



VINÍCIUS CARREIRA BRAGA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO EMISSOR
DE FINAL DE PIVÔ R55VT[®] EM CONDIÇÕES
DE CAMPO**

LAVRAS – MG

2023

VINÍCIUS CARREIRA BRAGA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO EMISSOR DE FINAL DE PIVÔ
R55VT® EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso de
Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. DSc. Adriano Valentim Diotto
Orientador

LAVRAS – MG

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos
da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio (a) autor (a).

Braga, Vinícius Carreira

Avaliação do desempenho do emissor de final de pivô R55VT[®]
em condições de campo / Vinícius Carreira Braga. 1^a ed. rev., atual.
e ampl. – Lavras : UFLA, 2023.

37 p. : il.

TCC–Universidade Federal de Lavras, 2023.

Orientador: Prof. DSc. Adriano Valentim Diotto.

Bibliografia.

1. Irrigação. 2. Eficiência de aplicação de água. 3. Pivô central.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

VINÍCIUS CARREIRA BRAGA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO EMISSOR DE FINAL DE PIVÔ
R55VT® EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 16 de Março de 2023.

| | |
|---|------|
| Prof. DSc. Adriano Valentim Diotto | UFLA |
| Prof. DSc. Victor Buono da Silva Baptista | UFLA |
| MSc. Francisco Nogueira Vilaça | UFLA |

Prof. DSc. Adriano Valentim Diotto
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

A Deus e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Obrigado, Pai, pelas amizades e oportunidades que vós me concedestes nesse período de faculdade. Obrigado também pelas dores, cujo fardo tornou meus ombros mais largos. Obrigado, Mãe, pela intercessão e amparo que sustentaram esse teu filho tão pequeno.

Agradeço aos meus pais, Gabriela e Marcelo, e aos meus irmãos Vitor, Sarah e Heitor, por todo o amor.

Aos meus familiares, que sempre me apoiaram.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e momentos de descontração.

Aos professores, pelos ensinamentos.

Ao Professor Adriano, pela orientação e paciência.

Aos colegas de trabalho, pela ajuda na obtenção dos dados.

*Se tens de servir a Deus com a tua inteligência, para ti estudar é uma obrigação
grave.
(S. Josemaria Escrivá)*

RESUMO

O pivô central é o sistema de irrigação que apresenta maior crescimento em termos de área no Brasil, graças à sua adaptabilidade a diferentes tipos de solo e topografia, baixa necessidade de mão de obra operacional e boa uniformidade de aplicação de água. A fim de aumentar a área irrigada pelo equipamento, foram desenvolvidos emissores específicos para serem instalados no final da linha lateral. No entanto, o desempenho em campo desses emissores pode diferir do esperado se não forem bem dimensionados, resultando em uma lâmina aplicada inconsistente com a lâmina média observada ao longo da área irrigada. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a lâmina aplicada e o alcance efetivo em campo do emissor rotativo de final de pivô R55VT[®], fabricado pela Nelson Irrigation, sob diferentes pressões de serviço. Para tanto, foram conduzidos testes em diversos pivôs da região do Alto Paranaíba – MG, com o auxílio de coletores específicos, que foram dispostos de 2 em 2 metros, ao longo de 20 metros após o final do pivô. Com o registro do volume coletado em campo, foi possível obter a lâmina aplicada e calcular o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), assim como determinar o alcance do jato do R55VT[®]. Além disso, os dados coletados foram suficientes para fazer ponderações a respeito da influência da velocidade do vento e da altura de instalação no desempenho do emissor. Os emissores instalados a 3 e 3,2 metros e submetidos a ventos fracos demonstraram melhor desempenho no teste CUC, enquanto os R55 instalados a 1,8 e 2 metros e submetidos a ventos mais fortes demonstraram desempenho reduzido tanto no teste CUC quanto na qualidade da distribuição de água.

Palavras-chave: Irrigação. Eficiência de aplicação. Pivô central.

ABSTRACT

The center pivot is the irrigation system with the highest growth in terms of area in Brazil, due to its adaptability to different types of soil and topography, low need for operational labor and good uniformity of water application. In order to increase the area irrigated by the equipment, specific sprinklers were developed for installation at the end of the lateral line. However, the field performance of these sprinklers may differ from what is expected if they are not well dimensioned, which may result in an applied water depth that is inconsistent with the average depth observed throughout the irrigated area. In this context, this work aimed to evaluate the applied depth and the effective range of the R55VT[®] end of pivot sprinkler, manufactured by Nelson Irrigation, under different pressures. For this purpose, tests were performed on several pivots in Rio Paranaíba and São Gotardo, Minas Gerais, Brazil, using specific collectors, which were arranged every 2 meters, along 20 meters after the end of the pivot. By recording the volume collected in the field, it was possible to obtain the applied water depth and calculate the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), as well as determine the reach of the R55VT[®] flush. In addition, the collected data were sufficient to consider the influence of wind speed and installation height on the sprinklers performance. The sprinklers installed at 3 and 3.2 meters, working under light winds showed the best performance in the CUC test, while the R55 installed at 1.8 and 2 meters, working under heavy winds showed reduced performance both in the CUC test and in the quality of the distribution of water.

Keywords: Irrigation. Application efficiency. Center pivot.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Exemplo de instalação adequada do R55VT | 17 |
| Figura 2 – Exemplo de instalação incorreta do R55VT | 17 |
| Figura 3 – Vista aérea englobando os quatro pivôs avaliados | 18 |
| Figura 4 – Área irrigada pelo pivô 1 | 20 |
| Figura 5 – Área irrigada pelo pivô 2 | 21 |
| Figura 6 – Área irrigada pelo pivô 3 | 22 |
| Figura 7 – Área irrigada pelo pivô 4 | 23 |
| Figura 8 – Disposição dos coletores | 24 |
| Figura 9 – Disposição dos coletores em campo | 25 |
| Figura 10 – Estação Meteorológica IPHP2000 | 26 |
| Figura 11 – Detalhe da impureza presa à placa defletora | 29 |
| Figura 12 – Perfil de distribuição de água do Pivô 1 | 30 |
| Figura 13 – Perfil de distribuição de água do Pivô 2 | 30 |
| Figura 14 – Perfil de distribuição de água do Pivô 3 | 31 |
| Figura 15 – Perfil de distribuição de água do Pivô 4 | 31 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 1 – | Dados de desempenho dos bocais 52 (roxo), 56 (branco), 60 (vermelho) e 65 (laranja). | 16 |
| Tabela 2 – | Dados de desempenho dos bocais 70 (amarelo), 80 (verde) e 90 (azul). | 16 |
| Tabela 3 – | Classificação dos resultados dos testes CUC | 26 |
| Tabela 4 – | Volume coletado em cada coletor (ml) | 28 |
| Tabela 5 – | Resultados obtidos | 28 |
| Tabela 6 – | Alcance efetivo, total e esperado de cada teste. | 32 |
| Tabela 7 – | Lâmina aplicada pelo R55 e lâmina média do pivô | 33 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 | Especificações técnicas do R55VT® | 16 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 18 |
| 3.0.1 | Pivô 01 | 19 |
| 3.0.2 | Pivô 02 | 19 |
| 3.0.3 | Pivô 03 | 20 |
| 3.0.4 | Pivô 04 | 22 |
| 3.1 | Ensaio de precipitação | 23 |
| 3.1.1 | Coefficiente de Uniformidade de Christiansen Modificado (CUC) | 25 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 4.1 | Dados coletados | 28 |
| 4.2 | Uniformidade de aplicação de água | 29 |
| 4.3 | Alcance | 32 |
| 4.4 | Lâmina aplicada | 32 |
| 5 | CONCLUSÃO | 35 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 36 |

1 INTRODUÇÃO

Até 2050, estima-se que a população mundial atinja o patamar de 9,7 bilhões de pessoas (ONU, 2022). Diante desse cenário, toda a preocupação se volta para o que há de mais essencial à vida: água e comida. Nesse contexto, é incontestável o protagonismo da irrigação, que através do uso racional da água, pode aumentar significativamente a produtividade das lavouras e a qualidade do produto.

O pivô central é o sistema de irrigação que apresenta maior crescimento no Brasil, superando 1,5 milhões de hectares no ano de 2019 (ANA, 2021). Um pivô central é um equipamento de irrigação composto por uma linha lateral suspensa por torres de sustentação móveis, que giram em torno de um ponto central fixo, chamado de ponto pivô ou base. Ao longo da linha lateral, são dispostos emissores, responsáveis pela aplicação de água via aspersão sobre a cultura enquanto a linha lateral se desloca na área. No ponto pivô, encontra-se um painel eletrônico que permite ligar/desligar o sistema e controlar a velocidade de locomoção das torres móveis — controlando também a lâmina d'água aplicada.

A fim de aumentar a área irrigada sem alterar o comprimento da tubulação lateral, é comum a instalação de aspersores de grande porte, conhecidos como canhão hidráulico, na sua extremidade. Porém, os canhões demandam altas pressões e apresentam baixa uniformidade de aplicação de água, especialmente em condições de vento (Azevedo et al., 2000), por isso, o investimento pode se tornar inviável, em muitos casos.

Tendo em vista esse contexto, foram desenvolvidos emissores de final de pivô, que, apesar de abrangerem um raio menor que os canhões, tem sido amplamente utilizados, devido à melhor uniformidade e menor pressão de serviço requerida. Dentre esses, destaca-se o R55 VT[®], da fabricante americana Nelson Irrigation. No entanto, caso não sejam bem dimensionados, esses emissores podem funcionar aquém do esperado, aplicando uma lâmina inconsistente com a média

observada ao longo da área irrigada. Visto que ainda existem poucos estudos que relacionam seu desempenho em campo com o teórico apresentado no catálogo do produto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho em condições reais de campo do R55 VT[®], antes de qualquer interferência ou melhoria, para tentar identificar possíveis problemas na sua utilização, da maneira como é feita por alguns produtores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com ANA (2017), a irrigação no Brasil tem demonstrado crescimentos anuais significativos, o que indica que o potencial de irrigação do país tem sido explorado. Esse crescimento vem apresentando taxas médias anuais entre 4,4% e 7,3% desde a década de 1960, e a área irrigada por pivô central é responsável por quase metade deste crescimento (ANA 2017).

O pivô central é um sistema de irrigação por aspersão mecanizado, constituído das seguintes partes: torre central, painel de controle, anel coletor, tubulação de distribuição, torres móveis, conjunto motor-redutores, juntas flexíveis, lance final em balanço, canhão final e pode apresentar ou não um emissor de final de linha. O sistema apresenta uma longa lateral de irrigação que se move sobre a área irrigando as plantas com aspersores ou sprays distribuídos na tubulação. A torre central é ancorada a uma base de concreto no centro da área, onde se tem a ponto de alimentação de água do sistema. A tubulação de distribuição de água é sustentada por estruturas treliçadas e torres de sustentação, que através dos moto-redutores (elétricos, mecânicos ou hidráulicos) e sistemas de rodados, se movimentam em torno da torre central (FAO, 2007).

A lateral de um pivô é mantida suspensa através de um sistema de torres móveis e suportada por treliças e tirantes, sendo composta por tubos de aço zincado com diâmetros entre 4" a 10", porém algumas empresas fazem uma tubulação especial de 12". Os emissores desta lateral podem ser instalados no topo da tubulação ou por meio de tubo de descida, chamados de pendurais (FAO, 2007; TESTEZLAF, 2017). O comprimento da lateral pode variar de 60 a 790 metros (SILVA; AZEVEDO, 1998), apesar de existirem pivôs mais específicos, que podem chegar a comprimento de lateral de até 1055 metros.

De acordo com Martin et al. (2017), pode se encontrar no final da lateral de um pivô um aspersor de grande porte, que apresenta a função de aumentar a área irrigada. No entanto, com a ocorrência de ventos fortes, é possível que a eficiência

de aplicação de água nessa área irrigada pelo canhão seja prejudicada (BISCARO, 2009). Visando substituir o canhão ou complementar a lâmina aplicada por ele, em alguns projetos de pivô central são instalados emissores de final de pivô, ou seja, emissores no final da linha lateral. Um exemplo deste tipo de emissor é o R55VT da Nelson Irrigation®.

2.1 Especificações técnicas do R55VT®

De acordo com a Nelson Irrigation, o R55VT® é um aspersor de final de pivô capaz de trabalhar na faixa de 1 a 4 kgf/cm² de pressão, com vazão de 4,2 a 23,6 m³/h e raio de 12,2 a 16,9 m, conforme ilustram as tabelas 2 e

Tabela 1 – Dados de desempenho dos bocais 52 (roxo), 56 (branco), 60 (vermelho) e 65 (laranja).

| Pressure (bar) | *52 Purple Nozzle | | *56 White Nozzle | | *60 Red Nozzle | | *65 Orange Nozzle | |
|----------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
| | Flow (m ³ /hr) | Radius (m) |
| 1 | 4.2 | 12.2 | 5.3 | 12.2 | 6.3 | 12.2 | 7.4 | 12.2 |
| 1.5 | 5.1 | 13.3 | 6.4 | 13.4 | 7.6 | 13.4 | 9.0 | 13.7 |
| 2 | 6.0 | 14.0 | 7.5 | 14.3 | 8.9 | 14.3 | 10.5 | 14.6 |
| 2.5 | 6.7 | 14.4 | 8.4 | 14.7 | 10.0 | 15.0 | 11.8 | 15.0 |
| 3 | 7.4 | 14.6 | 9.2 | 15.2 | 11.0 | 15.5 | 13.0 | 15.5 |
| 3.5 | 8.0 | 14.6 | 9.9 | 15.2 | 11.8 | 15.5 | 14.1 | 15.8 |
| 4 | 8.5 | 14.6 | 10.5 | 15.2 | 12.5 | 15.5 | 15.0 | 15.8 |

Fonte: adaptado de Nelson Irrigation

Tabela 2 – Dados de desempenho dos bocais 70 (amarelo), 80 (verde) e 90 (azul).

| Pressure (bar) | *70 Yellow Nozzle | | *80 Green Nozzle | | *90 Blue Nozzle | |
|----------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
| | Flow (m ³ /hr) | Radius (m) | Flow (m ³ /hr) | Radius (m) | Flow (m ³ /hr) | Radius (m) |
| 1 | 8.2 | 12.2 | 10.3 | 12.2 | 11.8 | 12.5 |
| 1.5 | 10.0 | 13.8 | 12.5 | 13.8 | 14.4 | 14.0 |
| 2 | 11.6 | 14.9 | 14.6 | 14.9 | 16.7 | 15.1 |
| 2.5 | 13.1 | 15.3 | 16.4 | 15.3 | 18.8 | 15.6 |
| 3 | 14.4 | 15.8 | 18.0 | 16.0 | 20.6 | 16.3 |
| 3.5 | 15.5 | 16.2 | 19.4 | 16.5 | 22.2 | 16.5 |
| 4 | 16.4 | 16.2 | 20.5 | 16.5 | 23.6 | 16.9 |

Fonte: adaptado de Nelson Irrigation

Para evitar redução do desempenho, a montagem do R55VT deve ser feita de forma vertical, com condições de entrada adequadas (não deve ser instalado diretamente na curva de 90°, por exemplo). A Figura 1 ilustra um R55VT instalado corretamente, enquanto a Figura 2 representa uma montagem inadequada. A altura de instalação recomendada pela fabricante é de 2,7 metros.

Figura 1 – Exemplo de instalação adequada do R55VT



Fonte: do autor

Figura 2 – Exemplo de instalação incorreta do R55VT



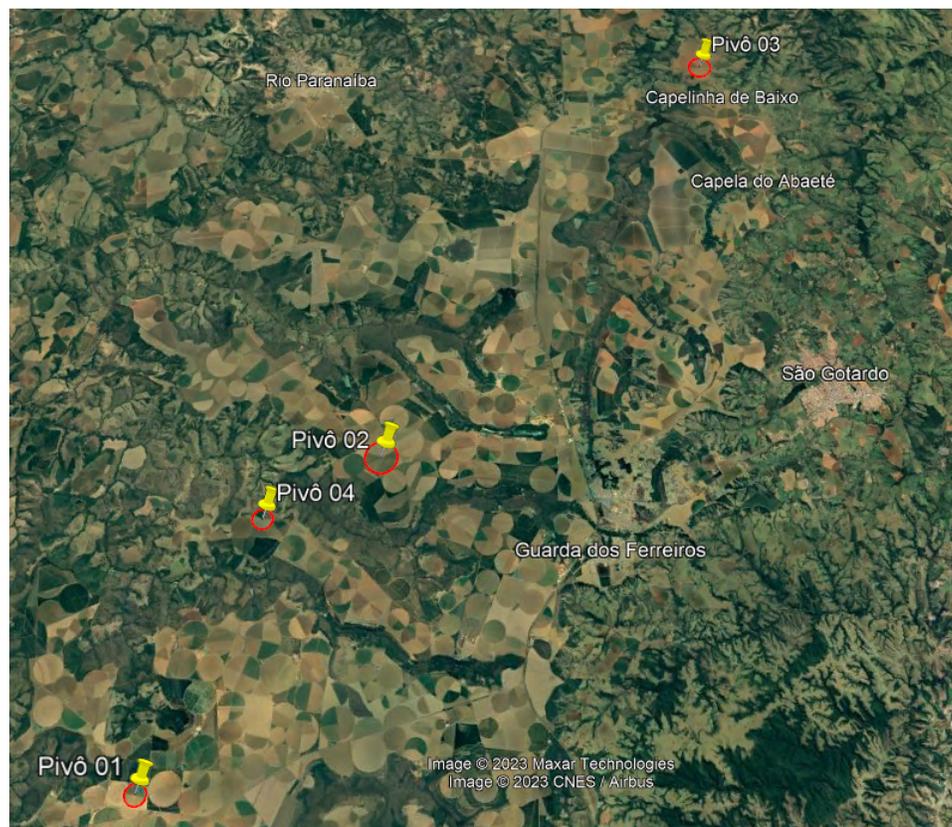
Fonte: do autor

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes foram realizados nos municípios de São Gotardo e Rio Paranaíba, na mesorregião do Alto Paranaíba - Minas Gerais. De acordo com a classificação climática de NIMER, o local é caracterizado como subquente (média entre 15 e 18°C em pelo menos 1 mês) semi-úmido (4 a 5 meses secos).

As avaliações foram realizadas em quatro equipamentos diferentes (Figura 3). Em todos os casos, o R55 não estava acompanhado de válvula reguladora de pressão e a linha lateral estava posicionada de forma ascendente, ou seja, em direção ao ponto mais alto da área. Cada um dos equipamentos foi descrito detalhadamente em subseção própria.

Figura 3 – Vista aérea englobando os quatro pivôs avaliados



Fonte: Google Earth

3.0.1 Pivô 01

O primeiro pivô foi avaliado no dia 25 de janeiro de 2023 e está localizado no município de Rio Paranaíba, na fazenda Lote 13 - Shimada Agronegócios, nas coordenadas 19°26'36.00"S 46°16'40.00"W, a 1185 metros de altitude. Trata-se de um equipamento da marca Valley, de seis torres, totalizando 328,3 metros até a última torre e balanço de 25,75 metros. O modelo do kit de aspersão é i-Wob® UP3® de placa defletora preta (9 ranhuras) e válvula reguladora de pressão de 10 PSI (0,7 kgf/cm²). A vazão do pivô é de 214,0 m³/h, e a pressão no final do balanço, medida em campo no momento da avaliação com manômetro analógico, foi de 1,4 kgf/cm². A velocidade do pivô a 100% é de 267,3 m/h, gastando 7,72 horas para completar uma volta e aplicando uma lâmina bruta de 4,01 mm a 100%. A área irrigada, desconsiderando o R55, é de 39,38 hectares (Figura 4).

O R55 instalado nesse pivô era de Bocal Azul N°90, disposto a dois metros de altura, sem válvula reguladora. O teste foi feito com o percentímetro do pivô regulado a 50% (lâmina de 8,02 mm), e a velocidade do vento aferida foi de 2,1 m/s, com direção Oeste (enquanto a linha lateral estava direcionada para Noroeste), de acordo com a estação meteorológica mais próxima, localizada a 873 m da área do pivô.

3.0.2 Pivô 02

O segundo pivô foi avaliado no dia 7 de fevereiro de 2023 e está localizado no município de Rio Paranaíba, na fazenda Lote 44, nas coordenadas 19°20'24.56"S 46°12'23.36"W, a 1152 metros de altitude. Trata-se de um equipamento da marca Carborundum, de onze torres, totalizando 563,8 metros até a última torre e balanço de 19,66 metros. O modelo do kit de aspersão é i-Wob® UP3® de placa defletora preta (9 ranhuras) e válvula reguladora de pressão de 10 PSI (0,7 kgf/cm²). A vazão do pivô é de 295,2 m³/h, e a pressão no final do balanço, medida em campo no momento da avaliação com manômetro analógico,

Figura 4 – Área irrigada pelo pivô 1



Fonte: Google Earth

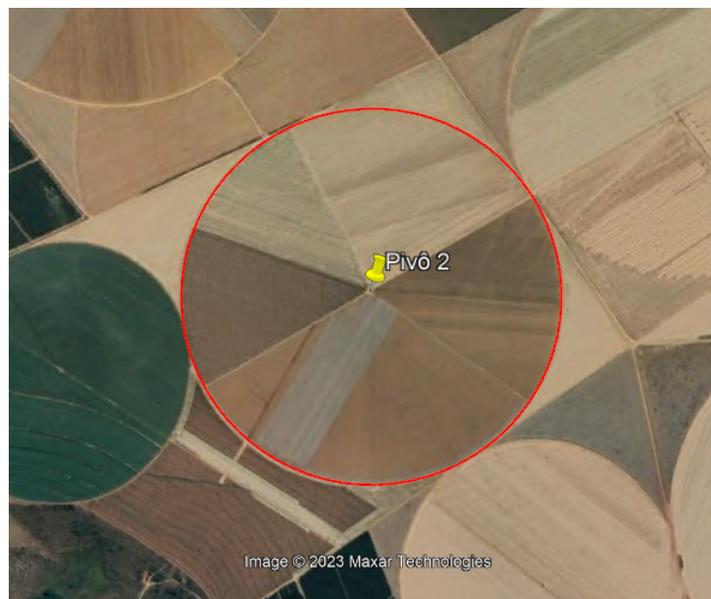
foi de 1,0 kgf/cm². A velocidade do pivô a 100% é de 223,03 m/h, gastando 15,88 horas para completar uma volta e aplicando uma lâmina bruta de 4,24 mm a 100%. A área irrigada, desconsiderando o R55, é de 106,94 hectares (Figura 5).

O R55 instalado nesse pivô era de Bocal Amarelo N°70, montado a 3,0 metros de altura, sem válvula reguladora. O teste foi feito com o percentímetro do pivô regulado a 70% (lâmina de 6,05 mm) e a velocidade do vento aferida foi de 1,0 m/s, com direção Sudoeste (enquanto a linha lateral apontava para o Noroeste), de acordo com a estação meteorológica mais próxima, localizada a 3470 m da área do pivô.

3.0.3 Pivô 03

O terceiro pivô foi avaliado no dia 14 de fevereiro de 2023, e está localizado no município de São Gotardo, na fazenda Ribeiro, nas coordenadas 19°11'31"S

Figura 5 – Área irrigada pelo pivô 2

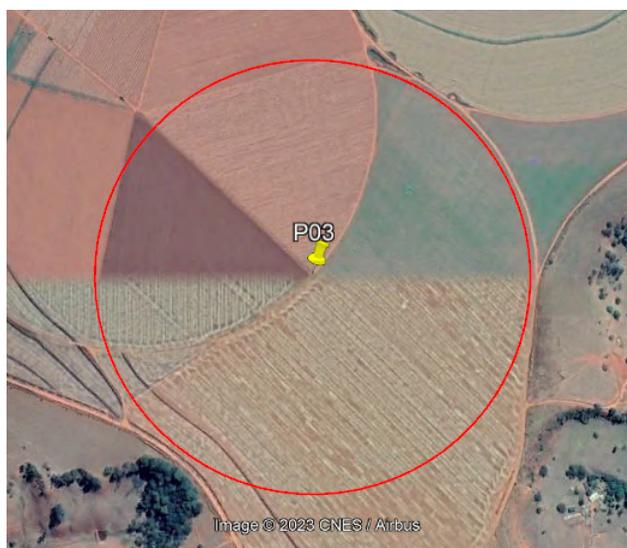


Fonte: Google Earth

46°5'30"W, a 1152 metros de altitude. Trata-se de um equipamento da marca Valley, de nove torres, totalizando 428,1 metros até a última torre e balanço de 4,02 metros. O modelo do kit de aspersão é i-Wob® UP3® de placa defletora preta (9 ranhuras) e válvula reguladora de pressão de 10 PSI (0,7 kgf/cm²). A vazão do pivô é de 201,5 m³/h, e a pressão no final do balanço, medida em campo no momento da avaliação com manômetro analógico, foi de 1,0 kgf/cm². A velocidade do pivô a 100% é de 255,0 m/h, gastando 10,55 horas para completar uma volta e aplicando uma lâmina bruta de 3,45 mm a 100%. A área irrigada, desconsiderando o R55, é de 58,66 hectares (Figura 6).

O R55 instalado nesse pivô era de Bocal Laranja N°65, disposto a 3,2 metros de altura, sem válvula reguladora. O teste foi feito com o percentímetro do pivô regulado a 80% (lâmina de 4,31 mm) e a velocidade do vento aferida foi de 0,8 m/s, com direção Sudoeste (enquanto a linha lateral estava direcionada para

Figura 6 – Área irrigada pelo pivô 3



Fonte: Google Earth

Oeste), de acordo com a estação mais próxima, localizada a 576 metros da área do pivô.

3.0.4 Pivô 04

O quarto pivô (Figura 7) foi avaliado no dia 24 de fevereiro de 2023, e está localizado no município de Rio Paranaíba, na fazenda Bateia (Lote 26), nas coordenadas 19°21'37.4"S 46°14'43.4"W, a 1119 metros de altitude. Trata-se de um equipamento da marca Valley, de nove torres, totalizando 328,3 metros até a última torre e balanço de 30,15 metros. O modelo do kit de aspersão é i-Wob® UP3® de placa defletora preta (9 ranhuras) e válvula reguladora de pressão de 10 PSI (0,7 kgf/cm²). A vazão do pivô é de 251,57 m³/h, e a pressão no final do balanço, medida em campo no momento da avaliação com manômetro analógico, foi de 2,0 kgf/cm².

Figura 7 – Área irrigada pelo pivô 4



Fonte: Google Earth

A velocidade do pivô a 100% é de 276,75 m/h, gastando 7,45 horas para completar uma volta e aplicando uma lâmina bruta de 4,40 mm a 100%. A área irrigada, desconsiderando o R55, é de 40,37 hectares.

O R55 instalado nesse pivô era de Bocal Azul N°90, disposto a 1,8 metros de altura, sem válvula reguladora. O teste foi feito com o percentímetro do pivô regulado a 50% (lâmina de 8,80 mm) e a velocidade do vento aferida foi de 5,3 m/s, com direção Sudeste (mesma direção da linha lateral), de acordo com a estação meteorológica mais próxima, localizada a 551 m do centro do pivô.

3.1 Ensaio de precipitação

Na coleta da lâmina precipitada, utilizaram-se coletores Fabrimar® de 80 mm de diâmetro (50,26 cm² de área). Foram instaladas duas linhas de coletores,

espaçados de 2 em 2 metros, ao longo de 20 metros, partindo do raio do balanço, conforme ilustram as Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Disposição dos coletores



Fonte: do autor

O volume de água obtido em cada coletor foi aferido com uma proveta, imediatamente após o término de aplicação em cada ponto, a fim de evitar perdas por evaporação. Para aferir a uniformidade da aplicação de água, utilizou-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) modificado por Heermann e Hein, e a interpretação dos resultados foi feita de acordo com a metodologia proposta por Montovani (2001) (Tabela 3).

Para a medição da velocidade do vento, foram utilizadas estações meteorológicas IPHP2000, com precisão de ± 1 m/s para condições de vento < 5 m/s e $\pm 10\%$ para condições de vento > 5 m/s.

Figura 9 – Disposição dos coletores em campo



Fonte: do autor

3.1.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen Modificado (CUC)

A uniformidade de distribuição de água do emissor R55VT[®] foi analisada segundo o coeficiente de uniformidade proposto por Christiansen (1942) e modificado por Heermann e Hein (1968) (Equação 3.1).

Tabela 3 – Classificação dos resultados dos testes CUC

| Classificação | CUC (%) |
|----------------------|----------------|
| Excelente | >90 |
| Bom | 80–90 |
| Razoável | 70–80 |

Fonte: Adaptado de Mantovani (2001)

Figura 10 – Estação Meteorológica IPHP2000



Fonte: do autor

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}_w| S_i}{\sum_{i=1}^n X_i S_i} \right) 100 \quad (3.1)$$

Em que:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen Modificado, %;

X_i = lâmina coletada no i -ésimo coletor, mm;

\bar{X} = lâmina média de todos os coletores, mm;

S_i = distância do i -ésimo coletor a partir do centro do pivô;

n = número de coletores utilizados;

X_w = lâmina média ponderada, mm, calculado como:

$$\bar{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (3.2)$$

Para o cálculo do CUC, considerou-se um alcance efetivo de 80% do alcance máximo observado em campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados coletados

Os dados obtidos foram dispostos objetivamente em duas tabelas.

A Tabela 4 contém o volume coletado em cada um dos copos coletores.

Tabela 4 – Volume coletado em cada coletor (ml)

| | Coletor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|
| Pivô 1 | Linha 1 | 45 | 59 | 67 | 57 | 31 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Linha 2 | 46 | 55 | 70 | 55 | 32 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pivô 2 | Linha 1 | 23 | 25 | 25 | 16 | 18 | 23 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| | Linha 2 | 24 | 25 | 19 | 18 | 22 | 27 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| Pivô 3 | Linha 1 | 19 | 20 | 19 | 22 | 21 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Linha 2 | 14 | 22 | 20 | 26 | 22 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pivô 4 | Linha 1 | 32 | 41 | 86 | 52 | 55 | 60 | 51 | 17 | 2 | 0 |
| | Linha 2 | 30 | 39 | 78 | 47 | 58 | 65 | 48 | 15 | 6 | 0 |

Fonte: do autor

A Tabela 5 especifica os principais resultados obtidos (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, lâmina média aplicada — média ponderada, vide equação 3.2 — e alcance do R55VT), que serão analisados e discutidos nessa seção.

Tabela 5 – Resultados obtidos

| | CUC (%) | Lâmina média aplicada (mm) | Alcance do jato (m) | Pressão de serviço (kgf/cm²) | Cor do bocal |
|--------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|--|---------------------|
| Pivô 1 | 79,49 | 10,29 | 10 | 1,4 | Azul |
| Pivô 2 | 86,84 | 4,39 | 12 | 1,0 | Amarelo |
| Pivô 3 | 89,78 | 4,08 | 10 | 1,0 | Laranja |
| Pivô 4 | 77,50 | 10,54 | 16 | 2,0 | Azul |

Fonte: do autor

4.2 Uniformidade de aplicação de água

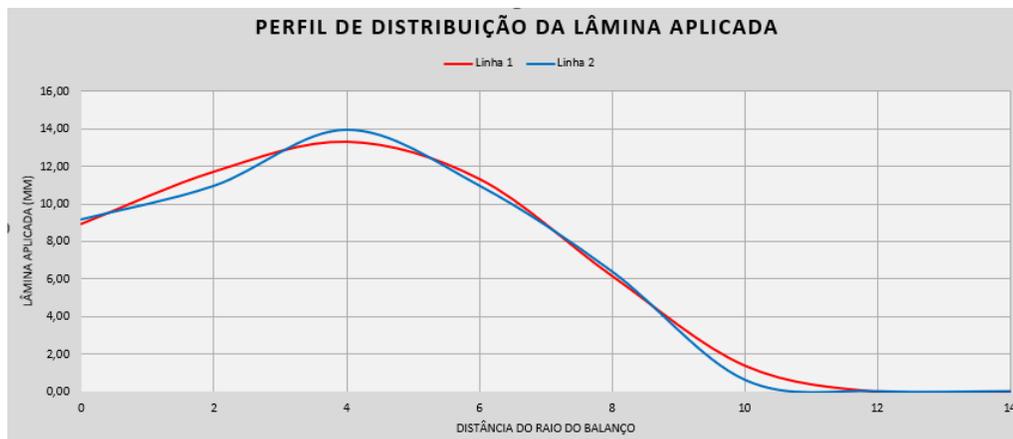
No Pivô 1, obteve-se um resultado razoável no teste CUC: 79,49%. Em comparação com os Pivôs 1 e 2, esse valor está relativamente baixo. A oscilação do vento durante o teste, a altura de instalação baixa (apenas 2 metros) e a presença de uma impureza presa na placa defletora do emissor (Figura 11) são fatores que podem ter afetado o desempenho deste R55. O perfil de distribuição da lâmina aplicada foi representado pelo Gráfico 12.

Figura 11 – Detalhe da impureza presa à placa defletora



Fonte: do autor

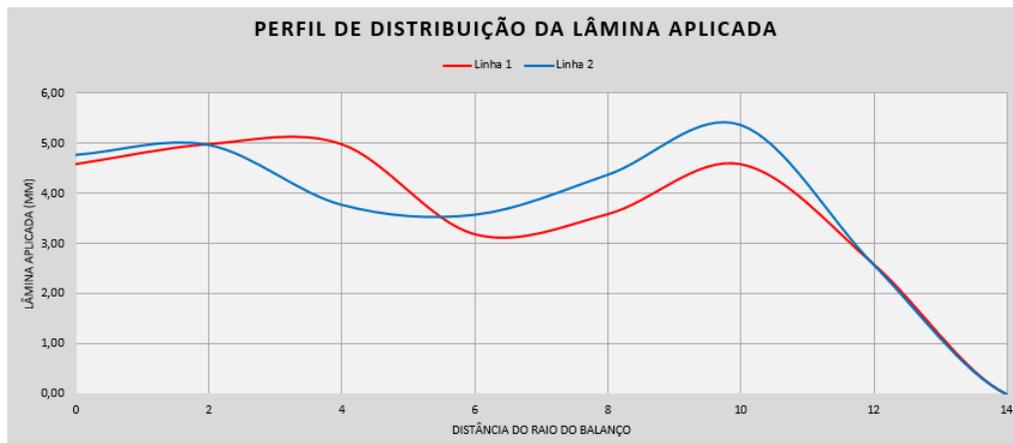
Figura 12 – Perfil de distribuição de água do Pivô 1



Fonte: do autor

No Pivô 2, observou-se boa uniformidade: 86,84% no teste CUC. Nesse caso, a velocidade do vento era baixa (1,0 m/s) e a altura de instalação do R55VT era de 3 metros. O perfil de distribuição da lâmina pode ser observado no Gráfico 13.

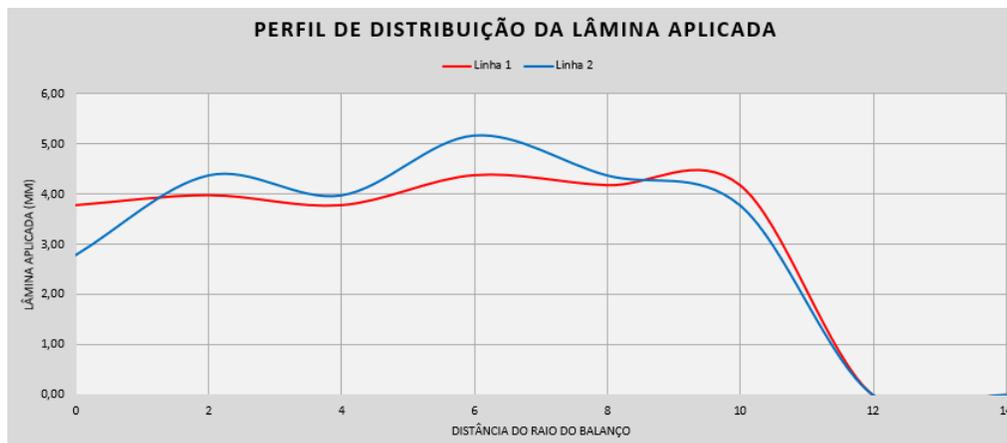
Figura 13 – Perfil de distribuição de água do Pivô 2



Fonte: do autor

O Pivô 3 apresentou o melhor resultado em termos de uniformidade de aplicação: 89,78%. A altura de instalação do R55 era de 3,2 metros, e a velocidade do vento foi a menor dentre os testes, não superando 0,8 m/s.

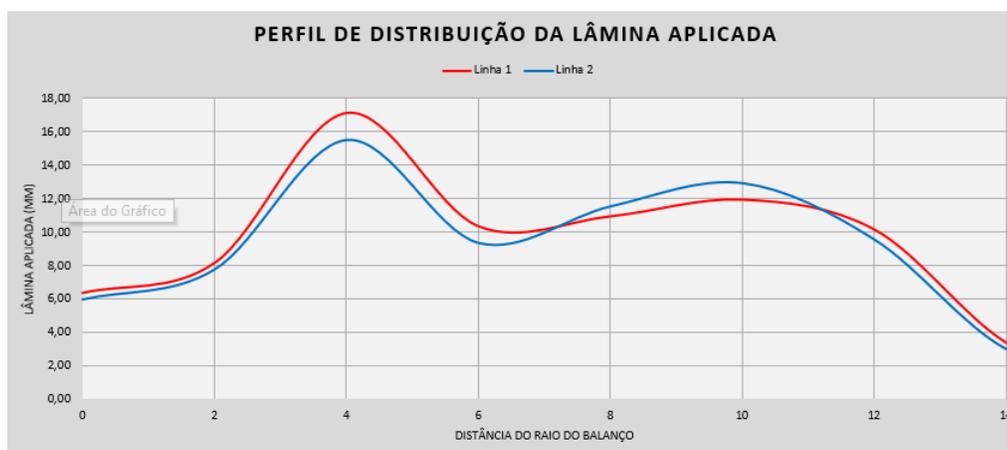
Figura 14 – Perfil de distribuição de água do Pivô 3



Fonte: do autor

Por fim, o Pivô 4 apresentou o pior resultado no teste CUC: apenas 77,50%. Chama a atenção o fato de que nesse pivô a velocidade máxima do vento registrada foi de 5,3 m/s, e a altura de instalação estava bem abaixo da recomendada (1,8 em relação à recomendação de 2,7 metros), o que pode indicar forte influência não apenas do vento, mas também da altura de instalação do emissor. Ainda, é válido ressaltar que a distribuição de água nos primeiros 4 metros foi bastante irregular, provavelmente devido ao vento forte que soprava a favor do jato.

Figura 15 – Perfil de distribuição de água do Pivô 4



Fonte: do autor

4.3 Alcance

Quanto ao alcance do jato, o raio de aplicação esperado (apresentado pelo catálogo do produto) foi atingido apenas no Pivô 4, conforme indica a Tabela 6. Nessa ocasião, trabalhando a 2 kgf/cm², o jato chegou a 16 metros de distância, sendo 15,1 o raio indicado pelo catálogo. No entanto, durante o teste, o vento soprava a favor do jato e com velocidade de 5,3 m/s. Além disso, o volume coletado após os 14 metros foi extremamente baixo em relação aos anteriores (Tabela 4).

Percebe-se também que o alcance do R55 do Pivô 2 ficou próximo ao esperado, o que pode ser justificado pela sua altura de instalação, que é maior que os demais.

Tabela 6 – Alcance efetivo, total e esperado de cada teste.

| | Altura de instalação (m) | Pressão de serviço (kgf/cm²) | Velocidade do vento (m/s) | Alcance total (m) | Alcance esperado (m) |
|------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Pivô 1 (Azul) | 2 | 1,4 | 2,1 | 10 | 13,7 |
| Pivô 2 (Amarelo) | 3,2 | 1,0 | 1,0 | 12 | 12,2 |
| Pivô 3 (Laranja) | 3 | 1,0 | 0,8 | 10 | 12,2 |
| Pivô 4 (Azul) | 1,8 | 2,0 | 5,3 | 16 | 15,1 |

Fonte: do autor

4.4 Lâmina aplicada

No que diz respeito à lâmina aplicada, os resultados se mostraram adequados, quando comparados à lâmina aplicada no raio base do pivô, com exceção do Pivô 2.

Tabela 7 – Lâmina aplicada pelo R55 e lâmina média do pivô

| | Cor do bocal | Lâmina média do R55VT (mm) | Lâmina média do Pivô (mm) | Diferença em relação à lâmina do pivô (%) |
|--------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|
| Pivô 1 | Azul | 10,29 | 8,02 | 28,3% |
| Pivô 2 | Amarelo | 4,39 | 6,05 | -27,4% |
| Pivô 3 | Laranja | 4,08 | 4,31 | -5,3% |
| Pivô 4 | Azul | 10,54 | 8,80 | 19,8% |

Fonte: do autor

No primeiro e no quarto pivô, a lâmina média aplicada pelos R55 foram, respectivamente, 28,3% e 19,8% superiores à aplicada ao longo do equipamento, o que é desejável, uma vez que a eficiência de aplicação pelo emissor de final de pivô é menor. Além disso, a aplicação de uma lâmina um pouco mais elevada nas bordaduras da área é uma prática comum, tendo em vista o fenômeno da advecção, que acarreta num ligeiro aumento da evapotranspiração nas bordas do pivô (Oliveira, 2000).

Comparando os resultados dos R55 do primeiro e do quarto pivô, observa-se que a lâmina aplicada por ambos é similar, apesar de o Pivô 4 ter aplicado em um raio 6 metros maior do que o Pivô 1. Isso demonstra o quanto a pressão de serviço influencia na vazão do emissor, o que reforça a importância da instalação de válvulas reguladoras de pressão em áreas de declive.

O segundo pivô representa um caso em que seria recomendado a substituição do bocal do R55 por um de maior diâmetro, uma vez que a lâmina aplicada por ele está 27,4% inferior à observada ao longo do pivô. Porém, é importante ressaltar que essa substituição irá aumentar a vazão do pivô, e, conseqüentemente, reduzir a pressão no final da tubulação, que já se encontra no limite inferior da pressão de serviço do R55VT. Nesse caso, antes de trocar o bocal, é preciso que sejam tomadas providências para adequar a pressão do pivô.

Já no Pivô 3, a lâmina aplicada pelo R55 está bem próxima à observada ao longo do equipamento.

É válido comentar que, devido à ausência de válvula reguladora de pressão, a lâmina aplicada pode variar significativamente conforme o posicionamento da linha lateral. Por exemplo, no Pivô 4 o desnível da linha lateral entre o ponto mais alto (onde foi realizado o teste) e o ponto mais baixo é de 57 metros. Ou seja, a lâmina aplicada pelo R55 no ponto mais baixo será muito superior à observada no ponto mais alto, graças ao incremento de cerca de $5,7 \text{ kgf/cm}^2$ (que representa 57 metros de coluna de água) de pressão. Essa situação também irá ocorrer nos demais pivôs, porém em menor escala, visto que nos Pivô 1, 2 e 3 essa diferença de desnível é de 9, 3 e 13 metros, respectivamente.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos referentes ao raio de alcance do emissor em campo não se mostraram compatíveis, em sua maioria, com os dados de catálogo. Em três dos quatro testes realizados, a lâmina aplicada pelo R55VT[®] foi equivalente ou superior à lâmina média aplicada ao longo do pivô. Os emissores instalados a 3 e 3,2 metros de altura apresentaram melhor uniformidade na aplicação de água. A velocidade e a direção do vento têm forte influência na uniformidade de aplicação de água do R55VT[®]. Verificou-se que a maioria dos R55VT instalados nos municípios de São Gotardo e Rio Paranaíba não são montados de acordo com as recomendações de catálogo.

6 REFERÊNCIAS

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2. ed. – Brasília: ANA, 2021. 130 p.: il.

AZEVEDO, H.J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. Rev bras eng agríc ambient [Internet]. 2000;4(Rev. bras. eng. agríc. ambient., 2000 4(2)):152–8. 130 p.: il.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 11545: Equipamentos de irrigação agrícola — Máquinas de irrigação pivô central e linear móvel, equipadas com sprayers ou aspersores — Determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro. 2002.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

NIMER, EDMON. Climatologia do Brasil I Edmon Nimer. - 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, Departamento de Recuraoe Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p. : ii

de OLIVEIRA, G. M.; de LEITÃO, M. M. V. B. R.; (2000). Estimativas de evapotranspiração e as conseqüências devido aos erros na determinação de saldo de radiação e efeitos advectivos. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental, 4 (Rev. bras. eng. agríc. ambient., 2000 4(3)), 343–347.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017. 86 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Handbook on pressurized irrigation techniques. 2nd ed. Rome: 2007.

MARTIN, D.; KRANZ, W.; SMITH, T.; IRMAK, S.; BURR, C.; YODER, R. Center pivot irrigation handbook. Lincoln: University of Nebraska-Lincoln, 2017.

BISCARO, G. A. Sistemas de irrigação por aspersão. Dourados: Editora UFGD, 2009.

TESTEZLAF, R. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017.

SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A. Dimensionamento da lateral de irrigação do pivô-central. Planaltina: Embrapa – CPAC, 1998. 54 p. (Documentos, 71).