

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO COM DESLOCAMENTO LINEAR PARA PARCELAS EXPERIMENTAIS¹

FRANCISCO EDUARDO DE CASTRO ROCHA², LUCILENE MARIA DE ANDRADE³, JUSCELINO ANTONIO DE AZEVEDO⁴, EUZÉBIO MEDRADO DA SILVA⁵, SERGIO MAURO FOLLE, CLÁUDIO ALBERTO BENTO FRANZ² e ANTÔNIO CARLOS GOMES⁶

RESUMO - Um protótipo de equipamento de irrigação de movimento linear, apropriado para uso de parcelas experimentais foi desenvolvido e testado na Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC). O equipamento é constituído basicamente por duas partes: módulo I e II. O módulo I é a parte móvel do sistema, que permite a aplicação de água por meio de duas barras laterais equipadas com aspersores; o módulo II é a parte fixa do sistema, que aciona e controla a velocidade do primeiro. O equipamento foi testado tanto operando com água como sem, ao longo de 150 m de distância. Os resultados mostraram que a rota do módulo I apresentou maior variação de deslocamento lateral, nos primeiros 25 m e após os 125 m de percurso, devido principalmente ao declive do terreno e à forma como o cabo de aço é enrolado no cilindro do módulo II. Essa variação pode ser evitada pela construção de dois sulcos apropriados para as rodas do módulo I. A demanda de força de tração aumentou à medida que o módulo I deslocou-se em direção ao módulo II, o que implicou em um aumento de 520 a 711 N quando operou sem água, e de 525 a 1280 N com água. As variações nas velocidades do módulo I com deslocamento de 30; 60; e 90 m/h não foram significativas ao longo da linha de aplicação, independentemente da utilização da água.

Termos para indexação: mecanização, protótipo, aspersão.

DEVELOPMENT OF A LATERAL MOVE IRRIGATION EQUIPMENT FOR EXPERIMENTAL PLOTS

ABSTRACT - A lateral move irrigation prototype for experimental plot was developed and tested at Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC). This equipment includes two parts: module I and module II. The module I is the mobile part that is responsible for the water application through the lateral tubes with sprayers. The module II is the fixed part that is responsible for pulling and speed controlling of the module I. The equipment was tested operating with and without water, across a 150 m long route. It was observed a side movement of the module I, mainly at the beginning and at the end of the route, i. e., between 0 and 25 m and after 125 m. This result was due to the plot slope and to the way the steel cable was fitted around the module II drum. However, after fitting the wheels into soil furrows, there was no lateral deviation at all. As module I became closer to module II, the demand for traction power was increased, from 520 to 711 N, when the equipment worked without water, and from 525 to 1280 N with water. There was no significant variation in speed for the module I at the 30; 60; and 90 m/h movement along the route, either with or without spraying water.

Index terms: mechanization, prototype, sprinkle.

¹ Aceito para publicação em 25 de novembro de 1997.

² Eng. Agríc., M.Sc., Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina, DF. E-mail: rocha@cpac.embrapa.br

³ Eng^a. Agr^a., M.Sc., Embrapa-CPAC.

⁴ Eng. Agr., Dr., Embrapa-CPAC.

⁵ Eng. Agr., Ph.D., Embrapa-CPAC.

⁶ Matemático, Dr., Embrapa-CPAC.

INTRODUÇÃO

O sistema de produção agrícola no Brasil emprega diversas técnicas de irrigação imprescindíveis à produção de grãos em determinadas regiões e épocas do ano. A área total irrigada é de aproximadamente 2 milhões e 500 mil hectares (Brasil, 1989).

Muitos equipamentos destinados à irrigação encontram-se à disposição no mercado nacional; geralmente são apropriados para trabalhar com irrigação por aspersão, por sulcos ou por gotejo. Além disso, possuem características distintas, tais como: forma, tamanho e maneira de operar - fixa ou em movimento (linear ou circular).

Sistemas de irrigação, além de serem importantes para áreas de produção em regiões como a dos Cerrados, onde o índice pluviométrico é baixo por um período do ano, de abril a setembro, são também importantes para a pesquisa agrícola. Nesse caso, a precisão e a adaptabilidade do sistema são fatores preponderantes devido principalmente ao tamanho e ao grande número de parcelas experimentais a serem implantadas com tratamentos diferenciados.

O desenvolvimento e os ensaios de avaliação de máquinas e equipamentos são etapas imprescindíveis ao processo de geração de tecnologia de maior eficiência. Os testes podem ser selecionados em relação a diversos parâmetros e, no caso de equipamentos de irrigação, poderiam ser divididos em dois aspectos: os ensaios de natureza mecânica, onde seriam medidos parâmetros como força de tração e potência, patinação, consumo de energia, resistência de material, variação de velocidade e direção, e aspectos ergonômicos; e os ensaios de natureza hidráulica, tais como quantidade e uniformidade de distribuição de água, tipo de jato d'água, pressão da água, entre outros. Ambos os aspectos podem afetar a eficiência do equipamento (Mialhe, 1974; American Society of Agricultural Engineers, 1989).

Uma das variáveis a serem estudadas na pesquisa em irrigação é a velocidade de deslocamento de equipamentos móveis. Hanson & Wallender (1986) estudaram a uniformidade de aplicação de lâmina d'água ao longo da linha de deslocamento e ao longo do braço de aplicação de um equipamento de irrigação de movimento linear e de um pivô central. Verificaram que a uniformidade maior ocorreu próxima às torres guias, onde os movimentos são mais constantes, e a uniformidade menor ocorreu no meio do vão entre as torres, onde ocorrem movimentos mais irregulares. Nenhuma variação do coeficiente de uniformidade foi verificada ao longo da linha de deslocamento.

Smith & Black (1991) testaram um equipamento de irrigação de deslocamento linear e verificaram que o movimento do equipamento foi a causa da variação significativa da altura de lâmina d'água na direção do deslocamento. A magnitude do efeito deveu-se à velocidade do equipamento.

Rosa et al. (1988) testaram um sistema de irrigação microautopropelido considerando três diferentes polias combinadas a três pressões de serviço, as quais determinaram as velocidades de deslocamento do equipamento. A água ao passar pelo torniquete, com uma determinada pressão, aciona o sistema de transmissão de velocidade e conseqüentemente faz deslocar o equipamento. Além disso, verificaram também que a velocidade foi maior quando utilizou-se o bocal de 14,3 mm de diâmetro em relação ao bocal de 12,7 mm de diâmetro, para a mesma regulagem e pressão de serviço.

Silva & Marouelli (1994) desenvolveram um simulador de irrigação autopropelido para estudar lâminas d'água, frequências de irrigação e quimigação. Os resultados mostraram um Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 87,17%, com velocidade de vento igual a zero. Este coeficiente foi superior aos 80% recomendados para a irrigação por aspersão.

Hills et al. (1988) testaram dois equipamentos de irrigação por aspersão com movimento linear: um, constituído por tubos de descida tipo bengala; outro, por tubos de descida conectados a uma barra com aspersores, em diferentes velocidades de deslocamento. Verificaram que o CUC do primeiro sistema variou de 92 a 96% e foi ligeiramente menor que o do segundo sistema, que variou de 93 a 97%.

Este trabalho foi realizado com o propósito de desenvolver um equipamento para irrigar parcelas experimentais e aplicar produtos químicos via água de irrigação, por meio de um processo de movimentação linear.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de construção do equipamento de irrigação foi baseado em um microautopropelido, adaptado por Silva & Marouelli (1994). Verificou-se que um dos principais problemas do sistema foi a impossibilidade de se obter velocidades constantes de deslocamento, e para superar essa dificuldade foi desenvolvido um novo modelo nas dependências da Embrapa-CPAC. Sua avaliação foi feita por parâmetros de natureza mecânica.

O equipamento compõe-se dos módulos I e II. O módulo I (Fig. 1) é responsável pela aplicação de água e pesa aproximadamente 127 kg, excluindo o peso da mangueira e suas conexões (42 kg). É constituído por uma estrutura de ferro chato, montada sobre dois pneumáticos e um terceiro ponto de apoio; um tubo de elevação de comprimento variável e adaptável ao porte das culturas. Nesse tubo central são conectados dois tubos laterais (horizontais) de alumínio, com 50,8 mm de diâmetro e 6 m de comprimento, dotados de 12 aspersores tipo "spray", com espaçamento de 1 m entre eles. O tamanho desses tubos foi definido para irrigar uma faixa útil de, no mínimo, 4 m de largura de cada lado. Nas

extremidades foram fixadas curvas de 90° que facilitam a decantação de sujeiras contidas na água. O percurso máximo desse módulo é de 150 m, equivalente a duas vezes o comprimento da mangueira de borracha que alimenta essa parte do equipamento.



FIG. 1. Vista lateral do módulo I do equipamento de irrigação.

Foram utilizados aspersores com bocais marca Super Spray Senninger nº13 e placa difusora do tipo estriada pequena, com uma pressão média de serviço de 150 kPa.

O módulo II (Fig. 2), responsável pelo acionamento do módulo I, é constituído por: uma estrutura de ferro chato montada sobre dois pneumáticos, que servem para seu transporte; um motor de 328 W fixado em uma de suas extremidades; um cilindro de 500 mm de diâmetro e 720 mm de comprimento com a função de enrolar o cabo de aço; um mecanismo controlador da entrada do cabo (guia-fio) no cilindro; e de mecanismos de transmissão de velocidade (polias, engrenagens, correntes, correias e mancais). O sistema de transmissão de velocidade possibilita três mudanças de velocidade do módulo I: 30, 60 e 90 m/h, obtidas mediante a combinação de três pares de engrenagens.

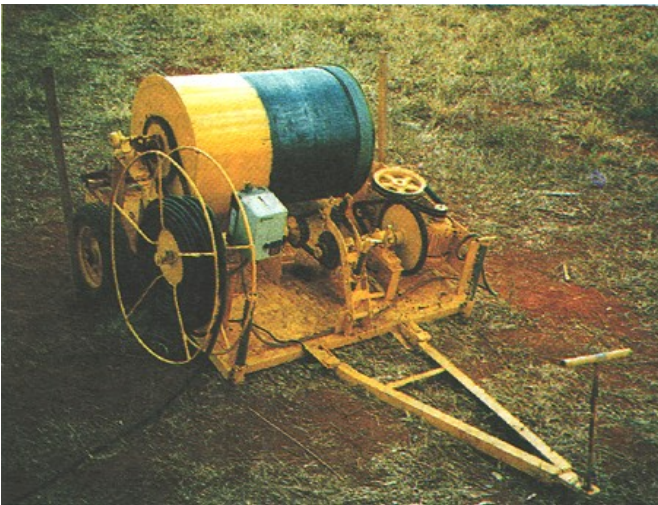


FIG. 2. Vista lateral do módulo II do equipamento de irrigação.

O cilindro e o guia-fio foram projetados e construídos com tamanhos e funções para evitar que houvesse uma superposição do cabo de aço ao ser enrolado. Dessa maneira, o diâmetro da bobina, formado pelo cilindro e uma camada de cabo de aço, foi mantido constante durante a execução do trabalho e, conseqüentemente, a velocidade de deslocamento do módulo I não se alterou.

A Fig. 3 ilustra a parcela experimental utilizada no teste do equipamento. As duas linhas laterais dessa área foram marcadas com estacas nos pontos 0, 25, 50, 75, 100, 125 e 150 m, que serviram como referência para a tomada de dados. Uma trena foi utilizada para medir as distâncias e a variação da rota do módulo I. O módulo II foi posicionado na cabeceira posterior dessa área, a uma distância de 8,82 m entre a linha lateral superior e a entrada inicial do cabo de aço no cilindro; o módulo I, na cabeceira anterior à distância de 8,51 m entre a linha lateral superior e o centro desse módulo. O cilindro começou a enrolar o cabo de aço à referida distância de 8,82 m, e à medida que girava, essa distância decrescia até atingir o mínimo de 8,42 m, quando o equipamento era desligado ao completar os 150 m de percurso previstos para os

testes do módulo I. Utilizaram-se dois cronômetros para a marcação do tempo de deslocamento entre uma estaca e outra; um dinamômetro de mola, marca Filizola, foi fixado entre o módulo I e o cabo de aço para medir a força de tração máxima; um penetrômetro de mola, marca Daiki, foi utilizado para a medição da resistência superficial do solo. Foram coletadas amostras de solo na linha de aplicação com o objetivo de determinar o conteúdo volumétrico de água. Uma proveta de dois litros foi utilizada para a determinação da vazão dos bicos aspersores.

Os parâmetros avaliados foram: ΔV (variação da rota de aplicação - m); F.T. (força de tração máxima - N); V (velocidade de deslocamento - m/h); e a resistência à penetração superficial do solo - kPa.

Os ensaios foram realizados em uma área de Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, não cultivada, com vegetação rasteira de gramínea e declividade aproximada de 2,9%.

O equipamento foi submetido a dois tratamentos: operando com água e operando sem água.

A água fornecida ao sistema foi bombeada de um canal sem revestimento, situado próximo à área experimental.

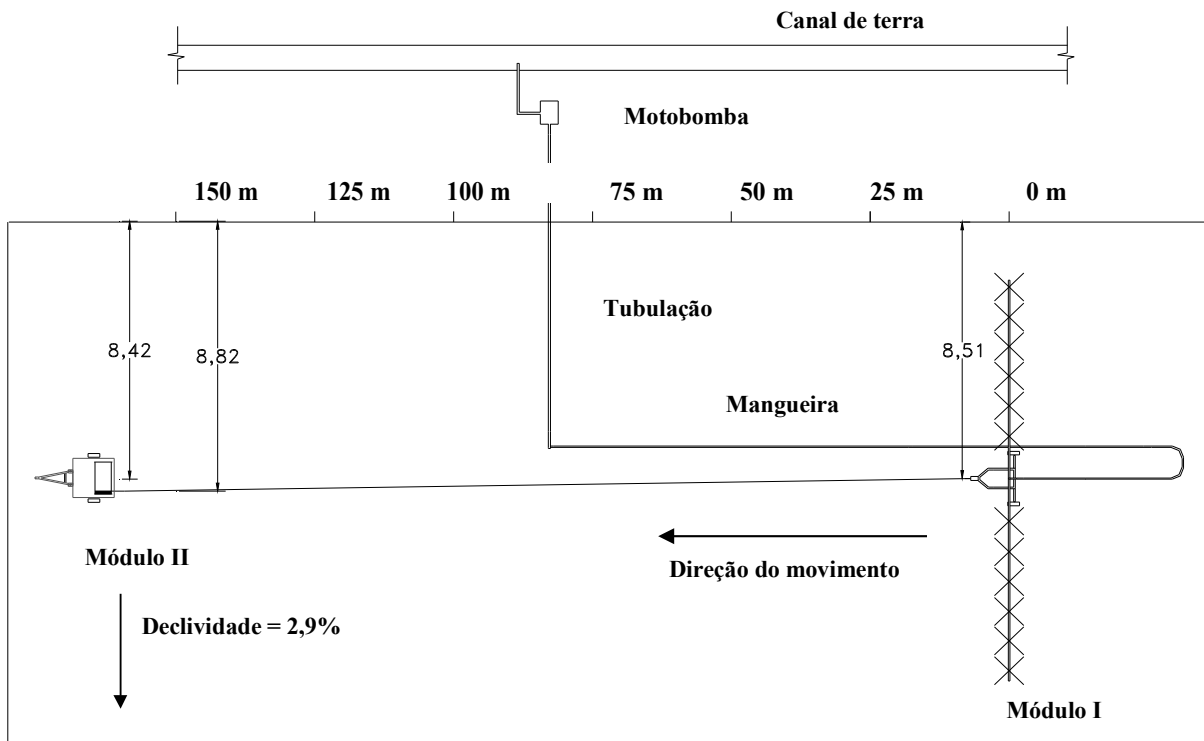


FIG. 3. Esquema do equipamento de irrigação de deslocamento linear em operação.

O método de análise utilizado foi por comparações dos parâmetros das curvas de resposta dos tratamentos, empregando-se a análise de regressão e tendo por variável independente os valores das medições nos pontos de observação (25, 50, 75, 100, 125, 150 m), com duas repetições. Para a comparação das curvas de respostas, utilizou-se o método de análise de perfil (Colwell, 1978), comparando-se os coeficientes dos polinômios ortogonais pelo teste T de Student, após a análise de variância das tendências P_0 , P_1 , P_2 , P_3 , representadas pelo seguinte modelo teórico:

$$\hat{y} = P_0 * M + P_1 * L + P_2 * Q + P_3 * C + \xi ;$$

onde:

P_0 - é o valor médio em relação ao modelo em estudo (modelo polinomial ortogonal);

P_1 - é a tendência de acréscimos ou decréscimos lineares;

P_2 - tendência de curvilinearidade;

P_3 - comportamento cíclico da curva;

ξ - é o erro da regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes mostraram que a vazão média de cada bico aspersor foi de 0,4 L/s e as lâminas d'água foram de 32; 15,2; e 11,2 mm, respectivamente às velocidades de deslocamento de 30, 60 e 90 m/h.

Quanto à variação da rota de aplicação, inicialmente fixaram-se as velocidades e foram estudados os efeitos dos tratamentos. Pelo teste F, na análise de variância das tendências, e pelo teste T de Student, a 5% de probabilidade, compararam-se os coeficientes dos polinômios ortogonais P_0 , P_1 , P_2 e P_3 das curvas de resposta dos respectivos tratamentos (Tabela 1). Verificou-se que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) nas velocidades de 30, 60 e 90 m/h.

Posteriormente, fixaram-se os tratamentos e foram estudados os efeitos das velocidades comparando-se os coeficientes dos polinômios P_0 , P_1 , P_2 e P_3 das curvas de resposta das respectivas velocidades. Verificou-se que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os tratamentos. Sendo assim, ajustou-se apenas um modelo para representar essa curva de resposta.

TABELA 1. Valores dos coeficientes dos polinômios ortogonais P_0 , P_1 , P_2 e P_3 das curvas de resposta da variável rota de aplicação¹.

Velocidade (m/h)	P_0		P_1		P_2		P_3	
	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água
30	9,51a	9,51a	-3,3E-4a	-6,4E-4a	-6,0E-4a	-9,1E-4a	-4,1E-7a	-4,9E-7a
60	9,46a	9,53a	5,7E-6a	-8,2E-4a	-3,8E-5a	-9,0E-5a	-4,8E-7a	-7,6E-7a
90	9,45a	9,51a	2,1E-4a	-5,8E-4b	-4,7E-5a	-8,6E-5a	-1,0E-7a	-6,3E-7b

¹ Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste T.

As Figs. 4 e 5 apresentam duas curvas. Uma, ajustada a partir de valores medidos no campo, e a outra, teórica com formato retilíneo, que representa o caminho esperado pelo módulo I. Através dessas duas curvas pode-se verificar que o módulo I, ao movimentar-se em direção ao módulo II, desvia-se do percurso esperado, no sentido da declividade do terreno, e sua trajetória apresenta uma forma curvilínea ajustada ao modelo, $\hat{Y} = 9,056 + 0,015X - 0,000089X^2$, $R^2 = 0,57^{**}$ (operando com água) e $\hat{Y} = 9,19 + 0,0084X - 0,000048X^2$, $R^2 = 0,48^{**}$ (operando sem água).

Os valores médios da variação da rota do equipamento, considerando as duas repetições e as três velocidades, foram de 102 cm quando operou sem água e 106 cm quando operou com água, e essa variação foi no sentido da declividade do terreno.

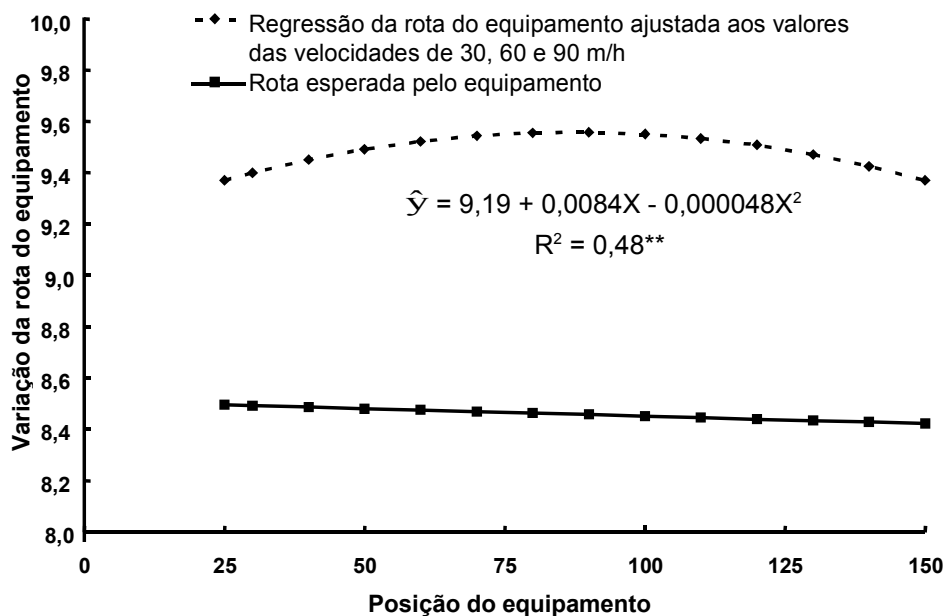


FIG. 4. Variação da rota do módulo i na linha de aplicação, considerando operação sem água.

A rota do módulo I apresentou maior variação de deslocamento lateral, nos primeiros 25 m e após os 125 m de percurso, independentemente do tratamento. Provavelmente, uma das causas desse desvio, além da declividade do terreno, é a variação da posição de entrada do cabo de aço no cilindro, que foi de 8,82 m a 8,42 m em relação à linha lateral superior da área de trabalho.

A rota de aplicação foi medida em condições normais de campo. Posteriormente, foram feitos dois sulcos na linha de deslocamento de modo a encaixar as duas rodas do módulo I. Com a construção desses sulcos, a rota de deslocamento do módulo I não apresentou nenhuma mudança de direção, independentemente do tratamento.

Em relação à demanda de força de tração, inicialmente fixaram-se as velocidades e foram estudados os efeitos dos tratamentos. Pelo teste F na análise de variância e pelo teste T de Student a 5% de probabilidade compararam-se os coeficientes dos polinômios ortogonais P_0 , P_1 , P_2 e P_3 das curvas de resposta dos respectivos tratamentos (Tabela 2). Verificou-se diferença significativa ($P < 0,05$) nas tendências correspondentes aos coeficientes P_0 e P_1 , mas não nas tendências correspondentes aos coeficientes P_2 e P_3 , nas velocidades de 30, 60 e 90 m/h.

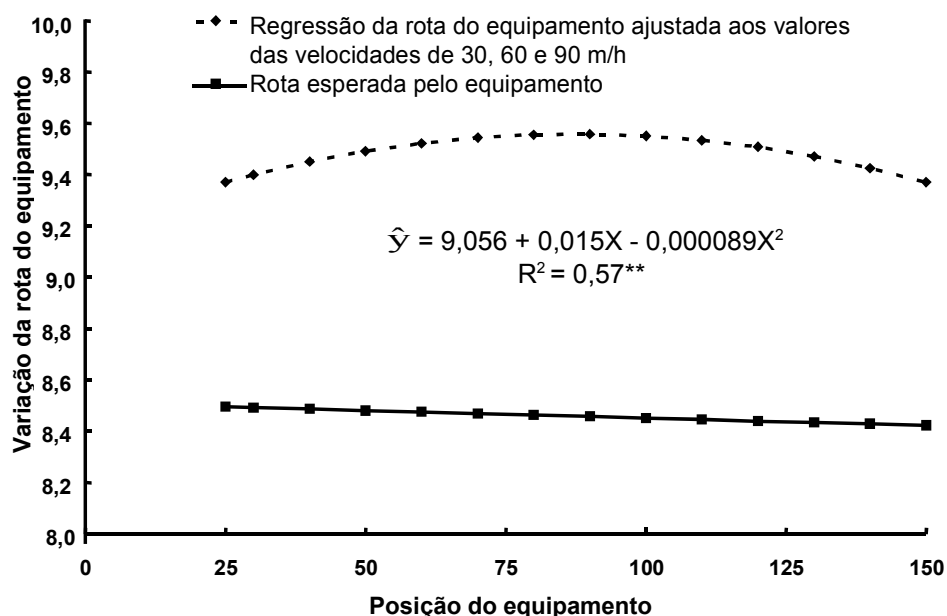


FIG. 5. Variação da rota do módulo i na linha de aplicação, considerando operação com água.

TABELA 2. Valores dos coeficientes dos polinômios ortogonais p_0 , p_1 , p_2 e p_3 das curvas de resposta da variável força de tração¹.

Velocidade (m/h)	P_0		P_1		P_2		P_3	
	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água
30	643,6a	918,6b	1,33a	6,23b	-4,8E-3a	7,7E-4a	-1,6E-4a	-2,0E-4a
60	640,7a	896,1b	1,48a	5,43b	-9,8E-3a	-2,1E-4a	2,6E-5a	3,2E-4a
90	628,4a	924,7b	1,26a	5,86b	-1,1E-2a	-3,9E-3a	-7,3E-6a	6,2E-5a

Posteriormente, fixaram-se os tratamentos e foram estudados os efeitos das velocidades comparando-se os coeficientes dos polinômios P_0 , P_1 , P_2 e P_3 das curvas de resposta das respectivas velocidades. Não foram verificadas diferenças significativas ($P > 0,05$) nos tratamentos com e sem água. Sendo assim, ajustou-se apenas um modelo para representar a curva-resposta da demanda de força de tração (Fig. 6).

Pode-se verificar na Fig. 6 que a demanda de força de tração apresentou um comportamento linear crescente em ambos os tratamentos, e para representar essas curvas, ajustaram-se os seguintes modelos:

$\hat{Y} = 401,85 + 5,84X$, $R^2 = 0,94^{**}$ (operando com água), e $\hat{Y} = 518,99 + 1,35X$, $R^2 = 0,82^{**}$ (operando sem água). Observa-se que o incremento ocorre com maior intensidade quando o equipamento opera com água.

Os valores médios da demanda de força de tração, considerando as duas repetições e as três velocidades, variaram entre 525 e 1280 N (operando com água); e de 520 a 711 N (operando sem água). O peso da água foi fator decisivo na diferença significativa entre as duas curvas de respostas, ou seja, o aumento da demanda de força à medida que o módulo I deslocou-se na linha de aplicação deveu-se principalmente ao aumento gradual do peso da mangueira mobilizada; quando introduziu-se água no sistema verificou-se maior demanda de força para tracionar o peso adicional da água.

Quanto às velocidades do módulo I, não foram observadas mudanças no comportamento das curvas de resposta das velocidades de 30, 60 e 90 m/h, independentemente do tratamento; portanto, elas foram construídas a partir de valores médios, considerando as duas repetições.

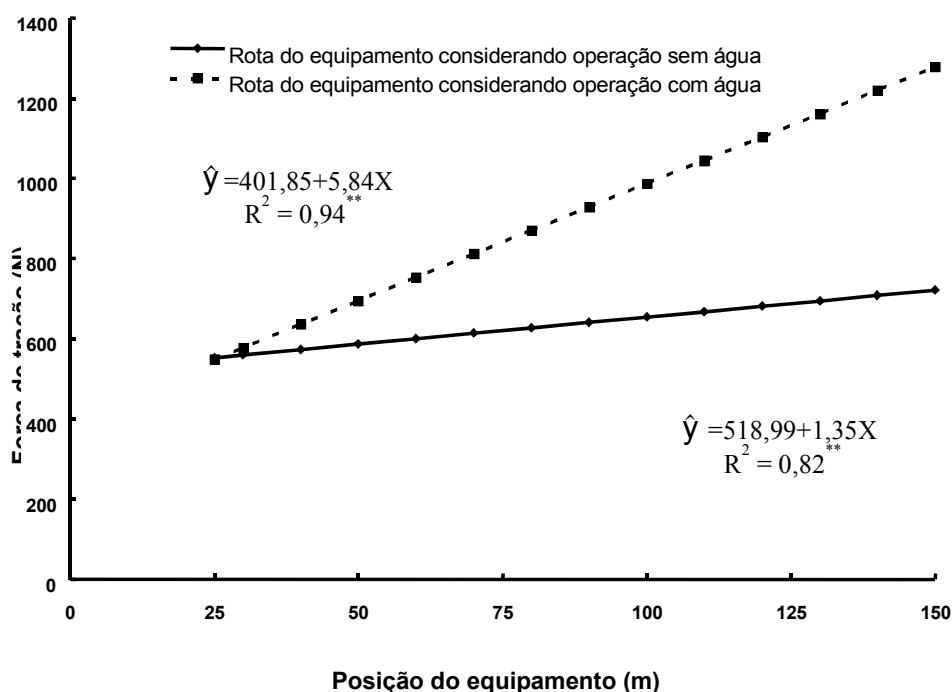


FIG. 6. Demanda de força de tração para movimentar o módulo i, considerando os valores médios ajustados das três velocidades.

As Figs. 7 e 8 mostram que as três velocidades reguladas a partir do jogo de engrenagens do módulo II possibilitaram ao módulo I movimentar-se com variação não-significativa na linha de aplicação, independentemente do tratamento. Os valores das três velocidades medidas no campo foram de 85,9 a 88,5; 60,5 a 61,4; e 30,3 a 30,6 m/h.

Com referência à resistência superficial do solo na linha de aplicação, inicialmente fixaram-se as velocidades e foram estudados os efeitos dos tratamentos. Pelo teste F na análise de variância das tendências e pelo teste T de Student a 5% de probabilidade compararam-se os coeficientes dos polinômios ortogonais P_0 , P_1 , P_2 e P_3 das curvas de resposta dos respectivos tratamentos (Tabela 3). Verificou-se diferença significativa ($P < 0,05$) nas tendências correspondentes aos coeficientes P_0 e P_3 , na velocidade de 30 m/h; P_0 e P_2 , na velocidade de 60 m/h; e P_0 , P_1 , na velocidade de 90 m/h.

TABELA 3. Valores dos coeficientes dos polinômios ortogonais p_0 , p_1 , p_2 e p_3 das curvas de resposta da variável resistência superficial¹.

Velocidade (m/h)	P_0		P_1		P_2		P_3	
	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água	Operando com água	Operando sem água
30	857,2a	346,5b	-0,84a	-4,57a	7,7E-2a	2,0E-2a	-1,3E-4a	-3,6E-3b
60	1048,9a	424,2b	-11,06a	-3,69a	2,4E-2a	7,0E-2b	-4,7E-3a	-8,6E-4a
90	1059,2a	383,2b	-8,19a	-2,68b	6,8E-2a	5,4E-2a	1,2E-3a	-1,5E-4a

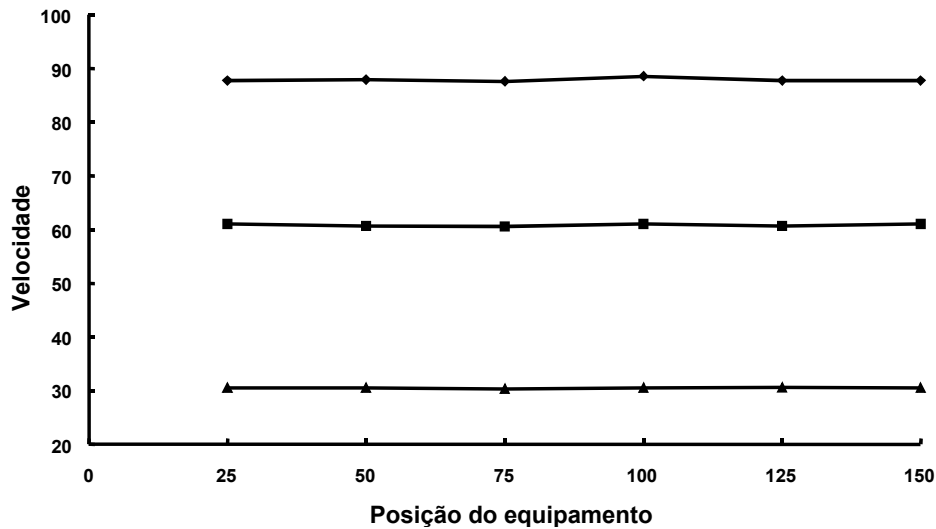


FIG. 7. Velocidade do módulo i na linha de aplicação, considerando operação sem água.

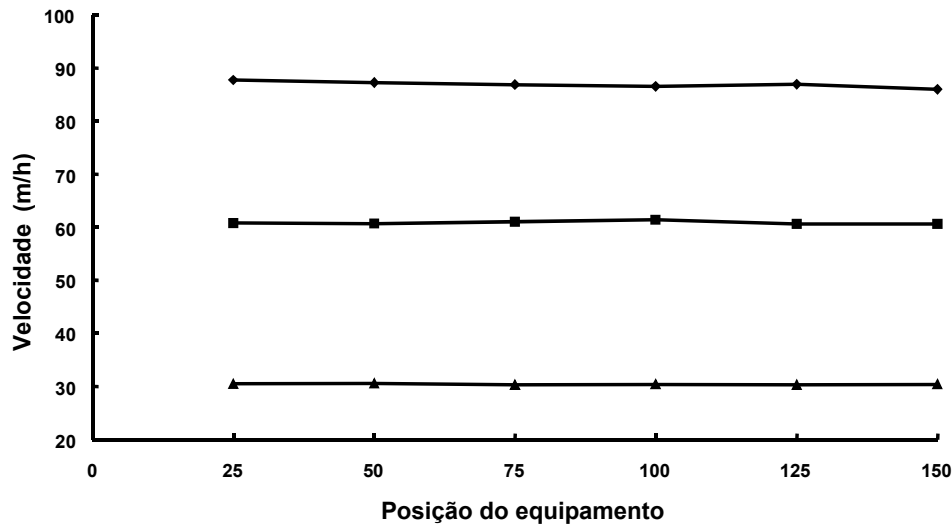


FIG. 8. Velocidade do módulo i na linha de aplicação, considerando operação com água.

Posteriormente, fixaram-se os tratamentos e foram estudados os efeitos das velocidades comparando-se os coeficientes dos polinômios P_0 , P_1 , P_2 e P_3 das curvas de resposta das respectivas velocidades. Não verificou-

se diferença significativa ($P>0,05$) quando se operou com água. Houve diferença significativa ($P<0,05$) no componente quadrático quando se operou sem água (Fig. 9).

O módulo I operou sobre um solo com diferentes resistências superficiais em relação aos tratamentos com e sem água, o que proporcionou uma tendência diferenciada nas curvas de resposta. Quando o módulo I trabalhou na velocidade de 90 m/h, a tendência da resistência foi linear decrescente, com maior intensidade no tratamento sem água, ou seja, operou sobre um solo com maior resistência superficial no início da linha de deslocamento do que na parte final.

Na velocidade de 60 m/h, os tratamentos apresentaram uma tendência diferenciada apenas no componente quadrático; quando o solo estava seco, a resistência superficial foi três vezes superior à do solo úmido.

Na velocidade de 30 m/h, os tratamentos proporcionaram uma tendência diferenciada apenas no componente cúbico, ou seja, no início da linha de deslocamento a resistência do solo foi menor; no meio, maior; e no final, menor, novamente.

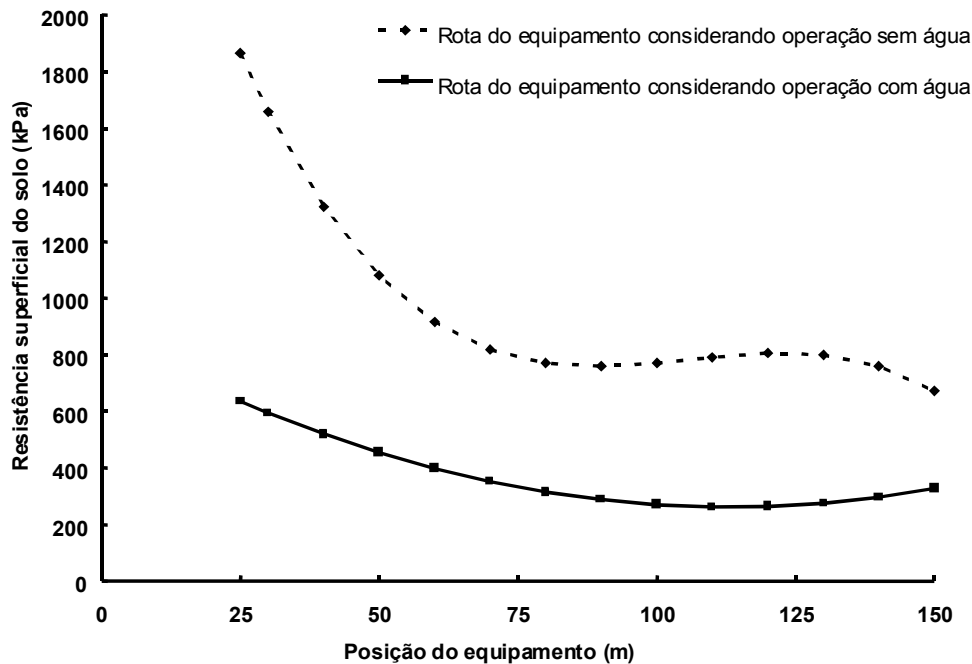


FIG. 9. Resistência superficial do solo na linha de aplicação, após a passagem do módulo i.

O teor de umidade e a resistência superficial médios do solo, na profundidade de 0 - 10 cm, ao longo da linha de aplicação foram respectivamente de 11,91% e 988,43 kPa, no tratamento sem água, e de 29,70% e 384 kPa, quando o equipamento operou com água.

Pode-se observar que no momento em que a umidade do solo aumentou, a resistência superficial à penetração diminuiu. Esse decréscimo não foi suficiente para reduzir a demanda de potência média, de 912,56 N (quando se operou com água) e de 637,57 N (quando se operou sem água). Tal diferença deveu-se principalmente ao peso da água e tipo de solo, ligeiramente compactado.

Esses dados mostram que o módulo I deve-se deslocar sobre uma faixa de solo ligeiramente compactada para que trabalhe com precisão e com baixo consumo de energia.

CONCLUSÕES

1. A rota do módulo I apresenta uma variação mais acentuada, no sentido da declividade do terreno, somente no início e no final da linha de aplicação, nos tratamentos com e sem água.
2. A rota do módulo I não apresenta variação de deslocamento lateral após terem sido preparados dois sulcos para encaixar suas rodas ao longo da linha de aplicação.

3. A demanda de força de tração aumenta gradativamente à medida que o módulo I aproxima-se do módulo II.
4. A demanda de força de tração é maior quando o sistema trabalha com água.
5. As velocidades de 30, 60 e 90 m/h não apresentam variação significativa durante o deslocamento do módulo I.
6. A resistência superficial do solo, medida após a passagem do módulo I, diminui gradativamente do início para o final da linha de aplicação.
7. O módulo I deve deslocar sobre uma faixa de solo ligeiramente compactada para se obter maior precisão de trabalho e baixo consumo energético.
8. O equipamento é de fácil construção e manejo e apresenta precisão quanto ao deslocamento do módulo I.

AGRADECIMENTOS

Ao assistente de pesquisa, Joviano Mateus Pires Filho, pela participação nos testes experimentais; ao técnico de manutenção, Márcio Rubens dos Santos, e ao mestre de manutenção, Joel Manoel de Moraes, pela participação na elaboração do projeto e construção do equipamento.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (St. Joseph, MI). Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot, corner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles, ASAE Standard: ASAE S436. In: RUSSELL, H.H.; ROSENRETER, E.E. (Eds.). **ASAE Standards 1989**. 36.ed. St. Joseph, MI, 1989. p.578-579.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Projeto Nacional de Irrigação. **Relatório de realizações de 1986 a 1988**. Brasília: PRONI, 1989. p.95.
- COLWELL, J.D. **Computations for studies of soil fertility and fertilizer requirements**. London: CAB, 1978. 2v.
- HANSON, B.R.; WALLENDER, W.W. Bidirectional uniformity of water applied by continuous-move sprinkler machines. **Transactions of the ASAE**, v.29, n.4, p.1047-1053, 1986.
- HILLS, D.J.; GU, Y.; RUMSEY, J.W.; WALLENDER, W.W. Lateral move water application uniformity relative to machine speed. **Transactions of the ASAE**. v.31, n.2, p.527-530, 1988.
- MIALHE, L.G. Ensaio de tratores agrícolas. In: MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ceres, 1974. p.127-163.
- ROSA, J.A; BERNARDO, S.; LOUREIRO, B.T.; DENÍCULI, W. Avaliação do sistema de irrigação microautopropelido em diferentes condições de operações. **Revista Ceres**. v.35, n.202, p.217-235, 1988.
- SILVA, W.L.; MAROUELLI, W.A. Simulador de irrigação autopropelido com movimento linear. **Horticultura Brasileira**, v.12, n.1, p.59-61, 1994.
- SMITH, R.J.; BLACK, J.L. The uniformity of applications from lateral move irrigation machines modelling the effect of sample spacing and machine motion. **Agricultural Engineering Australia**, v.20, n.1, p.20-26, 1991.