	5.1	19	57
0.0	0.0	3.3	10.6	13.7	14.3	15.7	18.6	18.4	16.1	15.9	14.0	12.5	13.7	13.2	10.2	5.0	20	63
0.0	0.0	3.2	10.6	13.6	14.2	15.6	18.5	18.3	16.0	15.8	14.0	12.4	13.6	13.1	10.2	5.0	21	69
0.0	0.0	3.2	10.5	13.5	14.1	15.5	18.4	18.2	16.0	15.7	13.9	12.3	13.6	13.0	10.1	5.0	22	75
0.0	0.0	3.2	10.4	13.4	14.0	15.4	18.3	18.1	15.8	15.6	13.8	12.3	13.5	13.0	10.0	4.9	23	81
0.0	0.0	3.2	10.4	13.3	13.9	15.3	18.2	18.0	15.7	15.5	13.7	12.2	13.4	12.9	10.0	4.9	24	87