



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

ITALO WIGLIFF LEITE PACHICO

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA
DE BAIXO CUSTO RECOMENDADO A PEQUENOS
AGRICULTORES DA REGIÃO SEMIÁRIDA**

MOSSORÓ - RN

2014

ITALO WIGLIFF LEITE PACHICO

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA
DE BAIXO CUSTO RECOMENDADO A PEQUENOS
AGRICULTORES DA REGIÃO SEMIÁRIDA**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Irrigação e Drenagem.

Orientador: D. Sc. Sérgio Luiz Aguilar Levien

MOSSORÓ - RN

2014

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

P116a	Pachico, Italo Wigliff Leite. Avaliação de sistemas de irrigação localizada de baixo custo recomendado a pequenos agricultores da região semiárida. / Italo Wigliff Leite Pachico. -- Mossoró, 2014 67f.: il. Orientador: Prof. D. Sc. Sérgio Luiz Aguiar Levien. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação. 1. Agricultura irrigada. 2. Tecnologias alternativas. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Segurança alimentar. I. Título.
RN/UFERSA/BCOT	CDD: 631.587

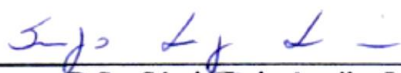
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB-15/120

ITALO WIGLIFF LEITE PACHICO

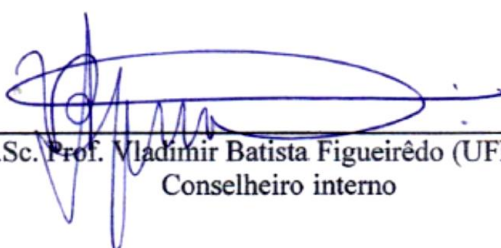
**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA
DE BAIXO CUSTO RECOMENDADO A PEQUENOS
AGRICULTORES DA REGIÃO SEMIÁRIDA**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Irrigação e Drenagem.

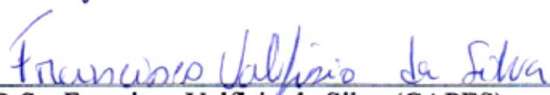
APROVADA EM: 28 / 02 / 2014



D.Sc. Sérgio Luiz Aguilar Levien
Orientador



D.Sc. Prof. Vladimir Batista Figueirêdo (UFERSA)
Conselheiro interno



D.Sc. Francisco Valfisio da Silva (CAPES)
Conselheiro externo

DEDICO

À minha avó Maria de Lourdes de Sales Pachico e à minha mãe Jorselene Leite de Sales Pachico, pelo exemplo de vida que são, por todas as batalhas enfrentadas e conquistadas;

À minha esposa Cleidiane Cristine da Silva Rodrigues e ao meu filho Italo Wigliff Leite Pachico Júnior por todo amor, carinho, compreensão e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar nas horas difíceis, por me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades, me dar força para não desistir, coragem para acreditar, conceder sabedoria nas escolhas dos melhores caminhos...

Aos meus pais Jorge Yvan de Sales Pachico e Jorselene Leite de Sales Pachico, pela maior oportunidade que já existiu... Meu muito obrigado!

A minha irmã Glauquia Meyrelle, pelo incentivo direto e indireto, pelos momentos de ajuda. Muito agradecido...

A minha esposa Cleidiane Cristine que me ajudou inteiramente na conclusão deste trabalho. Obrigado pelo companheirismo, pela cumplicidade, por dividir comigo angustias e alegrias, pelo apoio e paciência nos momentos de cansaço e inquietação, por me mostrar que sempre há esperança, acreditar que tudo daria certo no final. Por ouvir todas as minhas reclamações, por amenizar o estresse diário, por nunca medir esforços para me ajudar. Você foi simplesmente essencial para a realização de mais esta etapa da minha vida, meus sinceros agradecimentos.

Ao meu filho Wigliff Jr. Pelos momentos mais que felizes, pelo seu sorriso, por ser a minha inspiração. Tudo que faço é por você.

A Universidade Rural Federal do Semi-Árido, ao departamento de ciências ambientais e ao programa de pós-graduação em irrigação e drenagem pela oportunidade de realização deste trabalho e pela formação profissional. Por me deixar mostrar a minha capacidade, o valor do meu esforço e reafirmar que mesmo com pedras, estou no caminho certo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador Sérgio Luiz Aguilar Levien, pelos ensinamentos e orientações concedidas. Por me fazer observar o que eu preciso ser.

Ao Prof. José Francismar de Medeiros, pela ajuda que contribuiu para o meu crescimento profissional.

Ao Prof. Vladimir Batista Figueiredo, pela paciência e ensinamentos que contribuíram para o meu crescimento seja como ser humano ou como profissional.

Ao prof. Sérgio Weine Paulino Chaves pela parceria, incentivo e colaboração indispensáveis na execução do trabalho.

Ao Prof. Rafael Batista pela maior e melhor orientação que pude sintetizar durante a realização desse trabalho. Sem ela não seria possível continuar.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem.

Aos meus colegas de turma: Adriana Alves, Aline Alves, Daniel Galvão, Ian, Nayara Izídio, Joacyr Fonseca, João Guilherme, João Marcelo, Marcos Souza, Paula Viana, Saulo Samuel, Priscila Maia e Rozana Lima, pelos momentos de troca de conhecimentos, pelos incentivos, pelo companheirismo que foi fundamental para seguir nessa caminhada.

Aos companheiros de trabalho da EMATER de Caraúbas, Edimar, Seu Jaime, Adriana, Carlinhos e Fagner, pelo conhecimento, pela ajuda direta e indireta quando mais precisei. Muito agradecido por tudo.

Aos amigos Henrique Jr., Ilderlândio (Xotô), Dirceu, Francinildo e Fernandinho pela dedicação, apoio e esforço para tornarem possíveis as atividades de campo. Sem os mesmos meu caminho seria bem mais difícil.

À equipe da Atos por conceder espaço tanto para a conclusão da minha pesquisa como por apoiar a implantação da mesma para os agricultores familiares do Semiárido Potiguar.

Ninguém sabe de tudo, apesar de ter quem acredite nisso. Ninguém vence sozinho, precisamos sempre de ajuda. É preciso oportunidade! E o mais importante: cada coisa ao seu tempo. Obrigado a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

PACHICO, Italo Wigliff Leite. **Avaliação de sistemas de irrigação localizada de baixo custo recomendado a pequenos agricultores da região semiárida**. 2014. 67p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró, RN, 2014.

Com o crescimento da irrigação, surge a necessidade de sistemas mais eficientes quanto ao uso de água. Sistemas de irrigação de baixo custo possibilitam uma maior eficiência proporcionando produções a preços relativamente menores. Com esse pensamento, objetivou-se com este trabalho avaliar sistemas de irrigação localizada de baixo custo que atendam especificações teóricas e, acima de tudo, que sejam acessíveis a agricultores familiares. Este trabalho foi realizado em dois momentos, sendo o primeiro no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas e o segundo na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, ambos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), gerando informações de uso de sistemas de irrigação submetidos a pressões de 10, 20 e 30 kPa. Inicialmente foram avaliados os emissores em uma bancada de testes, onde se determinou o coeficiente de variação de fabricação (CVf), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e a vazão média (q_{med}) dos mesmos, nas condições de pressão determinadas. Com as informações geradas determinaram-se os comprimentos máximos permitidos da linha lateral, em função da variação de pressão (Δq). Os resultados proporcionaram a formulação de um kit alternativo (seis linhas laterais de 16 mm de diâmetro, cada uma espaçada de 1 m entre si, com 15 m de comprimento, perfuradas manualmente, onde inseriu-se, a cada 0,3 m, um gotejador tipo GA-4). Juntamente com um kit comercial da John Deere Water (antiga Plastro), ambos foram submetidos e avaliados em condições de campo através do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), das características do solo e os materiais utilizados. Os kits demonstraram a viabilidade de uso adequado quando em baixa pressão (10, 20 e 30 kPa).

Palavras-chave: Agricultura irrigada, tecnologias alternativas, desenvolvimento sustentável, segurança alimentar

ABSTRACT

PACHICO, Italo Wigliff Leite. **Evaluation of low cost localized irrigation systems recommended to small farmers of the semiarid region.** 2014. 67p. Dissertation (Master degree in Irrigation and Drainage), Federal Rural University of the Semiarid (UFERSA), Mossoró, RN, Brazil, 2014.

With the growth of irrigation, the need arises for more efficient systems for the use of water. Low cost irrigation systems enable greater efficiency providing productions at relatively lower prices. With that thought, the aim with this work was to evaluate low cost localized irrigation systems that meet theoretical specifications and, above all, to be accessible to farmers. This work was accomplished in two moments, the first being in the Hydraulics Laboratory of the Department of Environmental Sciences and Technological and the second in the Experimental Farm Rafael Fernandes, both of the Federal Rural University of the Semiarid (UFERSA), in Mossoró, RN, Brazil, generating usage information of irrigation systems submitted to pressures of 10, 20 and 30 kPa. Initially we evaluated the emitters on a test bench, where it was determined the coefficient of manufacturing variation (CVf), the distribution uniformity coefficient (CUD) and the average flow (q_{med}) of the same, in certain pressure conditions. With the information generated were determined maximum allowable lengths of the lateral line, in function on the pressure variation (Δq). The results was provided to formulate an alternative kit (six lateral lines of 16 mm diameter, spaced 1 m between themselves, with 15 m length, perforated manually, where was inserted at every 0.3 m, a dripper type GA-4). Along with a commercial kit of the John Deere Water (formerly Plastro), both were submitted and evaluated under field conditions through the distribution uniformity coefficient (CUD), of soil characteristics and the materials used. The kits demonstrated the viability of usage adequate when in low pressure (10, 20 and 30 kPa).

Keywords: Irrigated agriculture, alternative technologies, sustainable development, food security.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) de emissores para gotejamento, de acordo com Solomon (1979).....	27
Tabela 2	Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) de emissores para gotejamento, de acordo com ABNT (1986).....	28
Tabela 3	Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) de emissores para gotejamento, de acordo com ASAE (2003).....	28
Tabela 4	Relação vazão-pressão do gotejador GA-4 da Agrojet.....	32
Tabela 5	Tempo de coleta, em minutos, em função do emissor e da pressão avaliada em laboratório.....	35
Tabela 6	Tempo de coleta em função do emissor e da pressão avaliada em laboratório para o emissor GA-4.....	36
Tabela 7	Tempo de coleta em função do emissor e da pressão avaliada em campo.....	40
Tabela 8	Valores de CUD, CVf e q_{med} dos emissores em função da pressão de serviço.....	43
Tabela 9	Classificação dos coeficientes de variação de fabricação do emissor GA-4.....	44
Tabela 10	Classificação dos coeficientes de variação de fabricação do emissor Microjet.....	44
Tabela 11	Vazões obtidas no teste de linha lateral, sob diferentes pressões.....	48
Tabela 12	Comparação entre as vazões médias obtidas na mesa de teste, da lateral e ajustadas, sob pressões avaliadas.....	49
Tabela 13	Vazões mínimas ($q_{mín}$) obtidas com a variação de vazão (Δq) sob diferentes pressões.....	49
Tabela 14	Tolerância de pressão (Δh) em função da variação de vazão (Δq), na pressão máxima permitida ($q_{máx}$) de 10 kPa.....	50

Tabela 15	Tolerância de pressão (Δh) em função da variação de vazão (Δq), na pressão máxima permitida ($q_{m\acute{a}x}$) de 20 kPa.....	51
Tabela 16	Tolerância de pressão (Δh) em função da variação de vazão (Δq), na pressão máxima permitida ($q_{m\acute{a}x}$) de 30 kPa.....	51
Tabela 17	Leitura de pressões na lateral de teste sob pressão de 10, 20 e 30 kPa, em laboratório.....	52
Tabela 18	Variação de pressão permitida por lateral sob pressão de 10, 20 e 30 kPa.....	53
Tabela 19	Coeficientes de uniformidade de distribuição do kit da John Deere Water (Plastro).....	56
Tabela 20	Coeficientes de uniformidade de distribuição do kit alternativo.....	57
Tabela 21	Valores de pressão e vazão dos primeiros emissores de cada linha lateral.....	58
Tabela 22	Valores de x obtidos no sistema comercial.....	58
Tabela 23	Valores de x obtidos no sistema alternativo.....	58
Tabela 24	Dimensões do bulbo molhado do sistema comercial observadas no campo.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Irrigação suplementar em sistemas de baixo custo.....	22
Figura 2	Área do experimento de campo: A1) área do GA-4; A2) área do hydrogol.....	30
Figura 3	Emissores de baixo custo: a) GA-4, b) Gotejador regulável, c) Gotejador azul regulável e d) microjet.....	31
Figura 4	Coeficientes do aspersor Microjet, a) pressão de serviço, vazão e espaçamento e b) curva vazão x pressão do microjet.....	32
Figura 5	Bancada de teste: a) detalhe das mangueiras e recipientes b) reservatório e cabeçal de controle da bancada.....	33
Figura 6	Bomba de porão de barco.....	34
Figura 7	Kit John Deere Water instalado em campo.....	37
Figura 8	Kit da John Deere Water (Plastro): a) planta baixa do kit 500 m², b) detalhe do emissor hydrogol.....	38
Figura 9	Kit alternativo: a) instalado em campo e b) detalhe do emissor GA-4.....	39
Figura 10	Sistema de bombeamento da Fazenda Experimental Rafael Fernandes: a) detalhe da motobomba e b) reservatório e conjunto de registros reguladores de vazão-pressão.....	39
Figura 11	Coleta dos volumes aplicados: a) kit comercial; b) kit alternativo.....	40
Figura 12	Defeitos de fabricação dos emissores: a) detalhe da entrada de água do emissor, b) apresentação de fissuras no corpo do emissor e c) acabamento do processo de fabricação.....	42
Figura 13	Espaçamentos adotados por emissor: a) microjet e b) GA-4.....	45
Figura 14	Curva característica vazão-pressão do emissor: a) GA-4 e b) microjet.	47
Figura 15	Kit “KIF NET” da NETAFIM.....	54
Figura 16	Kit de nutrição familiar da PLASTIFORTE SRL.....	54

Figura 17	Bulbo molhado do kit comercial: a) 10 kPa, b) 20 kPa e c) 30 kPa.....	59
Figura 18	Bulbo molhado do kit alternativo.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	IRRIGAÇÃO NO BRASIL.....	18
2.2	IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.....	19
2.3	IRRIGAÇÃO LOCALIZADA DE BAIXO CUSTO.....	20
2.4	EMISSORES.....	23
2.5	HIDRÁULICA DO SISTEMA.....	24
2.5.1	Uniformidade do sistema.....	24
2.5.2	Coeficiente de variação de fabricação dos emissores.....	26
2.5.3	Equação característica da relação vazão-pressão do emissor.....	29
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1	CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	30
3.2	TESTES EM LABORATÓRIO.....	31
3.2.1	Escolha dos emissores.....	31
3.2.2	Avaliação dos emissores.....	33
3.2.3	Comportamento hidráulico da linha lateral.....	35
3.3	TESTE DE CAMPO.....	36
3.3.1	Descrição e avaliação dos kits de irrigação.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1	SELEÇÃO DOS EMISSORES.....	42
4.2	UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE FABRICAÇÃO DOS EMISSORES À BAIXA PRESSÃO.....	43
4.3	CURVA CARACTERÍSTICA VAZÃO-PRESSÃO.....	46
4.4	VAZÃO MÉDIA DA LATERAL DISPOSTA EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO.....	47
4.5	VARIAÇÃO DE VAZÃO PERMITIDA.....	49
4.6	VARIAÇÃO DE PRESSÃO PERMITIDA.....	50
4.7	DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO IDEAL DA LINHA LATERAL....	51

4.8	UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO KIT COMERCIAL.....	56
4.9	UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO KIT ALTERNATIVO.....	56
4.10	COMPORTAMENTO DO EXPOENTE x NOS KITS INSTALADOS EM CAMPO.....	58
4.11	FORMAÇÃO DE BULBO MOLHADO.....	59
4.12	CONSIDERAÇÕES.....	61
5	CONCLUSÕES.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

O uso da irrigação no Brasil está a cada dia crescendo, de acordo com o Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009), na última década houve um aumento de 39% nos estabelecimentos que declararam utilizar a irrigação, e de 42% na área total irrigada no Brasil. A área irrigada compreende 4,45 milhões de hectares, sendo utilizados 7,3% com métodos de irrigação localizada. Este crescimento é significativo à medida que se considere o manejo adequado do uso da água de irrigação, pois a sua utilização de forma equivocada pode proporcionar danos tanto de ordem ambiental, quanto de ordem financeira.

A participação da agricultura no desenvolvimento do país é concreta, necessitando para isso da aplicação de tecnologias que permitam ao meio agrícola obter resultados mais eficientes. Dessa forma, a irrigação possibilitou um avanço produtivo, seja em regiões que mantêm um período chuvoso definido e regular, ou mesmo, e principalmente, em regiões que a dependência das precipitações pluviométricas é determinante ao se almejar uma determinada produção.

Contudo, tal crescimento pode ter como consequências a desigualdade e, de certa forma, a exclusão de setores agrícolas menos favorecidos. Setores esses que necessitam de atenção especial, ou seja, tecnologias que também sejam eficientes e acima de tudo acessíveis a agricultores que tem como principal objetivo a sua subsistência.

A aplicabilidade da tecnologia nessas condições pode ser considerada como um potencial para o desenvolvimento de comunidades rurais; no entanto, trata-se de um processo difícil (desenvolvimento e aplicação da tecnologia) devido à cultura do agricultor.

Pode-se observar que para uma produtividade desejada, o fator água é fundamental e imprescindível. A água atua nos processos fisiológicos das plantas resultando em aumentos de produção, ou mesmo na garantia dessa. Assim, a utilização de sistemas de irrigação deve conferir quantidade de água adequada ao desenvolvimento das plantas, de modo que suas produções não tenham apenas o caráter econômico, mas, também seja fonte de alimento e qualidade de vida.

Desta forma, para dimensionar e disponibilizar sistemas que sejam tecnicamente adequados e acessíveis a agricultores com recursos limitados, ou mesmo na sustentabilidade de áreas irrigadas propõem-se a trabalhar sistemas de irrigação localizada de baixo custo. Sistemas esses que proporcionariam o sustento de uma família ou conjunto de famílias, principalmente em regiões afetadas por escassez de recursos financeiros, naturais e sociais,

entre outros, tendo como base fundamental a sustentabilidade e promoção do desenvolvimento local, oferecendo a oportunidade de aumentar sua renda e segurança alimentar ampla, estimulando a economia e a redução da pobreza.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar sistemas de irrigação de baixo custo, seguindo as recomendações técnicas científicas adequadas, disponibilizando informações para o dimensionamento e implantação dos mesmos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IRRIGAÇÃO NO BRASIL

O Brasil apresenta uma situação confortável, em termos globais, quanto aos recursos hídricos. A disponibilidade per capita, determinada a partir de valores totalizados para o país, indica uma situação satisfatória, quando comparada aos valores dos demais países, segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), estes valores superam $10.000 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ per capita (ANA, 2011; PORTO; SILVA; BRITO, 2011).

Entretanto, apesar desse aparente conforto, existe uma distribuição espacial desigual dos recursos hídricos no território brasileiro. Cerca de 80% dos recursos hídricos brasileiros estão concentrados na região hidrográfica amazônica (ANA, 2011).

A irregularidade na distribuição sequencial das chuvas tem sido um dos fatores limitantes ao desenvolvimento e à estabilização na produção agrícola no semiárido brasileiro. Além da má distribuição sequencial, o período chuvoso é curto com intervalo entre chuvas, longo, e estas de alta intensidade, o que não só provoca erosão como, também, concorre para que grandes volumes de água não fiquem armazenados no perfil do solo e sejam perdidos, tornando a exploração agrícola uma atividade de risco (PORTO; SILVA; BRITO, 2011).

Grande volume da água de irrigação é perdido em captação, armazenamento, distribuição e aplicação, provocando um grande desperdício no uso da água na agricultura (MIN, 2007). Segundo estudos realizados, se a irrigação fosse utilizada de forma racional, aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumidas seriam economizadas; sendo 20% da energia economizada devido à aplicação desnecessária da água e 10% devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados para a irrigação (CEMIG, 1993).

A agricultura, e, em especial, a agricultura irrigada, está passando por mudanças rápidas e de frente para antigos e novos desafios. Agricultores terão que se adaptar a um mundo onde o comércio e a globalização têm aumentado rapidamente a interligação e interdependência entre produção e consumo das pessoas, e onde o progresso tecnológico tem impulsionado a produtividade agrícola (FAO, 2012).

A revolução verde e avanços posteriores em Agronomia têm ajudado a produção agrícola ultrapassar o crescimento da população e alimentar um número cada vez maior de

peças com alimentos cada vez mais diversificados, de qualidade crescente. Mas também veio com um grande custo ambiental (FAO, 2012).

Os principais métodos de irrigação utilizados no Brasil são: superfície (inundação e sulcos), aspersão (convencional, canhão, carretel e pivô central) e localizada (gotejamento, microaspersão). O método considerado ideal é aquele que melhor se adequar a condições locais de topografia, clima, tipo de solo e de cultivo, disponibilidade e qualidade de água, mão-de-obra e energia (PIRES et al., 2008).

2.2 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Segundo Sijali (2001), a irrigação por gotejamento é capaz de fornecer água para as raízes de plantas individuais tão frequentemente quanto seja desejado, minimizando a perda de água por evaporação do solo. A aplicação de água ao solo, na irrigação por gotejamento, é sob a forma de “ponto fonte”, ficando a superfície do solo com uma área molhada com forma circular e o seu volume molhado com forma de um bulbo, podendo os pontos próximos formar uma faixa molhada contínua (KELLER; BLIESNER, 1990; RODRIGO LÓPEZ et al., 1992; PIZARRO, 1990; PEREIRA, 2004).

A irrigação por gotejamento permite a distribuição uniforme de água no solo a intervalos de tempo regulares, evitando efeitos adversos de sub (estresse) ou super irrigação (lixiviação e encharcamento) em certas partes da área (WOLTERING; PASTERNAK; NDJEUNGA, 2011).

A irrigação localizada por gotejamento ainda possui custo inicial elevado, além de outras desvantagens como risco de entupimento dos emissores pela deposição de partículas minerais e orgânicas, concentração do sistema radicular e salinização. Entretanto as suas vantagens como: o uso racional da água, fertirrigação, pouca mão-de-obra e facilidade de automação, redução de custos de produção, baixo consumo de energia, entre outros, associadas a um conjunto de fatores econômicos têm incrementado seu uso no mundo e no Brasil (KELLER; BLIESNER, 1990; RODRIGO LÓPEZ et al., 1992; PIZARRO, 1990; SILVA; MANTOVANI; RAMOS, 2003; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

2.3 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA DE BAIXO CUSTO

De acordo com Phocaides (2007), a irrigação por gotejamento é o método mais eficiente de uso de água para produção de culturas. Milhões de pequenos fazendeiros em países do terceiro mundo ainda não podem adotar essa técnica, devido ao alto custo inicial de instalação do sistema e ao nível de manejo relativamente sofisticado.

Merry, Namara e De Lange (2006) argumentam que tais sistemas podem levar a ganhos substanciais na produção para pequenos agricultores porque são relativamente baratos, podem ser gerenciados de forma individual, e proporcionar as famílias ganhos imediatos.

Em países da Ásia e da África, algumas instituições promovem o desenvolvimento das comunidades agrícolas por meio de técnicas de irrigação compatíveis com o nível econômico e social dos fazendeiros (MACKAY, 2003; SOUZA, 2005).

Modificações estão constantemente sendo feitas para simplificar sistemas de irrigação por gotejamento e fazendo-os mais disponíveis. Estes sistemas tentam simplificar o seu design, enquanto mantem alta frequência, alta eficiência e baixo volume de irrigação, vantagens básicas da irrigação por gotejamento. Algumas dessas modificações são a improvisação de emissores gotejadores e os sistemas de baixa pressão hidráulica (SIJALI, 2001).

Mendes (1989) cita como exemplo dessas modificações o sistema alternativo denominado xiquexique, originado na França, onde furos com cerca de 1 mm de diâmetro, eram feitos com agulhas veterinárias em tubos de polietileno de 16 mm de diâmetro. Cada furo era recoberto com um pedaço de 10 cm de comprimento com tubos de 19 mm. No Brasil esse sistema artesanal é denominado em razão da sua implantação na década de 1980, na região do Estado do Rio Grande do Norte, local rico em cactáceas conhecidas como xiquexique.

O desenvolvimento de emissores de baixa pressão e filtração simples tem reduzido muito o investimento inicial necessário, fazendo com que sistemas de irrigação por gotejamento de pequena escala sejam disponíveis para agricultores de pequenas propriedades (SIJALI, 2001). Para Nascimento (2006), o desenvolvimento de alternativas que permitam a utilização da irrigação na agricultura familiar proporciona o aumento da produção e a diminuição do êxodo rural. Postel et al. (2001) acrescentam que a maioria das pessoas em situação crítica de falta de alimentos está no campo e uma das saídas para a redução da fome nessas comunidades seria o acesso a técnicas de irrigação.

Os sistemas de irrigação de baixo custo têm sido conhecidos por aperfeiçoar rendimentos por unidade de volume de água e solo (DAKA, 2006). O desafio é encontrar o equilíbrio certo entre disponibilidade e simplicidade de um lado e qualidade e longevidade do equipamento de outro lado (WOLTERING; PASTERNAK; NDJEUNGA, 2011).

Sijali (2001) cita vários tipos de sistemas de irrigação de baixo custo. O autor além de apresentar sistemas alternativos, menciona orientações quanto ao manejo do sistema, bem como orientações de como instalá-los. Coelho et al. (2012) também mencionam sistemas de irrigação para agricultura familiar, inclusive destacando o uso de emissores comerciais de baixo custo.

As variações dos sistemas de irrigação de baixo custo estão relacionadas aos equipamentos utilizados, às formas de configuração e disposição das linhas laterais, e aos tipos de emissores usados.

Um kit de baixo custo padrão inclui um registro, um filtro e laterais gotejadoras que irrigam uma área de 10 a 2000 m², pela ação da gravidade em função da elevação de reservatórios como sacolas, baldes e barris (POLAK; NANES; ADHIKARI, 1997). Woltering, Pasternak e Ndjeunga (2011) apresentam ainda a possibilidade de agrupar kits menores a um sistema de distribuição com origem em uma fonte de água qualquer, como reservatórios, poços, açudes e lagos.

Os tipos de sistemas de irrigação por gotejamento de baixo custo ou baixa pressão procuram disponibilizar água para as plantas em função de custos relativamente menores, em locais onde não há disponibilidade de energia elétrica, assim como tende a reduzir o trabalho envolvido.

Dhawan (2000) afirma que a irrigação por gotejamento gera retornos mais elevados para a sociedade do que para indivíduos, devido à economia de água, trabalho e energia, e disponibilidade de produtos hortícolas. Sistemas de irrigação de baixo custo têm sido implantados, melhorando a vida de agricultores nos países em desenvolvimento.

Namara, Nagar e Upadhyay (2007) afirmam que quanto mais educado e quanto mais rico um produtor, é mais provável a adoção da tecnologia por gotejamento em pequena escala, apreciando principalmente a economia de trabalho e combustível comparado a métodos de irrigação tradicionais.

No entanto, Woltering, Pasternak e Ndjeunga (2011) mencionam que sistemas de baixo custo instalados na Índia e Zimbábue foram abandonados, principalmente porque os produtores sentem que não há economia notável em trabalho e água, nem melhores rendimentos sobre práticas de irrigação já existentes. Mahamadou (2005) acrescenta que a

maioria dos sistemas é abandonada devido à falta de manutenção de equipamentos e desconsideração das recomendações sobre fertilidade, água e manejo das culturas.

Belder et al. (2007) observaram em estudo no Zimbábue que agricultores que utilizavam os sistemas de baixo custo, fizeram uso de irrigação suplementar (Figura 1) com auxílio de baldes. E quando comparado os resultados obtidos mostraram que não houve diferença entre as parcelas irrigadas com os kits de baixo custo e as parcelas irrigadas a mão.



Figura 1. Irrigação suplementar em sistemas de baixo custo
Fonte: Belder et al. (2007)

Em termos de princípios técnicos, os sistemas de baixo custo não apresentam grandes diferenças entre si. O que se pode observar são variações na capacidade de armazenamento de água dos sistemas, através do uso de baldes, tambores, caixas d'água, sacos impermeáveis ou outros materiais de acordo com as condições financeiras. Ainda, observam-se especificidades quanto a tipo de material usado, área de cobertura, componentes e formas de distribuição de água.

Em busca de alternativas que possam tornar os sistemas de irrigação localizada mais eficientes quanto ao uso de água e na sua acessibilidade, os sistemas de irrigação de baixo custo podem ser viáveis, apresentando custos de implantação e manutenção que permitem a utilização de áreas com dimensões reduzidas, escassez de água e recursos econômicos limitados. Segundo Keller et al. (2001) muito desenvolvimento já foi alcançado no mundo com a utilização de sistemas de irrigação de baixo custo. No Brasil, nota-se potencial para o desenvolvimento desta técnica, que promoveria o desenvolvimento socioeconômico de inúmeras comunidades carentes, sem elevados custos iniciais e operacionais.

2.4 EMISSORES

Os emissores são os dispositivos que controlam a saída de água. São peças conectadas às linhas laterais, capazes de dissipar a pressão disponível na linha lateral e aplicar vazões pequenas e constantes (RODRIGO LÓPEZ et al., 1992; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Para Keller e Karmeli (1974), Rodrigo López et al. (1992), Pizarro (1990), Burt e Styles (2000) e Silva, Mantovani e Ramos (2003) os emissores em geral devem apresentar as seguintes características:

- a) fornecer a vazão baixa, constante, uniforme e pouco sensível às variações de pressão;
- b) apresentar orifício de saída de água relativamente grande, para evitar problema de entupimento;
- c) ser barato, resistente e compacto;
- d) elevada uniformidade de fabricação;
- e) estabilidade da relação vazão-pressão ao longo do tempo;
- f) pouca sensibilidade às mudanças de temperatura;
- g) resistência ao ataque de insetos e/ou roedores;
- h) resistência à agressividade química e ambiental, assim como as operações agrícolas, e
- i) terem reduzida perda de carga na conexão.

Segundo Gilaad, Kristal e Eanker (1974) as características dos emissores são influenciadas pela geometria, pelo material de constituição, pelo processo de fabricação e pelo método de instalação do gotejador na linha lateral.

Em relação ao método de instalação do gotejador quanto ao tipo de conexão, estes, segundo Keller e Karmeli (1975), os gotejadores podem ser conectados sobre a linha, dentro da linha (na linha) e no prolongamento da linha lateral.

As seções de fluxo dos emissores são muito pequenas, resultando em problemas de entupimento, ao se aumentar essa seção o fluxo também aumenta, sendo necessário dissipar a pressão aplicada ao emissor, caso contrário, a vazão aplicada aumentará muito. Através do aumento do percurso do fluxo, da utilização de percursos não lineares, de válvulas de controle de vazão, gerando assim diferentes tipos de emissores (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Segundo Rodrigo López et al. (1992) existem emissores denominados autocompensantes que apresentam fluxo turbulento ou misto, em que se deseja obter vazões

constantes independente da pressão. Esta compensação é oriunda de uma peça móvel e flexível que se deforma sob o efeito da pressão, geralmente no intervalo de 10 a 40 m.c.a., diminuindo a seção de passagem de água, e limitando assim a vazão. A durabilidade destes emissores e, sobretudo, de sua membrana flexível pode ser afetada pelo tempo e pela temperatura, resultando em altos valores de coeficiente de variação de fabricação (CVf).

A possibilidade de realizar a irrigação com sistemas de baixo custo é uma oportunidade que possibilita uma agricultura produtiva nas pequenas propriedades agrícolas, onde muitas vezes não há utilização de energia elétrica. A emissão é ponto primordial, já que o sistema trabalha com cargas hidráulicas baixas para reduzir o consumo de energia, sendo qualquer variação passível de interferência na uniformidade e desempenho do sistema, contudo, quanto mais baixas podem comprometer o desempenho hidráulico do emissor.

Dessa forma, a ideia de baixo custo não significa deixar de considerar e priorizar a qualidade dos emissores, pois os mesmos são responsáveis pela liberação de volumes de água predeterminados, no intuito de fornecer quantidade de água necessária para as plantas, mas sim de poder trabalhar com sistemas de baixo consumo de energia e baixo volume de água aplicado por vez (GARCIA, 2006).

2.5 HIDRÁULICA DO SISTEMA

2.5.1 Uniformidade do Sistema

A uniformidade vem a ser a distribuição da água irrigada de forma mais igualitária possível para as plantas, sem risco de irrigação excessiva em algumas áreas enquanto outras não atingiram sua necessidade hídrica. A uniformidade de distribuição de água é uma informação importante para a avaliação de sistemas de irrigação localizada, tanto na fase de projeto como no acompanhamento do desempenho após a implantação (FAVETTA; BOTREL, 2001).

Na irrigação por gotejamento, segundo Howell e Hiller (1974), a uniformidade de aplicação de água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada com a variação de vazão dos gotejadores, variação esta devido às perdas de energia da água por atrito ao longo do tubo e nas inserções dos gotejadores, com ganho ou perda de energia de posição, com a

qualidade de matéria prima e dos processos de fabricação, com as obstruções e os efeitos da temperatura da água sobre o regime de escoamento e com a geometria do gotejador.

Segundo Solomon (1979), os fatores mais significativos que influenciam a uniformidade dos sistemas de irrigação localizada são:

- a) entupimento dos emissores;
- b) numero de emissores por planta;
- c) coeficiente de variação de fabricação dos emissores e,
- d) expoente do emissor, entre outros.

O índice de uniformidade frequentemente utilizado para avaliar sistemas de irrigação localizada instalados é o coeficiente de uniformidade de distribuição (KELLER; KARMELI, 1975; PIZARRO, 1990; CLEMMENS; SOLOMON, 1997), de acordo com a equação:

$$CUD = \frac{q_{25}^5}{\bar{q}} \quad (1)$$

em que CUD é o coeficiente de uniformidade de distribuição; q_{25} é a média das 25% menores vazões coletadas; e $\bar{q}$ é a média das vazões coletadas.

De acordo com Levien e Figueirêdo (2013) podem ser encontradas, na bibliografia, referências a vários métodos propostos para estimar a uniformidade de distribuição de água em sistemas instalados em campo, dentre elas: Merriam e Keller (1978), Denículi et al. (1980), Bralts e Kesner (1983), ASAE EP458 (1998) e Awulachew, Lemperiere, Tulu, (2009). Pode ser citada também a metodologia proposta por Levien e Figueirêdo (2013).

A uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação é determinada selecionando-se um número determinado de plantas. Merriam e Keller (1978) recomendam um número de 16 plantas. Para isso, pode-se seguir o seguinte critério: elege-se a subunidade a ser estudada e dela selecionam-se quatro linhas laterais: a primeira linha do sistema, a segunda situada a 1/3 da origem, a terceira situada a 2/3 da origem e a última lateral. Em cada lateral selecionam-se quatro plantas utilizando-se o mesmo critério (primeira, 1/3, 2/3 e a última) e faz-se a medição da vazão fornecida a cada planta. Keller e Karmeli (1974) recomendam a utilização do coeficiente de uniformidade quando mais da metade da superfície irrigada é molhada, sendo essa menor recomenda-se aumentar o número de pontos avaliados; a avaliação de campo do coeficiente de uniformidade deve ser feita a partir da coleta de vazões de três a cinco locais ao longo de quatro linhas laterais diferentes.

Para não prejudicar a uniformidade de aplicação de água, recomenda-se que a variação máxima da vazão dos gotejadores seja de 10% em todo o sistema de irrigação (KELLER; KARMELI, 1975; MERRIAM; KELLER, 1978). Essa variação da vazão entre o primeiro e o último gotejador é resultante de uma variação de pressão ao longo da linha lateral (RODRIGO LÓPEZ et al., 1992; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Segundo Rodrigo López et al. (1992), a determinação do CUD com 16 emissores, previamente selecionados, impede a aplicação de critérios estatísticos e, conseqüentemente, a definição dos limites de confiança para uma determinada probabilidade. Esse total de plantas poderá ser ou não suficiente, em função dos valores de CUD, quanto mais baixo o CUD, maior deverá ser o número de observações realizadas; todavia, a partir da utilização de 24 observações, o CUD praticamente não varia. Assim, a utilização de um maior número de pontos pode se tornar muito laboriosa.

Para uma avaliação da uniformidade de aplicação de água, Keller e Karmeli (1974) classificam os valores como excelente quando superiores a 90%, boa no intervalo de 80% a 90%, regular entre 70% e 80% e ruim quando inferiores a 70%.

Uma baixa uniformidade de distribuição de água reduz a eficiência de aplicação de água e a produtividade (SOUZA; PÉREZ; BOTREL, 2006). Sammis e Wu (1985) sugerem que uma manutenção imprópria do sistema de irrigação pode causar decréscimo de 60% ou mais na uniformidade de aplicação, resultando em aumento na quantidade de água aplicada, para compensar a baixa uniformidade e a redução na produtividade.

Vermeiren e Jobling (1984) relatam que os emissores se caracterizam do ponto de vista hidráulico pela pressão de serviço e pela variação desta com a vazão. Sistemas de irrigação por gotejamento que operam com pressões mais elevadas oferecem maior uniformidade (MAYERS; BUCKS, 1972).

2.5.2 Coeficiente de variação de fabricação dos emissores

Na fabricação dos emissores, os procedimentos adotados e os materiais utilizados fazem com que emissores de um mesmo modelo não apresentem vazões exatamente iguais quando submetidos à mesma carga hidráulica. Os processos de fabricação envolvem variáveis como pressão, temperatura, velocidade de fabricação, tempo do processo, entre outras, de forma que qualquer alteração no programado pode afetar as características dos emissores, por exemplo,

tamanho, forma, peso, rugosidade das superfícies e resistência (SOLOMON, 1979; ANDRADE, 2005).

De acordo com Azevedo et al. (1997), pequenas diferenças entre dois emissores aparentemente idênticos podem causar variações significativas na vazão do sistema. Por mais esmerados que sejam os processos de fabricação, sempre ocorrem variações e, como a área de escoamento dos emissores é de milímetros quadrados, qualquer variação poderá afetar as vazões dos emissores a uma mesma pressão (COSTA, 1994).

Dessa forma, o resultado dos fatores no processo de construção é contabilizado por uma medida de dispersão denominada coeficiente de variação de fabricação (CVf). Esta medida é definida e proposta por Solomon (1979), de acordo com a equação:

$$CVf = \frac{\sigma}{\bar{q}} \quad (2)$$

em que CVf é o coeficiente de variação de fabricação; σ é o desvio padrão da vazão de uma amostra; e $\bar{q}$ é a vazão média da mesma amostra.

Solomon (1979) sugere uma amostra de no mínimo 50 emissores o que também é orientado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1986), tendo a interpretação dos valores apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) de emissores para gotejamento, de acordo com Solomon (1979)

CVf	Interpretação
< 0,03	Excelente
0,03 a 0,07	Médio
0,07 a 0,10	Baixo
0,10 a 0,14	Pobre
> 0,14	Inaceitável

Fonte: Solomon (1979)

Tabela 2. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) de emissores para gotejamento, de acordo com ABNT (1986)

CVf	Interpretação
< 0,10	Bom
0,10 a 0,20	Médio
0,20 a 0,30	Marginal
> 0,30	Inaceitável

Fonte: ABNT (1986)

Segundo ASAE (2003) o CVf pode ser classificado de acordo com o apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) de emissores para gotejamento, de acordo com ASAE (2003)

CVf	Interpretação
< 0,05	Excelente
0,05 a 0,07	Médio
0,07 a 0,10	Baixo
0,10 a 0,15	Marginal
> 0,15	Inaceitável

Fonte: ASAE (2003)

Segundo Rodrigo López et al. (1992) a norma ISO 9260:1991 estabelece duas categorias de emissores: A e B. Na categoria A estão classificados os emissores com CVf inferior a 0,05, enquanto na B estão os emissores com CVf entre 0,05 e 0,10.

A variabilidade final de aplicação de água dependerá tanto da variabilidade de fabricação dos emissores quanto da variabilidade hidráulica (GIL et al., 2008). A variabilidade de fabricação dos emissores é tanto maior quanto menos tecnificado for o processo construtivo.

Para Merriam e Keller (1978) os fatores que contribuem para a não uniformidade do sistema estão relacionados a controle de qualidade nos processos de fabricação, falha no manejo, mudanças físicas dos componentes, envelhecimento e entupimento dos emissores.

2.5.3 Equação característica da relação vazão-pressão do emissor

Keller e Karmeli (1975), Von Bernuth e Solomon (1986) e Rodrigo López et al. (1992) sugerem a função potencial como a equação que descreve as características de vazão versus pressão do emissor, sendo, portanto, que a vazão se relaciona diretamente com a carga hidráulica atuante na entrada do emissor.

Keller e Karmeli (1975) mostram que a relação potencial entre perda de carga e vazão em orifícios pode ser aplicada em irrigação localizada para obtenção de vazão dos emissores, em que a variação da vazão é obtida pela variação da pressão, conforme a equação:

$$q=k.h^x \quad (3)$$

em que, q é a vazão do emissor; k é o coeficiente de descarga do emissor; h é a pressão de serviço na entrada do emissor; e x é o expoente de descarga do emissor.

De acordo com Rodrigo López et al. (1992) o coeficiente de descarga (k) equivale à vazão que proporcionaria uma pressão de valor igual a unidade.

O x sendo variável caracteriza o emissor quanto à sensibilidade de variação da vazão em função da variação de pressão, possibilitando determinar o regime de fluxo do emissor, sendo:

- a) emissores com regime de escoamento laminar: x varia entre 0,8 e 1,0;
- b) emissores com regime turbulento: x varia entre 0,5 e 0,8; e
- c) emissores autocompensantes: x tende a zero (mas na realidade apresenta valor de 0,2 a 0,3).

Em emissores autocompensantes, teoricamente, a vazão não se modifica com a pressão ou apresenta uma variação pequena. Nos emissores convencionais, x normalmente varia entre 0 e 1.

O desempenho hidráulico do emissor é determinado pelo expoente x , que é uma medida da variação do fluxo em resposta às variações de pressão; e pelo coeficiente de variação de fabricação, que é uma medida da variação do fluxo causada pela variação no processo de fabricação e pela sensibilidade à temperatura, que é dependente do tipo de fluxo do emissor (LIMA, 1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO

O presente trabalho foi conduzido em duas etapas, sendo a primeira parte realizada no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte; e a segunda parte do trabalho (Figura 2) foi realizada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada na comunidade de Alagoinha, zona rural de Mossoró ($5^{\circ}03'37''$ S; $37^{\circ}23'50''$ W, com altitude aproximada de 72 m) distante 20 km da cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte (FIGUEIRÊDO et al., 2009).



Figura 2. Área do experimento de campo: A1) área do GA-4; A2) área do hydrogol

Na primeira etapa foram avaliadas as características dos emissores em condições de laboratório, no intuito de se determinar a uniformidade de distribuição, os coeficientes de variação de fabricação em diferentes pressões aplicadas, alternando-as de 10 a 30 kPa com intervalos de 5 kPa, como também a vazão média, a curva característica e a equação da relação vazão-pressão.

Na segunda etapa foram feitas avaliações dos sistemas comercial e alternativo em condições de campo, seguindo as orientações recomendadas para o kit da John Deere Water (antiga Plastro) e o dimensionamento proposto para o kit alternativo de baixo custo.

3.2 TESTES EM LABORATÓRIO

3.2.1 Escolha dos emissores

Na etapa de laboratório, inicialmente, foram escolhidos emissores que fossem facilmente encontrados no mercado local, que possuísem preços compatíveis com o objeto deste trabalho e que apresentassem em seu funcionamento um mínimo de qualidade exigida. ABNT (1986) sugere a amostragem de 25 emissores, escolhidos aleatoriamente, num lote de no mínimo 500 unidades. Para efeito de testes, o presente trabalho adotou a escolha aleatória de 60 emissores.

Os emissores escolhidos (Figura 3) foram o emissor GA-4 (Agrojet), microjet (Amanco), gotejador regulável (Hidracamp) e gotejador regulável azul (Víquua).

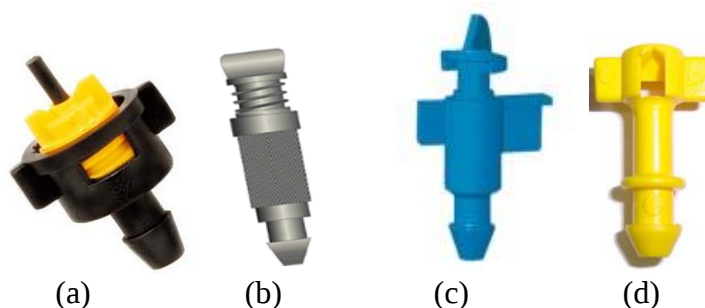


Figura 3. Emissores de baixo custo: a) GA-4, b) Gotejador regulável, c) Gotejador azul regulável e d) microjet

O emissor GA-4, fabricado pela Agrojet, é do tipo gotejador autocompensante apresentando vazão de aproximadamente 4 L h^{-1} a pressões a partir de 100 kPa, independentemente da declividade do terreno, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Relação vazão-pressão do gotejador GA-4 da Agrojet

Pressão (kPa)	Vazão (L h ⁻¹)
100	4,76
200	4,66
300	4,66
400	4,68
500	4,26

O gotejador regulável da Hidracamp é constituído por uma espécie de corpo roscado e outra parte rosqueável que regulam a saída de água através do número de voltas da primeira em relação à última. As informações do fabricante sobre o emissor são escassas, no entanto o mercado local disponibiliza as seguintes informações sobre o mesmo: pressão de 1 kgf cm⁻² e proporciona vazão de 3 L h⁻¹ para ¼ de volta, 6 L h⁻¹ com ½ volta e 8 a 9 L h⁻¹ com duas ou mais voltas.

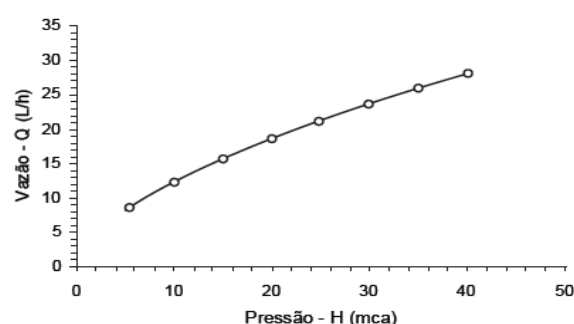
O gotejador regulável azul é produzido pela Víqua, contudo não é disponibilizado informações pelo fabricante, nem mesmo no portal eletrônico da empresa. Este emissor também trabalha com a regulação da vazão em função do número de voltas empregadas, sendo passível de trabalho tanto como gotejador quanto como microaspersor.

O emissor microjet é um microaspersor do tipo leque com vazão em torno de 13 L h⁻¹ quando aplicada uma pressão de 1 kgf cm⁻². No mercado existem outros tipos de microjet, sejam eles com diferentes vazões, como também os seus fabricantes. A empresa Plasnova apresenta um microjet com características semelhantes ao da Amanco, conforme Figura 4.

Descrição	Cor	MICROASPIRADOR MICROJET		
		Pressão (m.c.a)	Vazão (l/h)	Espaçamento (m)
MICROASPIRADOR MICROJET	AMARELO seda	10	12,7	1,0
		15	16,1	
		20	19,1	
	AMARELO fosca	10	12,7	1,0
		15	16,1	
		20	19,1	
	VERMELHO fosca	10	22,5	1,5
		15	27,5	
		20	32	

(a)

Curva Vazão x Pressão Microjet Amarelo



(b)

Figura 4. Coeficientes do aspersor Microjet, a) pressão de serviço, vazão e espaçamento e b) curva vazão x pressão do microjet

Fonte: Plasnova tubos (2013)

3.2.2 Avaliação dos emissores

O teste em laboratório teve por objetivo determinar um valor médio de vazão sob baixas pressões. Para a realização dos ensaios utilizou-se uma bancada (Figura 5) composta de uma bomba com vazão nominal de 3785 L h^{-1} a 10 kPa, filtro de tela de 3/4" (120 mesh), 2 válvulas de ar e um manômetro digital com leitura de 0 a 2 bar (0 a 200 kPa), alimentados por um reservatório com capacidade de 200 litros.



Figura 5. Bancada de teste: a) detalhe das mangueiras e recipientes b) reservatório e cabeçal de controle da bancada

A utilização da bomba (Figura 6) ao invés da caixa d'água teve como objetivo agilizar as etapas de avaliação, já que seriam necessárias diferentes cargas hidráulicas, sendo utilizada nas fases de laboratório e campo.

A água após passar por esse trajeto segue por uma tubulação de PVC de 20 mm de diâmetro, contendo seis saídas onde são conectadas as linhas de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm, medindo 3 m de comprimento, linhas essas que se unem novamente através de outra tubulação de PVC, também de 20 mm, na qual proporciona o retorno de água para o reservatório de abastecimento através de uma mangueira. O controle da passagem de água na bancada é realizado por meio de um registro de gaveta que fica localizado na tubulação de PVC de saída. Optou-se pela tubulação de polietileno de 16 mm, devido à mesma ser facilmente encontrada no mercado local, como também se tratar do diâmetro mais utilizado.



Figura 6. Bomba de porão de barco

Os emissores foram conectados às linhas de polietileno a uma distância prefixada de 0,3 m, sendo o primeiro e último emissor conectado a 0,15 m do início e fim de linha, respectivamente, o que resultou em 60 emissores funcionando simultaneamente.

Quando avaliado o microjet, devido a sua forma de emissão em forma de jato d'água, foi necessário conter o mesmo para poder ser coletado o seu volume. Dessa forma, foi adaptada uma contenção com a utilização de um pedaço de mangueira de polietileno de 16 mm, fixada à linha gotejadora por meio de um arame.

A coleta dos volumes se deu através do uso de recipientes de plástico com capacidade de 450 mL que foram dispostos sob os emissores, identificando-se seus valores com auxílio de proveta graduada com precisão de 2 mL. Coletaram-se amostras dos 60 emissores para cada modelo, realizando-se cinco repetições, sendo determinada a vazão média do emissor (em $L h^{-1}$), submetendo-o a pressões de 10, 15, 20, 25 e 30 kPa para o GA-4 e de 10, 15, 20 e 25 kPa para o microjet, monitoradas pelo manômetro disposto na entrada da banca de testes.

O tempo de coleta foi determinado em função do emissor e da pressão do teste, conforme Tabela 5, seguindo a recomendação de no mínimo 200 mL de volume coletado (ABNT, 1986). Durante a realização do ensaio a variação de temperatura, avaliada a cada hora, esteve entre 26° e 28°C.

Tabela 5. Tempo de coleta, em minutos, em função do emissor e da pressão avaliada em laboratório

Emissor	Pressão (kPa)				
	10	15	20	25	30
	Tempo (min)				
GA-4	15	12	10	8	7
Microjet	4	3,5	3	2	-

Foram determinados para efeito de avaliação hidráulica o coeficiente de variação de fabricação (CVf), a fim de se observar os fatores construtivos dos emissores; o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), no intuito de se obter a uniformidade do sistema de irrigação a baixa pressão; a curva e a equação característica de vazão pressão, visto a necessidade de informação sobre o comportamento dos emissores sob situações diferentes das recomendadas pelo seus fabricantes.

3.2.3 Comportamento hidráulico da linha lateral

Em seguida, objetivou-se avaliar o comportamento das linhas laterais testadas fora das condições impostas pela mesa de teste, já que essa bancada oferece condições de um circuito fechado (relação saída-retorno do volume de água aplicado).

Dessa forma, foi montada uma linha lateral de 18 m de comprimento a partir da união das linhas ensaiadas na bancada de testes utilizando o GA-4, dispostas em local plano localizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas. Para execução do teste utilizou-se a mesma fonte de bombeamento utilizada na mesa de testes, onde foi instalado um cabeçal de controle composto por registro de 20 mm, manômetro digital com faixa de leitura de 0 a 2 bar (0 a 200 kPa) e filtro de tela de 3/4" (120 mesh).

Nesta etapa de testes a água utilizada estava em torno de 46° C, o que contribuiu para o aumento da vazão coletada. Esta condição foi admitida em função de se tratar de uma condição normal de campo.

Como as laterais foram constituídas adaptando as linhas utilizadas na bancada de teste (segmentos de 3 m), foi instalado um conector no início e fim de cada segmento, obtendo-se as leituras de diferença de pressão do início da lateral e final de cada segmento, sendo consideradas iguais as leituras do fim de um segmento e início de outro segmento. Para obtenção das leituras utilizou-se manômetro diferencial com escala de 0 a 1999 mm.c.a., modelo Gulpress 200, marca Gulston.

Para cada sublinha foram atribuídos três pontos, sendo um ponto inicial, um intermediário e outro no final da mesma, onde foram coletados, com duas repetições, os volumes aplicados com auxílio de proveta. Realizaram-se as leituras sob as pressões de 10, 20 e 30 kPa, sendo assim, determinando-se a vazão média em cada um dos pontos da linha, totalizando valores de dezoito vazões médias.

A duração do teste foi realizada seguindo os mesmos princípios da avaliação na mesa de testes, resultando na configuração apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Tempo de coleta em função do emissor e da pressão avaliada em laboratório, para o emissor GA-4

Pressão (kPa)	Tempo (min)
10	10
20	5
30	5

3.3 TESTE DE CAMPO

A segunda etapa consistiu na avaliação de sistemas de baixo custo sob condições de campo, onde se utilizou um kit da John Deere Water (Figura 7) e um kit alternativo proposto a partir das informações obtidas nos ensaios de campo. Nesta fase foram avaliados os comportamentos de sistemas de irrigação de baixo custo, através da avaliação da uniformidade de distribuição e do comportamento do sistema pela obtenção do expoente x .



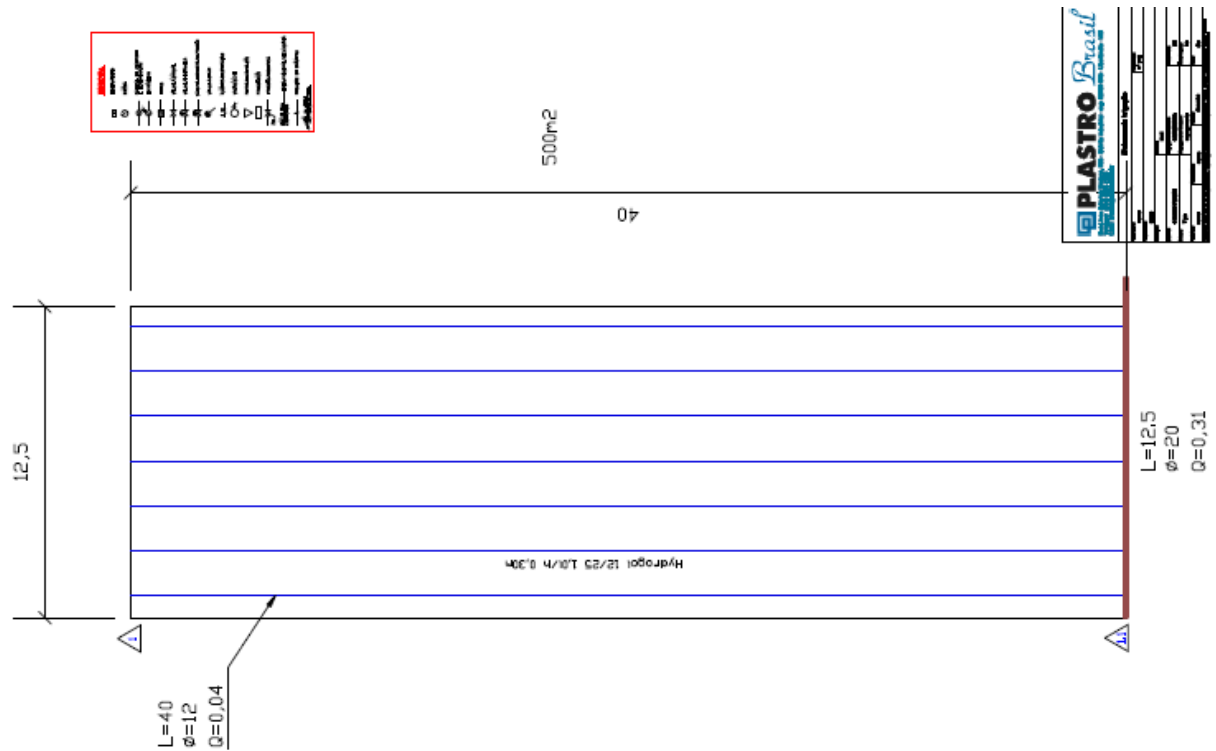
Figura 7. Kit John Deere Water instalado em campo

O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999). Para a camada de 0-20 cm de solo, foi encontrada densidade média do solo igual a $1,56 \text{ g cm}^{-3}$, densidade de partículas de $2,64 \text{ g cm}^{-3}$, com conteúdo de areia, silte e argila de 92%, 6% e 2%, respectivamente, o que demonstra o tipo de solo e o comportamento esperado do bulbo molhado.

A água de irrigação disponível na Fazenda Experimental é proveniente de um poço escavado no aquífero Arenito Açú, caracterizando-se por apresentar profundidade aproximada de 1000 m, possuindo água de boa qualidade, com condutividade elétrica (CEa) em torno de $0,57 \text{ dS m}^{-1}$ (FIGUEIRÊDO, 2008).

3.3.1 Descrição e avaliação dos kits de irrigação

O kit John Deere Water (Figura 8) é formado por mangueira hydrogol de 12 mm de diâmetro, emissores “in line” com vazão de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, dimensionado com sete linhas gotejadoras de 40 m cada, espaçadas a 1,80 m de distância.



(a)



(b)

Figura 8. Kit da John Deere Water (Plastro): a) planta baixa do kit 500 m², b) detalhe do emissor hydrogol

O kit alternativo (Figura 9) é composto de 6 mangueiras de 16 mm de diâmetro com 15 m de comprimento, espaçadas 1 m, perfuradas manualmente a cada 0,30 m, sendo instalado o emissor do tipo GA-4. Os kits contêm ainda um filtro de tela de 3/4" (120 mesh).



Figura 9. Kit alternativo: a) instalado em campo e b) detalhe do emissor GA-4

A montagem do kit alternativo somente com o emissor GA-4 ocorreu baseando-se no fato do mesmo apresentar comportamento gotejador, o que poder vir a ser uma vantagem na condição de economia de água.

O sistema de bombeamento utilizado foi o disponível na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (Figura 10). Como a bomba proporcionava uma pressão maior que a necessária ao ensaio, utilizaram-se mecanismos de retorno de água e regulagem de registros que permitiram reduzir a carga hidráulica imposta pelo conjunto motobomba para as pressões de 10, 20 e 30 kPa, sendo monitoradas através de um manômetro com faixa de atuação entre 0 e 200 kPa.



Figura 10. Sistema de bombeamento da Fazenda Experimental Rafael Fernandes: a) detalhe da motobomba e b) reservatório e conjunto de registros reguladores de vazão-pressão

A coleta do volume dos emissores em teste foi realizada em recipientes de plástico com capacidade para 450 mL, sendo os valores obtidos lidos com o auxílio de proveta graduada com precisão de 2 mL. O tempo de teste é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Tempo de coleta em função do emissor e da pressão avaliada em campo

Emissor	Pressão (kPa)	Tempo (min)
GA-4	10	10
	20	5
	30	5
Hydrogol	10	30
	20	30
	30	30

Na coleta do volume aplicado pelos kits, realizou-se a leitura dos emissores adjacentes ao ponto da linha lateral (início, 1/3, 2/3 e fim de linha), o que resultou em duas leituras por posição. No kit comercial ainda foram dispostas em campo, de forma aleatória, recipientes para reforçar a veracidade dos dados obtidos, conforme Figura 11.

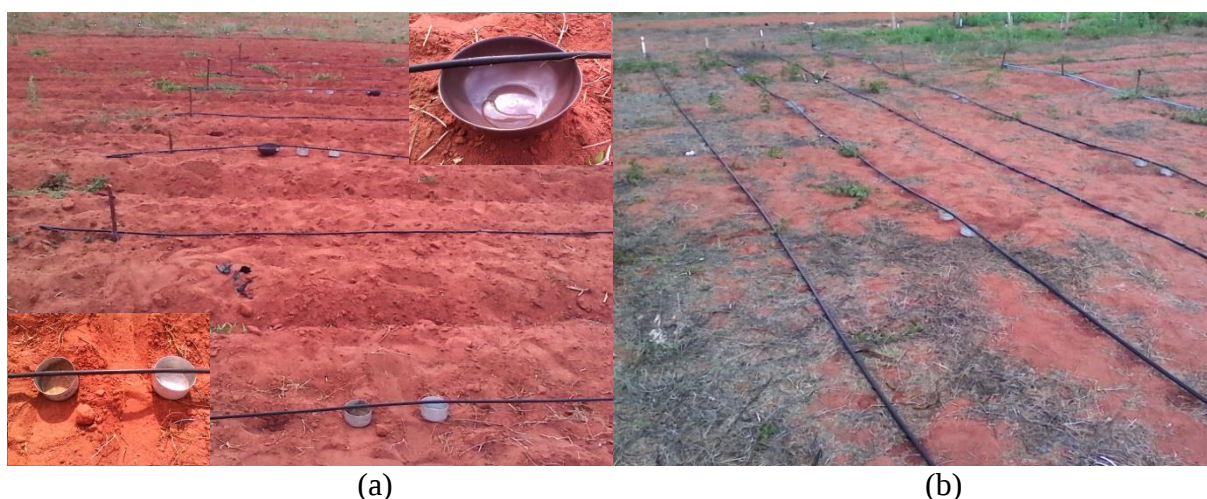


Figura 11. Coleta dos volumes aplicados: a) kit comercial; b) kit alternativo

Com os dados obtidos na avaliação de uniformidade do sistema é possível se determinar o comportamento dos emissores em campo, através da obtenção e interpretação dos valores de x . Considerando as pressões de entrada nas linhas laterais como sendo constantes pra todo o

sistema, e com a leitura das vazões de entrada de cada linha lateral, ou seja, a vazão dos primeiros emissores da linha. Utilizou-se a equação a seguir para se determinar o valor de x do sistema no campo.

$$x = \frac{\log \frac{q_1}{q_2}}{\log \frac{h_1}{h_2}} \quad (4)$$

em que x é o expoente de descarga do emissor; q_1 é a vazão na primeira situação; q_2 é a vazão da segunda situação; h_1 é a pressão aplicada na primeira situação; e h_2 é a pressão da segunda situação.

O padrão de molhamento da linha emissora foi verificado “in loco” a partir da abertura de trincheiras, onde se observou a formação do bulbo molhado. Realizaram-se as medições de diâmetro superficial, diâmetro médio e profundidade, contabilizados para 30 e 60 min, sob as pressões de 10, 20 e 30kPa. Na quantificação do volume de água aplicado foi considerada a vazão média dos emissores obtida em campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SELEÇÃO DOS EMISSORES

Na utilização dos emissores gotejador regulável da Hidracamp e gotejador regulável azul da Víqua foi diagnosticada a falta de qualidade inerente ao processo de fabricação, onde se observa a falta de um ponto de partida para o início da regulagem por voltas. Já que esses pontos não foram coincidentes nos emissores testados (Figura 12), e como também não há um ponto limite para a passagem da água, em alguns desses é necessário um excesso de força o que gera fissuras no corpo do emissor diminuindo sua longevidade.

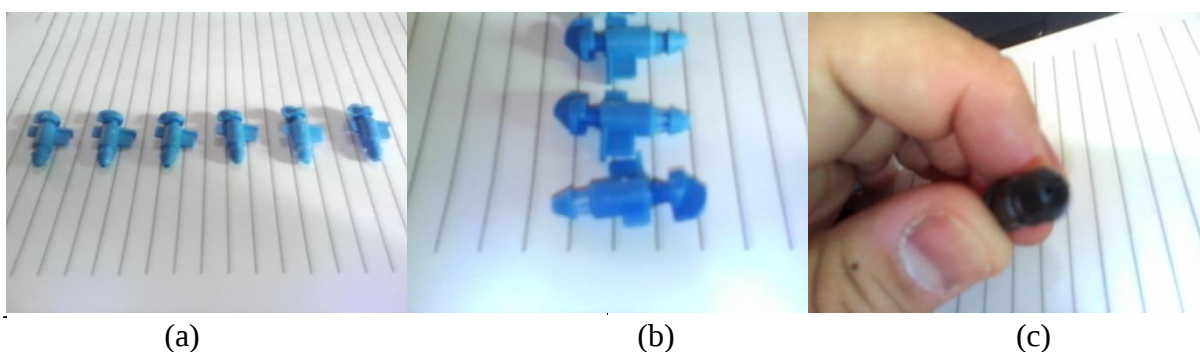


Figura 12. Defeitos de fabricação dos emissores: a) detalhe da entrada de água do emissor, b) apresentação de fissuras no corpo do emissor e c) acabamento do processo de fabricação

Em função dessas características, selecionou-se o GA-4 e o microjet, por apresentaram condições mais adequadas e com maior probabilidade de uniformidade, para serem utilizados em sistemas instalados em campo.

4.2 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE FABRICAÇÃO DOS EMISSORES À BAIXA PRESSÃO

Na Tabela 8 são apresentados os resultados obtidos, respectivamente, do coeficiente de uniformidade de distribuição e do coeficiente de variação de fabricação, ambos em %; e a vazão média dos emissores testados, em $L\ h^{-1}$; variáveis essas obtidas sob pressões desejadas.

Tabela 8. Valores de CUD, CVf e qmed dos emissores em função da pressão de serviço

Pressão (kPa)	CUD (%)		CVf (%)		qmed ($L\ h^{-1}$)	
	GA-4	Microjet	GA-4	Microjet	GA-4	Microjet
10	88,07	92,03	10,46	6,31	1,08	3,45
15	90,39	91,80	8,81	6,42	1,36	4,66
20	89,97	90,70	8,11	7,55	1,68	5,73
25	92,12	91,73	7,31	6,87	1,88	6,57
30	88,11	-	11,16	-	2,20	-
Média	89,73	91,56	9,17	6,79	-	-

Os valores obtidos por ambos emissores apresentaram uniformidades próximas a 90%, tendo o emissor microjet apresentado coeficientes de uniformidade um pouco maiores do que os obtidos pelo GA-4, com exceção do teste sob pressão a 25 kPa.

Segundo classificação proposta por Keller e Karmeli (1974), o CUD do emissor GA-4 para as pressões de 15 e 25 kPa classificam-se como excelentes, enquanto sob pressão de 10, 20 e 30 kPa são bons. Já o emissor microjet apresenta excelente CUD para todas as pressões avaliadas.

A diferença apresentada pelo emissor GA-4 quanto à uniformidade de distribuição, apesar de pequena, pode ser explicada por algumas situações: pela variação de temperatura da água utilizada no teste, como também, pela deposição de partículas sólidas que geram entupimentos dos emissores.

A melhora dos valores de uniformidade pode ser obtida pela adoção de práticas de manejo, como limpeza periódica mais criteriosa do sistema de filtragem, possibilitando maior

pressão nos pontos de emissão, assim como desentupimento dos gotejadores e limpeza das linhas laterais (BONOMO, 1999).

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as classificações dos coeficientes de variação de fabricação do emissor GA-4 e do emissor Microjet, respectivamente, em função das diferentes propostas encontradas na literatura.

Tabela 9. Classificação dos coeficientes de variação de fabricação do emissor GA-4

Classificação	Pressão (kPa)				
	10	15	20	25	30
	CVf				
SOLOMON (1979)	Pobre	Baixo	Baixo	Baixo	Pobre
ABNT (1986)	Médio	Bom	Bom	Bom	Médio
ISO 9260:1991	B	B	B	B	B
ASAE (2003)	Marginal	Marginal	Marginal	Marginal	Pobre

Tabela 10. Classificação dos coeficientes de variação de fabricação do emissor Microjet

Classificação	Pressão (kPa)			
	10	15	20	25
	CVf			
SOLOMON (1979)	Médio	Médio	Baixo	Médio
ABNT (1986)	Bom	Bom	Bom	Bom
ISO 9260:1991	B	B	B	B
ASAE (2003)	Médio	Médio	Marginal	Médio

De acordo com a classificação proposta por Solomon (1979) o emissor GA-4 nas pressões de 10 e 30 kPa apresenta CVf pobre, enquanto sob 15, 20 e 25 kPa classifica-se como baixo; e para o microjet, com exceção da avaliação a 20 KPa que interpreta-se como CVf baixo, para todas as outras pressões apresenta-se como CVf médio.

Segundo ABNT (1986) o emissor GA-4 sob 10 e 30 kPa enquadra-se como CVf médio, já para pressões de 15, 20 e 25 kPa e para todas as pressões impostas ao microjet o CVf é considerado como bom.

Baseando-se na classificação de ASAE (2003), o GA-4 nas pressões 10 kPa a 25 kPa enquadram-se como CVf marginal, enquanto na pressão 30 kPa o mesmo é considerado como pobre. As pressões de 10, 15 e 30 kPa impostas ao microjet apresenta CVf médio, enquanto para 20 kPa o CVf classifica-se como marginal.

Segundo a norma ISO 9260:1991 o CVf de ambos emissores é qualificado como de categoria B.

O coeficiente de variação de fabricação do emissor microjet (Tabela 10) apresentou melhores resultados quando comparado ao emissor GA-4 (Tabela 9), situação explicada pelo fato do emissor autocompensante ter recomendação de pressão de serviço a partir de 10 kPa, ao contrário do microjet que não apresenta nenhum mecanismo compensante.

Considerando os dados obtidos em função das condições impostas aos emissores, o GA-4 sob pressão de 25 kPa foi o que apresentou melhores resultados, tanto em relação ao CUD quanto ao CVf. Já para o caso do microjet os melhores resultados foram obtidos sob pressão de 10 kPa.

Dessa forma, entende-se que o CVf do emissor GA-4 apresenta variação principalmente em relação ao funcionamento da membrana compensadora, tratando-se de uma influência física.

Observa-se que o emissor microjet apresenta vazão maior que o GA-4, o que, a depender da situação, pode ser considerado como um ponto negativo, principalmente quando se refere à ideia de se disponibilizar pouca quantidade de água por vez. Para utilização do mesmo seria necessário compensar a quantidade de água aplicada com o aumento do espaçamento entre emissores para 0,90 m (Figura 13), resultando num valor próximo de volume aplicado por metro linear de mangueira quando se utiliza o emissor GA-4 espaçado a 0,30 m; dessa forma, para a confecção dos sistemas alternativos, optou-se pela não utilização do mesmo nas avaliações seguintes.

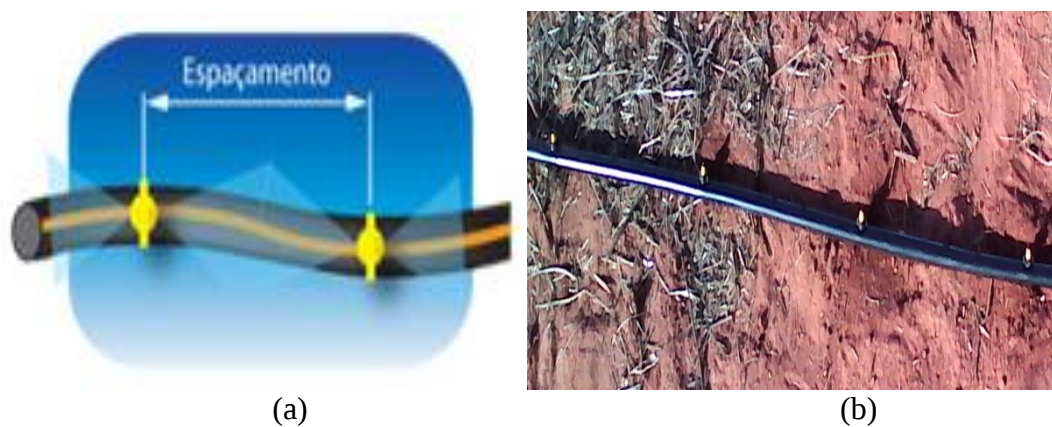


Figura 13. Espaços adotados por emissor: a) microjet e b) GA-4

Quando apenas os custos são levados em consideração ou é fator limitante, o uso do microjet pode ser recomendado, já que o volume aplicado reduz a quantidade de emissores utilizados.

4.3 CURVA CARACTERÍSTICA VAZÃO-PRESSÃO

As curvas características vazão-pressão, obtidas na mesa de testes, para ambos os emissores apresentaram valores do expoente x mais próximos a 1, sendo para o GA-4 e o microjet, respectivamente, 0,6388 e 0,7090, o que os caracterizam como de regime turbulento, já que apresentam o expoente x entre 0,5 e 0,8.

Quando o expoente x é mais próximo de 0, menor é a sensibilidade à variação de pressão, caracterizando o comportamento compensador, contudo o emissor GA-4, apesar de ser autocompensante, apresentou expoente x tendendo a 1, o que demonstra que a membrana compensadora está atuando numa faixa de pressão de serviço diferente da recomendada que é entre 100 e 500 kPa.

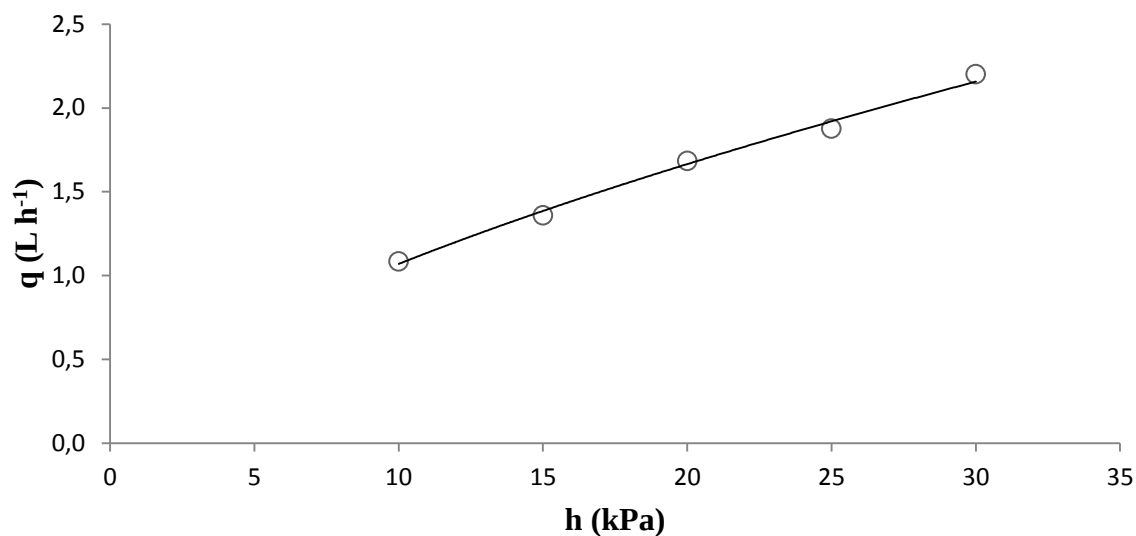
As curvas características são apresentadas na Figura 14, sendo as equações geradas para o GA-4,

$$q = 0,2456 \cdot h^{0,6388} \quad (5)$$

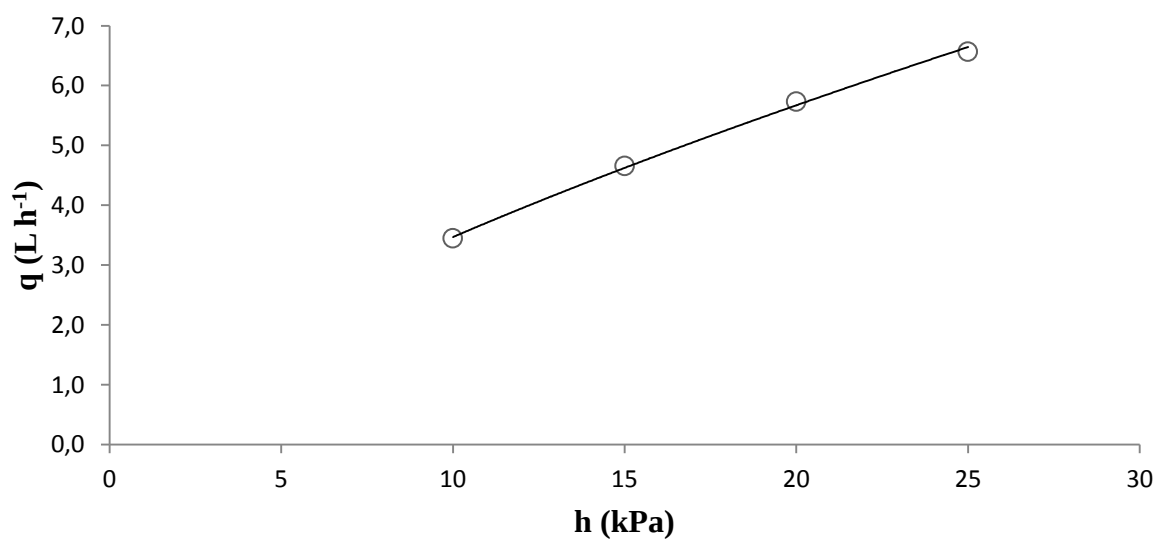
e, para o microjet,

$$q = 0,6781 \cdot h^{0,7090} \quad (6)$$

em que q é dado em $L \cdot h^{-1}$; e h é expressado em kPa; e com o coeficiente de determinação (R^2) em torno de 0,9950 e 0,9985, respectivamente, demonstrando o nível de confiabilidade da função gerada.



(a)



(b)

Figura 14. Curva característica vazão-pressão do emissor: a) GA-4 e b) microjet

4.4 VAZÃO MÉDIA DA LATERAL DISPOSTA EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO

A distribuição das linhas de emissor GA-4 testadas na bancada proporcionou o entendimento de variáveis importantes como o dimensionamento do comprimento máximo permitido em função da adoção de uma variação de vazão máxima permitida e o comportamento de aplicação de água das linhas gotejadoras. As vazões médias obtidas por pontos ou linhas, sob pressões de 10, 20 e 30 kPa são apresentadas na Tabela 11:

Tabela 11. Vazões obtidas no teste de linha lateral, sob diferentes pressões

10 kPa			20 kPa			30 kPa		
Segmento de linha	Ponto	Vazão (L h ⁻¹)	Segmento de linha	Ponto	Vazão (L h ⁻¹)	Segmento de linha	Ponto	Vazão (L h ⁻¹)
1	1	1,22	1	1	1,48	1	1	2,62
	2	1,73		2	2,03		2	2,62
	3	1,42		3	1,85		3	3,01
2	1	1,61	2	1	2,26	2	1	6,74
	2	1,50		2	1,82		2	2,26
	3	1,45		3	2,45		3	3,68
3	1	3,32	3	1	2,77	3	1	3,01
	2	2,56		2	1,55		2	5,36
	3	1,49		3	1,96		3	3,80
4	1	1,39	4	1	1,82	4	1	2,69
	2	2,64		2	1,73		2	2,45
	3	1,24		3	1,58		3	2,51
5	1	1,60	5	1	2,21	5	1	1,97
	2	1,38		2	1,94		2	2,16
	3	1,43		3	1,94		3	1,99
6	1	2,39	6	1	3,42	6	1	3,94
	2	1,54		2	2,16		2	2,82
	3	1,45		3	2,04		3	3,38
Média		1,74	Média		2,06	Média		3,17

Apesar de o teste ter sido realizado com temperatura da água em condição diferente da mesa de testes, a 46°C, houve um aumento de vazão acima do normal em alguns pontos coletados, o que pode ser explicado pelo fato de alguns emissores já apresentarem funcionamento anormal, onde a membrana compensadora não conseguiu regular o fluxo.

Levando em consideração os dados obtidos e através da equação gerada para o emissor GA-4 (equação 5) podemos obter a vazão ajustada, servindo para comprovação da confiabilidade dos dados disponíveis, apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Comparação entre as vazões médias obtidas na mesa de teste, na lateral e ajustadas, sob pressões avaliadas

Pressão (kPa)	Vazão na mesa (L h^{-1})	Vazão na lateral (L h^{-1})	Vazão ajustada (L h^{-1})
10	1,08	1,74	1,07
20	1,68	2,06	1,66
30	2,20	3,17	2,16

Com o ajuste das vazões médias pode-se observar uma aproximação mais coerente com os dados resultantes da mesa de teste, contudo ainda é evidente a influência do aumento da temperatura na descarga dos emissores, juntamente com os efeitos inerentes aos processos de fabricação e atuação dos emissores.

O valor elevado da temperatura da água é comum quando são oriundas dos poços da região, o que demonstra a fidelidade prática da avaliação. A temperatura da água na realização do teste na mesa esteve entre 26°C e 28°C.

4.5 VARIAÇÃO DE VAZÃO PERMITIDA

Considerando a proposta de Keller e Karmeli (1975), em que a relação potencial entre perda de carga e a variação de vazão, ou seja, a variação de vazão e a variação de pressão são dependentes, observaram-se os limites dessa relação para as pressões de 10, 20 e 30 kPa, como segue na Tabela 13.

Tabela 13. Vazões mínimas ($q_{\text{mín}}$) obtidas com a variação de vazão (Δq) sob diferentes pressões (h)

h (kPa)	$q_{\text{máx}}$ (L h^{-1})	Δq (%)					
		7	10	12	15	17	20
		$q_{\text{mín}}$ (L h^{-1})					
10	1,07	1,00	0,96	0,94	0,91	0,89	0,86
20	1,66	1,54	1,49	1,46	1,41	1,38	1,33
30	2,16	2,01	1,94	1,90	1,84	1,79	1,73

4.6 VARIAÇÃO DE PRESSÃO PERMITIDA

Para determinar a tolerância de pressão em função da variação de vazão, calculou-se as variações de vazão permitidas com base na vazão calculada no início da linha lateral. É importante ressaltar que a variação de vazão tanto pode ser para mais como para menos. Dessa forma utilizou-se a proposta mencionada por Rodrigo López et al. (1992), em que é adotada uma variação de vazão e conhecendo-se o expoente x , se obtêm a variação de pressão permitida, através da equação:

$$\frac{h_{\text{máx}}}{h_{\text{mín}}} = \left(\frac{q_{\text{máx}}}{q_{\text{mín}}} \right)^{\frac{1}{x}} \quad (7)$$

em que $h_{\text{máx}}$ é a pressão máxima permitida; $h_{\text{mín}}$ é a pressão mínima permitida; $q_{\text{máx}}$ é a vazão máxima permitida; $q_{\text{mín}}$ é a vazão mínima permitida; e x é o expoente de descarga.

Adota-se como pressão máxima permitida ($h_{\text{máx}}$) e vazão máxima permitida ($q_{\text{máx}}$) a pressão aplicada na entrada da subunidade de trabalho e a vazão relativa a ela, respectivamente. Sendo a pressão mínima permitida ($h_{\text{mín}}$) resultante das variáveis citadas com a vazão mínima permitida ($q_{\text{mín}}$) adotada com base na Tabela 13 mencionada anteriormente.

Nas Tabelas 14, 15 e 16 é apresentada a determinação das variáveis citadas, disponibilizando a relação entre a variação de vazão com a pressão.

Tabela 14. Tolerância de pressão (Δh) em função da variação de vazão (Δq), na pressão máxima permitida ($q_{\text{máx}}$) de 10 kPa

Δq (%)	$q_{\text{mín}}$ (L h ⁻¹)	$q_{\text{máx}}$ (L h ⁻¹)	x	$h_{\text{mín}}$ (kPa)	$h_{\text{máx}}$ (kPa)	Δh (%)
7	1,00	1,07	0,6388	8,93	10,00	10,74
10	0,96	1,07	0,6388	8,48	10,00	15,21
12	0,94	1,07	0,6388	8,19	10,00	18,14
15	0,91	1,07	0,6388	7,75	10,00	22,46
17	0,89	1,07	0,6388	7,47	10,00	25,30
20	0,86	1,07	0,6388	7,05	10,00	29,48

Tabela 15. Tolerância de pressão (Δh) em função da variação de vazão (Δq), na pressão máxima permitida ($q_{\text{máx}}$) de 20 kPa

Δq (%)	q_{min} (L h ⁻¹)	$q_{\text{máx}}$ (L h ⁻¹)	x	$h_{\text{mín}}$ (kPa)	$h_{\text{máx}}$ (kPa)	Δh (%)
7	1,54	1,66	0,6388	17,85	20,00	10,74
10	1,49	1,66	0,6388	16,96	20,00	15,21
12	1,46	1,66	0,6388	16,37	20,00	18,14
15	1,41	1,66	0,6388	15,51	20,00	22,46
17	1,38	1,66	0,6388	14,94	20,00	25,30
20	1,33	1,66	0,6388	14,10	20,00	29,48

Tabela 16. Tolerância de pressão (Δh) em função da variação de vazão (Δq), na pressão máxima permitida ($q_{\text{máx}}$) de 30 kPa

Δq (%)	q_{min} (L h ⁻¹)	$q_{\text{máx}}$ (L h ⁻¹)	x	$h_{\text{mín}}$ (kPa)	$h_{\text{máx}}$ (kPa)	Δh (%)
7	2,01	2,16	0,6388	26,78	30,00	10,74
10	1,94	2,16	0,6388	25,44	30,00	15,21
12	1,90	2,16	0,6388	24,56	30,00	18,14
15	1,84	2,16	0,6388	23,26	30,00	22,46
17	1,79	2,16	0,6388	22,41	30,00	25,30
20	1,73	2,16	0,6388	21,16	30,00	29,48

4.7 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO IDEAL DA LINHA LATERAL

Com base nas tabelas apresentadas foi possível se determinar até que ponto a lateral mantém a vazão dos emissores na faixa desejada, o que significa na determinação do comprimento máximo permitido da linha lateral.

As tabelas anteriores servem como parâmetro para a configuração dos sistemas alternativos de baixo custo. Dessa forma, o teste de linha lateral gerou valores de diferenças de pressão nos pontos em que foram instalados os conectores, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Leitura de pressões na lateral de teste sob pressão de 10, 20 e 30 kPa, em laboratório

10 kPa			20 kPa			30 kPa		
Segmento de linha	Ponto	Pressão (kPa)	Segmento de linha	Ponto	Pressão (kPa)	Segmento de linha	Ponto	Pressão (kPa)
1	1	10,00	1	1	20,00	1	1	30,00
	2	8,39		2	18,05		2	29,74
2	1	8,39	2	1	18,05	2	1	29,74
	2	8,25		2	17,98		2	29,25
3	1	8,25	3	1	17,98	3	1	29,25
	2	8,27		2	17,88		2	29,24
4	1	8,27	4	1	17,88	4	1	29,24
	2	8,21		2	17,89		2	29,35
5	1	8,21	5	1	17,89	5	1	29,35
	2	8,17		2	17,85		2	28,95
6	1	8,17	6	1	17,85	6	1	28,95
	2	8,09		2	17,77		2	28,88

Como podem ser observadas, as leituras do fim de cada segmento de linha e início do segmento posterior foram consideradas iguais, já que a distância entre as mesmas era reduzida. Esta determinação foi realizada em termos práticos, contudo é sabido que as conexões utilizadas causam uma perda de carga localizada.

De acordo com os dados pode-se observar ao longo da linha lateral um decréscimo na pressão de entrada, porém, em todas as pressões testadas houve segmentos de linha que tiveram um leve aumento, como no teste a 10 kPa do segundo segmento para o terceiro, a 20 kPa do terceiro para o quarto e a 30 kPa também do terceiro para o quarto segmento. Este aumento na pressão pode ser explicada pelo ganho de energia de posição proporcionado, possivelmente, pelo posicionamento dos emissores, que foram inseridos orientados pela linha contínua presente nas mangueiras, entretanto, no momento da instalação pode-se verificar pequenas variações. O nível (topográfico) do local de instalação das linhas laterais também pode ter influenciado essa variação.

Considerando a pressão de entrada e a pressão lida em cada segmento de linha lateral, determinou-se a variação de pressão permitida pela diferença entre as mesmas, resultando na Tabela 18.

Tabela 18. Variação de pressão na lateral sob pressão de 10, 20 e 30 kPa

10 kPa			20 kPa			30 kPa		
Segmento de linha	Ponto	Variação de Pressão (%)	Segmento de linha	Ponto	Variação de Pressão (%)	Segmento de linha	Ponto	Variação de Pressão (%)
1	1	0,00	1	1	0,00	1	1	0,00
	2	-16,10		2	-9,75		2	-0,87
2	1	-16,10	2	1	-9,75	2	1	-0,87
	2	-17,50		2	-10,10		2	-2,50
3	1	-17,50	3	1	-10,10	3	1	-2,50
	2	-17,30		2	-10,60		2	-2,53
4	1	-17,30	4	1	-10,60	4	1	-2,53
	2	-17,90		2	-10,55		2	-2,17
5	1	-17,90	5	1	-10,55	5	1	-2,17
	2	-18,30		2	-10,75		2	-3,50
6	1	-18,30	6	1	-10,75	6	1	-3,50
	2	-19,10		2	-11,15		2	-3,73

Como o objetivo do estudo é desenvolver um sistema de irrigação alternativo de baixo custo disponível a pequenos agricultores familiares, o teste da linha lateral utilizou o comprimento máximo de 18 m, o que é compatível com propostas da NETAFIM, o Kif Net, de 16 m (Figura 14), assim como sistemas mencionados por Sijali, (2001) com 15 m de comprimento.

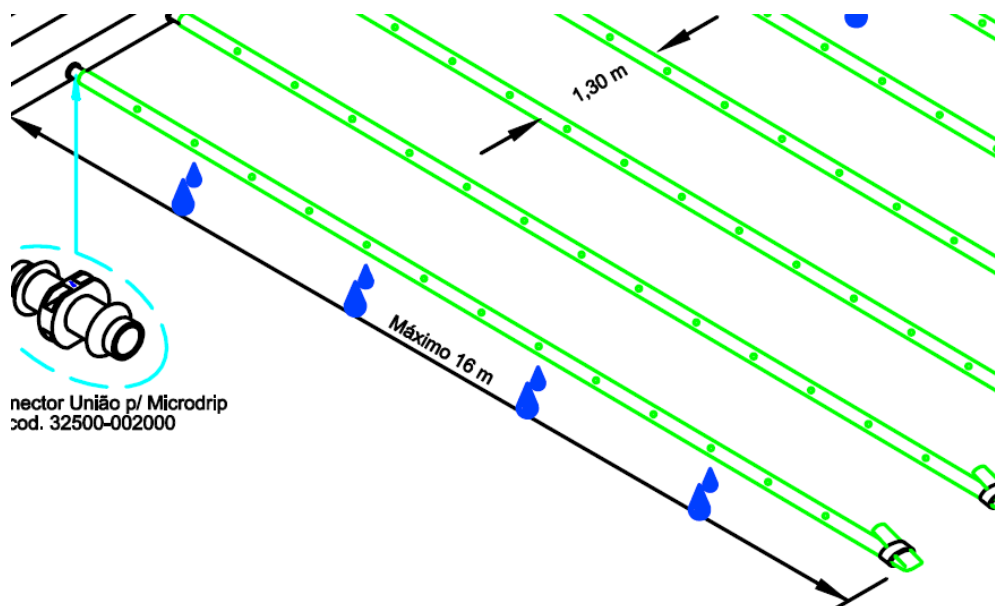


Figura 15. Kit “KIF NET” da NETAFIM

Como utilizou-se no teste segmentos de linha também foi possível observar o comportamento da lateral em seções menores, como proposto no sistema da PLASTIFORTE SRL, com 5 m, em seu programa AGUA TUYA, conforme Figura 16.

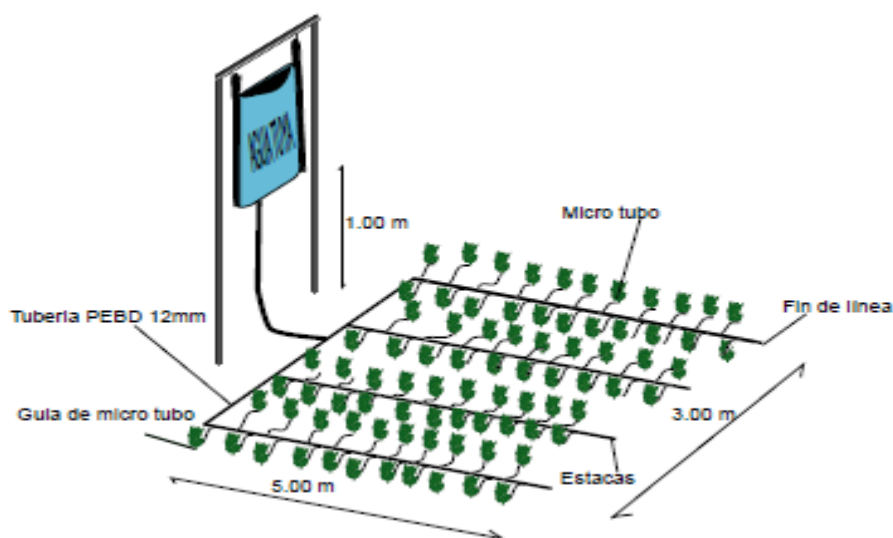


Figura16. Kit de nutrição familiar da PLASTIFORTE SRL

Conforme recomendado por Keller e Karmeli (1975) e Merriam e Keller (1978), adotou-se uma variação de vazão máxima permitida de 10%, o que resultou nos comprimentos de linha máximos permitidos.

Dessa forma, quando submetido a uma pressão de 10 kPa com variação de 10% de vazão, a variação máxima de pressão permitida foi de 15,21%, limite este já ultrapassado no

primeiro segmento de linha lateral que foi 16,10% de variação de pressão. Assim, o comprimento total da linha lateral com 3 m está fora dos limites permitidos de variação de pressão. Entretanto, para efeito de dimensionamento, um reajuste de variação de vazão permitida para um valor maior, no caso de 12%, permitiria um comprimento de linha lateral de até 12 m, ou seja, uma lateral com 4 segmentos de linha.

O sistema submetido a uma pressão tão pequena como é 10 kPa, está mais susceptível as variações de carga hidráulica, o que a depender do comprimento de linha e da declividade do terreno pode comprometer a uniformidade de distribuição significativamente.

SOUZA et al. (2005) avaliando sistemas de irrigação, encontraram para um sistema alternativo variação de vazão ao longo da linha lateral superior ao limite máximo recomendado, com valores médios acima de 50%. Os autores citam, ainda, que os sistemas apresentaram comprimento da linha lateral superior ao recomendado pelos critérios do fabricante do equipamento. Desse modo foi um dos fatores que contribuíram para os baixos valores de uniformidade calculados e para a grande variação dos valores amostrados de vazão do sistema de irrigação.

Recomenda-se a elevação do reservatório numa faixa de 1 a 3 m de altura mais comumente, porém este valor pode atingir até 5 m de altura. É importante salientar que a depender do tipo de reservatório acrescenta-se a altura do mesmo, ou seja, quando recomenda-se a elevação do reservatório a 1 m de altura, contabiliza-se ainda a altura desse, resultando na carga hidráulica total do sistema.

À medida que o sistema é acionado, há a diminuição da carga hidráulica, devido o escoamento de água do reservatório. Para evitar essa variação de pressão poder-se-ia utilizar um reservatório como fonte alimentadora para outro munido de boia que manteria a carga constante para o sistema; ou utilizar-se de um sistema de bombeamento com regulagem da pressão de serviço desejada, semelhante ao realizado nesse estudo.

Para a implantação em campo, destinados a agricultores familiares com poucos recursos financeiros, locais com indisponibilidade de energia elétrica ou mesmo disponível a um custo muito elevado, recomenda-se a utilização do sistema alternativo por gravidade.

4.8 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO KIT COMERCIAL

Usando o procedimento descrito na metodologia proposta por Merriam e Keller (1978), o coeficiente de uniformidade de distribuição do sistema comercial em campo apresentou os seguintes resultados, conforme Tabela 19.

Tabela 19. Coeficientes de uniformidade de distribuição do kit da John Deere Water (Plastro)

Pressão (kPa)	CUD (%)
10	83,72
20	89,54
30	95,46

De acordo com os dados obtidos, pode-se observar que o kit comercial apresenta valores de uniformidade boa para as pressões de 10 e 20 kPa e excelente para 30 kPa. Observa-se que com o aumento da pressão há um aumento de uniformidade de distribuição, semelhante ao obtido por Ella, Reyes e Yoder (2009) que apresentaram resultados de aumento da uniformidade com aumento da carga hidráulica, com altura do reservatório variando de 1 a 3 m, sendo fixa a declividade.

Pode-se concluir também que quanto menor a carga hidráulica, maior a interferência de fatores externos na uniformidade do sistema como a declividade da área, o comprimento da linha lateral.

4.9 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO KIT ALTERNATIVO

A avaliação de uniformidade do kit alternativo resultou na configuração da Tabela 20. O comportamento do kit alternativo foi semelhante ao do comercial, também apresentando com o aumento da pressão uma maior uniformidade.

Tabela 20. Coeficientes de uniformidade de distribuição do kit alternativo

Pressão (kPa)	CUD (%)
10	72,95
20	93,86
30	95,02

Para a pressão de 10 kPa o kit alternativo apresentou-se, aproximadamente, 20% menor, classificando-o como regular, resultado da interação da baixa pressão com a perda de energia principalmente, de posição. A área do teste apresenta uma leve ondulação, o que provoca ganhos e perdas de energia de posição em determinados pontos da linha lateral, o que é bem comum num processo de preparo de canteiros, seja ele mecanizado ou manual.

Para sistemas alternativos Souza (2000) observou valor médio do coeficiente de uniformidade de distribuição igual a 72,8% (sendo 70% e 73%, para “tubo-de-geladeira” e 73% e 75%, para “gravatinha”), ou seja, abaixo do valor recomendado considerando sistemas localizados. Da mesma forma, Chamon (2002) obteve resultado de CUD considerado ruim (69,5%) para um sistema alternativo (“caninho-de-geladeira”).

Outros trabalhos com irrigação para agricultura familiar apresentaram resultados semelhantes. Keller et al. (2001), trabalhando em Bangladesh com tubos de polietileno com perfurações de 0,8 mm, obtiveram uma uniformidade de distribuição de 85%. Na África do Sul, Karlberg et al. (2007) utilizaram microtubos com vazões de 2,5 L h⁻¹ e uniformidade de distribuição de água de 85%. Polak, Nanes e Adhikari (1997), no Nepal e na Índia, utilizaram linhas laterais com furos de 0,7 mm, obtidos com a utilização de agulhas aquecidas, e a uniformidade do sistema ficou entre 73 e 84%.

Em trabalhos realizados no Brasil, Nascimento (2006), utilizando irrigação por gravidade com tubos gotejadores, obteve uma uniformidade de distribuição de 90%. Souza, Pérez e Botrel (2006), trabalhando com microtubos em canteiros, obtiveram uma uniformidade de 97%. Souza e Botrel (2005), também com microtubos, obtiveram uma uniformidade de 87% em um pomar de citros.

4.10 COMPORTAMENTO DO EXPOENTE x NOS KITS INSTALADOS EM CAMPO

O expoente x além de demonstrar o comportamento do fluxo de água no sistema, também contribui para a indicação do tipo de emissor que está sendo trabalhado e como o mesmo funciona. Na Tabela 21 são apresentados os valores de pressão e vazão do primeiro emissor mais próximo a entrada do sistema obtidos na avaliação em campo e nas Tabelas 22 e 23 são apresentados os valores de x obtidos nas situações impostas de variação de vazão e pressão por emissor, através da equação (4). A escolha das linhas para avaliação como mencionado foi por meio da proposta de Merriam e Keller (1978).

Tabela 21. Valores de pressão e vazão dos primeiros emissores de cada linha lateral

Hydrogol		GA-4	
h	q1	h	q1
(kPa)	(L h ⁻¹)	(kPa)	(L h ⁻¹)
10	0,1760	10	0,5790
20	0,3060	20	0,8940
30	0,4300	30	1,1280

Tabela 22. Valores de x obtidos no sistema comercial

Situações aplicadas	Δh (%)	Δq (%)	x
10 - 20	100	73,86	0,7980
10 - 30	200	144,32	0,8131
20 - 30	50	40,52	0,8390

Tabela 23. Valores de x obtidos no sistema alternativo

Situações aplicadas	Δh %	Δq %	x
10 - 20	100	54,40	0,6267
10 - 30	200	94,82	0,6070
20 - 30	50	26,17	0,5734

Podemos observar que o emissor hydrogol do kit comercial apresenta um aumento no valor de x à medida que se aumenta a carga hidráulica, o que o caracteriza como de fluxo turbulento com x entre 0,5 e 0,8.

Para o emissor GA-4 os valores de x vão tendo um decréscimo tendendo a 0, o que nos demonstra o efeito da membrana flexível compensadora, contudo, devido às pressões impostas no teste serem menores que as recomendadas, ainda não há o efeito compensador por completo.

4.11 FORMAÇÃO DE BULBO MOLHADO

Os dados referentes à formação de bulbo no campo, após aplicação de água pelo sistema comercial testado, são apresentados na Tabela 24 e na Figura 17. Observa-se que devido ao tipo de solo ser praticamente todo composto por areia, a formação do bulbo tende a ocorrer mais em profundidade do que lateralmente.

Tabela 24. Dimensões do bulbo molhado do sistema comercial observadas no campo, utilizando o sistema comercial

Pressão (kPa)	10		20		30	
Tempo (min)	30	60	30	60	30	60
Diâmetro superficial (cm)	23	21	20	23	23	22
Diâmetro médio (cm)	21	20	14	29	32	32
Profundidade (cm)	10	11	20	24	28	32

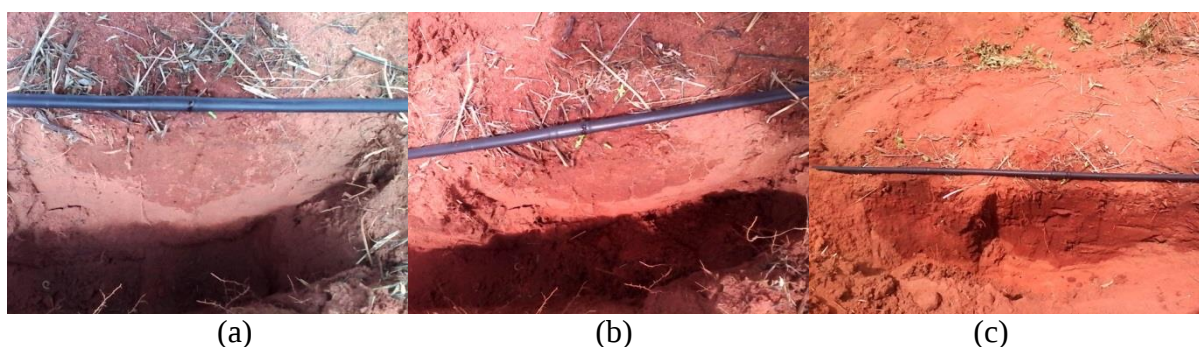


Figura 17. Bulbo molhado do kit comercial: a) 10 kPa, b) 20 kPa e c) 30 kPa

A aplicação de água pelo kit alternativo (Figura 18) proporcionou uma faixa molhada contínua já a partir dos 30 minutos, seguindo o mesmo padrão de molhamento, aos 60 minutos, quando comparado ao kit comercial. Dessa forma, não foi possível obter dados mais precisos do bulbo.



Figura 18. Bulbo molhado do kit alternativo

4.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições em que os ensaios foram conduzidos, seguindo as orientações técnicas, verifica-se que:

- a) para o sucesso de um sistema de irrigação de baixo custo é necessário à utilização de emissores de qualidade, pois a partir dos mesmos é que se detêm a maior contribuição para a obtenção de uma uniformidade adequada dos sistemas;
- b) ambos emissores testados em laboratório apresentaram uniformidade de distribuição em torno de 90%, classificando-os como de excelentes a boas uniformidades;
- c) os valores obtidos de CVf para o emissor GA-4 foram influenciados pela pressão aplicada que foi menor do que a recomendada;
- d) o regime de fluxo foi identificado como turbulento tanto para o GA-4 quanto para o microjet;
- e) a temperatura da água tem influência na obtenção das vazões médias;
- f) quanto menor a carga hidráulica maior a variação de pressão no decorrer da linha lateral, o que resulta na utilização de menores comprimentos quando utilizadas menores pressões;
- g) quanto menor a carga hidráulica, maior a interferência de fatores externos na uniformidade do sistema como a declividade da área e o comprimento da linha lateral;
- h) o sistema alternativo apresentou no geral, valores de CUD melhores que o sistema comercial, contudo o sistema comercial possibilita uma maior área de abrangência para irrigação;
- i) o x do sistema alternativo apresenta um decréscimo à medida que a pressão de entrada aumenta, demonstrando o comportamento compensante do emissor GA-4;
- j) ambos os sistemas possibilitaram a formação de uma faixa molhada, contudo se mostra necessário a utilização de mais linhas laterais por canteiro ou a diminuição da largura dos canteiros.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que os sistemas de irrigação localizada de baixo custo demonstraram viabilidade de uso adequado quando em baixa pressão (10, 20 e 30 kPa).

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Requisitos mínimos para elaboração de projetos de sistemas de irrigação localizada. PNBR 12:02-08-022. São Paulo: ABNT, 18p., 1986.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2012. Ed. Especial. Brasília, DF. 215p., 2011.
- ANDRADE, L. Avaliação hidráulica e de resistência à tração de dois modelos de mangueiras gotejadoras. 2005. 76p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- ASAE EP458. American Society of Agricultural Engineers. Field evaluation of microirrigation systems. ASAE Standards 1998, EP 458. St. Joseph: ASAE, 7p., 1998
- ASAE EP405.1. American Society of Agricultural Engineers. Design and installation of microirrigation systems. ASAE Standards 1998, EP 405.1. St Joseph: ASAE, 6p., 2003.
- AWULACHEW, S.B.; LEMPERIERE, P.; TULU, T. Training manual on agricultural water management. IWMI, ILRI, Adama University, Ethiopia, 235 p., 2009.
- AZEVEDO, C.A.V.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J.; MEDEIROS, M.G.A.; Performance hidráulica e perfil de distribuição de água do microaspersor NAAN 7110, sob diferentes condições de vento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.1, p.57-61, 1997.
- BELDER, P.; ROHRBACH, D.; TWOMLOW, S.; SENZANJE, A. Can drip irrigation improve the livelihoods of smallholders? Lessons learned from Zimbabwe. Global Theme on Agroecosystems Report n.33. Bulawayo, Zimbabwe: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 32p., 2007.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8º ed. Viçosa: Ed. UFV, 625p., 2006.
- BONOMO, R. Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais. 1999. 224p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.
- BRALTS, V.F.; KESNER, C.D. Drip irrigation field uniformity estimation. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.26, n.5, p. 1369-1374, 1983.
- BURT, C.M.; STYLES, S.W. Drip and microirrigation for trees, vines, and row crops. San Luis Obispo: The Irrigation Training & Research Center, 261p, 2000.
- CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. Estudo de otimização energética. CEMIG: Belo Horizonte. 22p., 1993.

CHAMON, O. Estudo comparativo da demanda de água e do manejo em sistemas de irrigação em lavouras de café. 2002. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2002.

CLEMMENS, A.J.; SOLOMON, K.H. Estimation of global irrigation distribution uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.123, n.6, p. 454-461, 1997.

COELHO, E.F.; SILVA, T.S.M.; PARIZOTTO, I.; SILVA, A.J.P.; SANTOS, D.B. Sistema de irrigação para agricultura familiar. Circular Técnica 106, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 7p., 2012.

COSTA, M.C. Caracterização hidráulica de dois modelos de microaspersores associados a três reguladores de fluxo e um mecanismo de pulso. 1994. 109p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 1994.

DAKA, A.E. Experiences with micro agricultural water management technologies: Zambia. International Water Management Institute (IWMI): Southern Africa Sub-Regional Office. Pretória, África do Sul, 40p., 2006.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J.T.L.; SEDIYAMA, G.C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Ceres*, Viçosa, v.27, n.50, p.155-162, 1980.

DHAWAN, B. Drip irrigation: evaluating returns. *Economic and Political Weekly* 14 October: India, p.3775-3780, 2000.

ELLA, V.B.; REYES, M.R.; YODER, R. Effect of hydraulic head and slope on water distribution uniformity of a low cost drip irrigation system. *Applied Engineering in Agriculture*, ASABE, v.25, n.3, p.349-356. 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solo. Embrapa: Brasília, 412 p., 1999.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security, *FAO Water Reports* 38. Rome, 80p., 2012.

FAVETTA, G.M.; BOTREL, T.A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. *Revista Scientia Agrícola*, Piracicaba, SP, v.58, n.2, p.427-430, 2001.

FIGUEIRÊDO, V.B. Evapotranspiração, crescimento e produção da melancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades. 2008. 104p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.

FIGUEIRÊDO, V.B.; MEDEIROS, J.F.; ZOCOLER, J.L.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.2, p.231-240, 2009.

GARCIA, C.J.B. Avaliação técnica de tubos emissores para irrigação localizada. 2006. 63p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006.

GIL, M.; RODRIGUES-SINOBAS, L.; JUANA, L.; SÁNCHEZ, R.; LOSADA, A. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: Effect on water application uniformity. *Irrigation Science*, New York, v.26, n.6, p.451-458, 2008.

GILAAD, Y.; KRISTAL, L.; EANKER, K. Hydraulic and mechanical properties of drippers. *International Drip Irrigation Congress*, 2, Proceedings... San Diego: University of California, v.2, p.311-316, 1974.

HOWELL, T.A.; HILLER, C.A. Trickle irrigation lateral design. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.17, n.5, p.902-908, 1974.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. IBGE, Rio de Janeiro, 777p., 2009.

KARLBERG, L.; ROCKSTROM, J.; ANNANDALE, J.G.; STEYN, J.M. Low-cost drip irrigation - A suitable technology for southern Africa? An example with tomatoes using saline irrigation water. *Agricultural Water Management*, v.89, n.01, p.59-70, 2007.

KELLER, J.; ADHIKARI, D.L.; PETERSEN, M.R.; SURYAWANSHI, S. Engineering low-cost micro-irrigation for small plots. *International Development Enterprises*, 25p., 2001.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand, New York, 652p., 1990.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.17, n.4, p.678-684, 1974.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design. Glendora: Rain Bird Sprinkle Manufacturing, 1975.

LEVIEN, S.L.A.; FIGUEIRÊDO, V.B. Metodologia simplificada para a estimativa em campo da uniformidade de sistemas de irrigação por gotejamento superficial. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v.7, n.5, p. 290-299, 2013.

LIMA, V.L.A. Caracterização hidráulica de tubulações laterais em microaspersão utilizando microtubos como dissipadores de energia. 1991. 11p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1991.

MACKAY, H. Low cost micro irrigation technologies for the poor. Nova Delhi: Department for Infrastructure and Urban Development, 37p., 2003.

MAHAMADOU, O.A. Diffusion des systèmes d'irrigation goutte-à-goutte dans la zone péri-urbaine de Niamey et dans la région de Dosso au Niger. *Mémoire de Fin d'études*, l'Institut de Formation et de Recherche: Appliquée IPR/IFRA de Katibougou, Mali, 2005.

MAYERS, L.E.; BUCKS, D.A. Uniform irrigation with low-pressure trickle system. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, Reston, v.100, n.3, p.341-347, 1972.

MENDES, W.C.R. Avaliação da irrigação localizada sistema xique-xique. 1989. 105p. Dissertação (Mestrado Irrigação e Drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1989.

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

MERRY, D.J.; NAMARA, R.; DE LANGE, M. Agricultural water management technologies for small-scale farmers in Southern Africa: an inventory and assessment of experiences, good practices and costs. International Water Management Institute, Pretoria, South Africa. 105 p., 2006.

MIN. Ministério da Integração Nacional. Irrigação: panorama e perspectivas. Relatório Final. MIN/IICA. Brasília, DF, 76p., 2007.

NAMARA, R.E., NAGAR, R.K., UPADHYAY, B. Economics, adoption determinants, and impacts of micro-irrigation technologies: empirical results from India. *Irrigation Science*, v.25, n.3, p.283–297, 2007.

NASCIMENTO, J.M.S. Desenvolvimento e avaliação hidráulica de um sistema de gotejamento por gravidade para pequenas propriedades. 2006. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

PEREIRA, L.S. Necessidades de água e métodos de rega. Publicações Europa- América, Mem Martins, Portugal, 312p., 2004.

PHOCAIDES, A. Handbook on pressurized irrigation techniques. 2º ed. FAO: Roma, 282p., 2007.

PIRES, R.C.M., ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R.O.; BRUNINI, O. Agricultura irrigada. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, Campinas, v.1, n.1, p. 98-111, 2008. (Água na Agropecuária, Série Técnica Apta).

PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 5. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 461p., 1990.

PLASNOVA TUBOS. Catálogo Plasnova. Disponível em: <http://www.plasnovatubos.com.br/microjet_plasnova.html>. Acesso em: 10 dez. 2013.

POLAK, P.; NANES, B.; ADHIKARI, D.A. Low cost drip irrigation system for small farmers in developing countries. *Journal of the American Water Resources Association*, v.33, n.1, p.119–124, 1997.

PORTO, E.R; SILVA, A.S; BRITO, L.T.L. Conservação e uso racional de água na agricultura dependente de chuvas. In: MEDEIROS, S.S., GHEYI, H.R., GALVÃO, C.O., PAZ, V.P.S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, p.59-85, 2011.

POSTEL, S.L.; POLAK, P.; GONZALES, F.; KELLER, J. Drip irrigation for small farmers. A new initiative to alleviate hunger and poverty. *Water International*, v.26, n.1, p.3–13, 2001.

RODRIGO LÓPEZ, J.; HERNÁNDEZ ABREU, J.M.; PEREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNANDEZ, J.F. Riego localizado. MAPA-YRIDA, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 405p., 1992.

SAMMIS, T.W.; WU, I.P. Effect of drip irrigation design and management on crop yield. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.28, n.4, p.832-837, 1985.

SIJALI, I.V. Drip irrigation: options for smallholder farmers in Eastern and Southern Africa. *Technical Handbook*, n.24. Regional Land Management Unit, 54p., 2001.

SILVA, J.G.F.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Irrigação localizada. In: MIRANDA, J.H; PIRES, R.C.M. (ed) Irrigação. SBEA, Jaboticabal, v.2, Série Engenharia Agrícola, p.259-309, 2003

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.

SOUZA, L.O.C. Análise técnica de sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na cafeicultura irrigada. 2000. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

SOUZA, J.A.R.; DENÍCULI, W.; BATISTA, R.O.; VAL, J.C.C.; MATOS, A.T. Suscetibilidade ao entupimento de microaspersores operando com água residuária de bovinocultura. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.13, n.3, p.155-160, 2005.

SOUZA, R.O.R.M. Modelagem, desenvolvimento de software para dimensionamento, e avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento com microtubos. 2005. 100p. Tese (Doutorado em Agronomia), ESALQ/USP, Piracicaba, 2005.

SOUZA, R.O.R.M.; BOTREL, T.A. Simulação hidráulica e avaliação de um sistema de irrigação localizada com microtubos em um pomar de citros. *Engenharia Rural*, v.16, n.1, p.1-7, 2005.

SOUZA, R.O.R.M.; PÉREZ, G.F.E.; BOTREL, T.A. Irrigação localizada por gravidade com microtubos. *Irriga*, Botucatu, v.11, n.2, p.366-279, 2006.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. Localized irrigation. Rome, FAO, 204p., 1984. (FAO Irrigation and Drainage Paper 36).

VON BERNUTH, R; SOLOMON, K.H. Emitter construction. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Trickle irrigation for crop production: design, operation and management. ASAE, Chapter 2, p.27-52, 1986.

WOLTERING, L.; PASTERNAK, D.; NDJEUNGA, J. The african market garden: the development of a low-pressure drip irrigation system for smallholders in the Sudano Sahel. *Irrigation and Drainage*, v.60, n.5, p.613-621, 2011.