

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS GROGENSKI MELOCA

INFLUÊNCIA DA POLIACRILAMIDA NA AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO E
FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO

JANDAIA DO SUL

2019

LUCAS GROGENSKI MELOCA

INFLUÊNCIA DA POLIACRILAMIDA NA AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO E
FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Agrícola, Campus
Avançado Jandaia do Sul, Universidade Federal
do Paraná, como pré-requisito para a obtenção
do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: André Luiz Justi.

JANDAIA DO SUL

2019

M528i Meloca, Lucas Grogenski
Influência da poliacrilamida na avaliação da irrigação e fertirrigação com
vinhaça em sistema de gotejamento. / Lucas Grogenski Meloca. – Jandaia do
Sul, 2019.
47 f.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Justi
Trabalho de Conclusão do Curso (graduação) – Universidade Federal do
Paraná. Campus Jandaia do Sul. Graduação em Engenharia Agrícola.

1. Irrigação. 2. Fertirrigação. 3. Vinhaça. 4. Poliacrilamida. 5. Avaliação
de uniformidade. 6. Irrigação por gotejamento. I. Justi, André Luiz. II. Título.
III. Universidade Federal do Paraná.

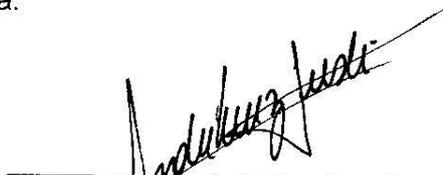
CDD: 631

TERMO DE APROVAÇÃO

LUCAS GROGENSKI MELOCA

INFLUÊNCIA DA POLIACRILAMIDA NA AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, Campus Avançado Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.



Prof. Dr. André Luiz Justi

Orientador – Campus Avançado Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná



Prof. Dr. Maycon Diego Ribeiro

Campus Avançado Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná



Prof. Dr. Carlos Henrique W. de Souza

Campus Avançado Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná

Jandaia do Sul, 17 de Dezembro de 2019.

Ao meu avô Augusto Grogenski (*in memoriam*), pelo carinho e por ter sonhado com esse momento.

(*Dedico*)

Aos meus pais, Pedro e Lucileide, e a minha irmã Ana Clara que sempre me apoiaram, estando do meu lado em todos os momentos, não medindo esforços para a minha formação, os quais eu não tenho palavras para expressar tamanho amor.

(*Ofereço*)

AGRADECIMENTOS

- Agradeço primeiramente a Deus, e ao seu amor incondicional.
- A minha avó Rosa, que sempre mostrou presente, me mostrando o valor da família e de nunca desistir.
- Aos meus padrinhos, Marlene e Miguel por nunca desistirem de mim, e por serem como meus segundos pais.
- Aos irmãos, Edson, José (Zézinho) e Zélia por ter me ensinado os valores da humildade e simplicidade.
- Ao meu orientador e grande amigo, André Luiz Justi, por estar comigo desde o começo, me mostrando o caminho de se tornar um profissional.
- Ao técnico Jailson, por ter ajudado em diversas situações e por mostrar força de vontade em inúmeras vezes.
- A todos meus amigos que estiveram junto comigo nesse caminho, me mostrando o valor da amizade verdadeira, em especial ao Igor Cedran, Bruno Lago, Carlos Eduardo, William José e Feola.
- A todas as pessoas que demonstraram amor e carinho durante minha graduação.
- Aos meus colegas de turma, que sempre caminharam juntos comigo, passando pelas mesmas situações.
- Aos meus professores que passaram seus conhecimentos para nós, e nos dando um presente que nunca será retirado de nossas mentes.
- A coordenação do curso, por sempre atender com boa vontade e total apoio aos seus alunos.
- A Universidade Federal do Paraná, que me abrigou durante esses anos de luta, e que hoje se torna uma casa e uma família para mim.
- Ao meu amigo Anderson, que sempre me ajudou mostrando o grande valor de sua amizade.
- Ao meu supervisor de estágio Giancarlos, que me apoiou e me ajudou sempre, e que hoje é um grande amigo.
- Aos não citados, mas que contribuíram nessa jornada, meu sincero muito obrigado.

RESUMO

A fertirrigação utilizando vinhaça é uma das formas mais viáveis para a nutrição complementar do solo, sendo este um resíduo abundante e com alto risco de contaminação, se não destinado de forma correta. Sua aplicação nas lavouras se dá, principalmente por sistemas de aspersão de grande porte, na maioria das vezes por canhões que asperge quantidades de resíduo sem critério técnico. Este trabalho teve por objetivo avaliar a uniformidade de aplicação da irrigação e fertirrigação utilizando vinhaça, visando como foco de pesquisa a irrigação por gotejamento e o uso da poliacrilamida. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal do Paraná - UFPR, pertencente ao Campus Avançado Jandaia do Sul, onde os ensaios consistiam no uso de água e vinhaça de cana-de-açúcar na irrigação por gotejo, adicionando e não a poliacrilamida (polímero redutor de atrito), utilizada na concentração de 10 ppm. A metodologia de coleta para 16 pontos, proposta por Keller & Karmeli (1975). Calculou-se as uniformidades para as amostras de vazões coletadas utilizando o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de variação Total (CVt) e a Uniformidade Estatística (CUE), além da estatística descritiva sobre os coeficientes calculados. Nos resultados obtidos foi possível notar que a vinhaça apresenta uma uniformidade média inferior que a água, porém quando adicionado agente redutor de atrito é notado um aumento na uniformidade média de aplicação no sistema de gotejamento, com água e vinhaça. A poliacrilamida afetou de modo positivo a uniformidade média de aplicação, com aumento em ambos os líquidos.

Palavras-chave: Irrigação. Fertirrigação. Vinhaça. Poliacrilamida. Avaliação de Uniformidade. Irrigação por Gotejamento.

ABSTRACT

Fertigation using vinasse is one of the most viable forms of complementary soil nutrition, which is an abundant residue with a high risk of contamination if not properly handled. Its application for crops is mainly through large sprinkler systems, most often by guns that spray waste without any technical criteria. The objective of this study was to evaluate the irrigation and fertigation using vinasse application uniformity, aimed towards localized irrigation and the use of the polyacrylamide. The experiment was carried out in the experimental area of the Federal University of Paraná - UFPR, belonging to the Advanced Campus of Jandaia do Sul, where the tests consisted of the use of water and sugarcane vinasse in drip irrigation, with and without the polyacrylamide (polymer friction reducer), used at a concentration of 10 ppm. The sixteen collection points methodology, proposed by Keller & Karmeli (1975). The uniformities were calculated for the flow samples using the Uniformity Coefficient of Distribution (CUD), Christiansen's Uniformity Coefficient (CUC), Total Variation Coefficient (CVt) and Statistical Uniformity (CUE), as well as descriptive statistics on the calculated coefficients. In the results obtained it was possible to notice that the vinasse presents an average uniformity inferior to the water, but when added the friction reducing agent an average uniformity increase is noticed in drip irrigation system, both in the water and in the vinasse. The polyacrylamide positively affected the average application uniformity, with an increase in both liquids.

Key-words: Irrigation. Fertigation. Vinasse. Polyacrylamide. Uniformity assessment. Drip irrigation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 —	DEMONSTRAÇÃO DA REDUÇÃO DE ATRITO HIDRODINÂMICO NO FINAL DA DÉCADA DE 60.....	20
FIGURA 2 —	DIAGRAMA CARACTERÍSTICO REPRESENTANDO A VARIAÇÃO DA VAZÃO DE UM LÍQUIDO PURO (LINHA CONTÍNUA) E CONTENDO UM ADITIVO REDUTOR DE ATRITO (X), EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE REYNOLDS.....	22
FIGURA 3 —	BANCADA EM MADEIRA PARA OS EXPERIMENTOS.....	23
FIGURA 4 —	MOTOBOMBA, MARCA GAMMA (MODELO QB60).	24
FIGURA 5 —	MANÔMETRO DE BOURDON.	24
FIGURA 6 —	LAYOUT DO SISTEMA MONTADO PARA OS ENSAIOS.....	25
FIGURA 7 —	PARTÍCULAS FINAS PROVENIENTES DA MOAGEM DE RAÇÃO.	33
FIGURA 8 —	FILTRO DE TELA ENTUPIDO COM PARTÍCULAS ORIUNDAS DA VINHAÇA.	34
FIGURA 9 —	COMPARATIVO DO CUC COM ADIÇÃO E NÃO DE POLIACRILAMIDA EM ÁGUA (A) E VINHAÇA (B).....	35
FIGURA 10 —	COMPARATIVO DO CUD COM ADIÇÃO E NÃO DE POLIACRILAMIDA EM ÁGUA (A) E VINHAÇA (B).....	36
FIGURA 11 —	COMPARATIVO DO CUE COM ADIÇÃO E NÃO DE POLIACRILAMIDA EM ÁGUA (A) E VINHAÇA (B).....	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 —	CLASSIFICAÇÃO PARA O CUD.	28
TABELA 2 —	CLASSIFICAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE EMISSORES NOVOS, UTILIZANDO O CVT.....	28
TABELA 3 —	CLASSIFICAÇÃO PARA A UNIFORMIDADE ESTATÍSTICA.....	29
TABELA 4 —	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO CUC, PARA LÍQUIDO E POLÍMERO.....	31
TABELA 5 —	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO CUD, PARA LÍQUIDO E POLÍMERO.....	31
TABELA 6 —	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO CUE, PARA LÍQUIDO E POLÍMERO.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
1.2	JUSTIFICATIVA	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	CANA-DE-AÇÚCAR	13
2.2	VINHAÇA	14
2.3	IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	15
2.4	FERTIRRIGAÇÃO	17
2.5	AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO	18
2.6	POLÍMERO REDUTOR DE ATRITO	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	MONTAGEM DO EXPERIMENTO	23
3.2	PROCEDIMENTO DE ENSAIO	26
3.3	PROCESSAMENTO E AVALIAÇÃO DOS DADOS	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	RESULTADOS DE UNIFORMIDADE	30
5	CONCLUSÃO	38
6	RECOMENDAÇÕES	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE 1 – RESULTADOS DE UNIFORMIDADE (CUC, CUD E CUE) PARA ÁGUA E VINHAÇA, COM OS TRATAMENTOS COM E SEM POLIACRILAMIDA	45

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar vem crescendo cada vez mais nos últimos anos em função da introdução de etanol no mercado, visado por ser um biocombustível e como opção de substituição de combustíveis fósseis não-renováveis (EPE, 2016). Essa cultura tem grande importância e vem desenvolvendo o interesse de pesquisas na área, acarretando o aumento da produção da cana-de-açúcar e seus produtos primários, entretanto a geração de subprodutos é uma consequência desse processo, que é o caso da vinhaça (MACEDO, 2007).

Com os estudos sobre os possíveis aproveitamentos da vinhaça, notou-se um grande potencial nutricional em sua composição (PENATTI et al. 1988; BARROS et al., 2010), levando sua aplicabilidade na área rural por meio da fertirrigação (SILVA et al., 2007). Infelizmente, a fertirrigação empregada nas usinas nem sempre é tratada de maneira adequada e técnica, considerando a quantidade, qualidade e o tempo necessário em cada irrigação.

Um dos métodos mais utilizados na aplicação de vinhaça no campo é o de aspersão, utilizando-se o sistema de autopropelido com canhão hidráulico (BARBOSA, 2010), porém sua uniformidade de aplicação é baixa (BEBÉ et al., 2009).

Com a adoção da vinhaça na fertirrigação, é necessário que haja um dimensionamento correto do sistema de irrigação que conduzirá esse fluído até as lavouras, considerando alguns parâmetros hidráulicos, como perda de carga em tubulações e canais, devido ao modo com que é aplicada nas culturas (JUSTI, 2012).

Esses fatores hidráulicos afetam não apenas a eficiência do sistema, mas também custos fixos e variáveis (CARVALHO, 2012), como tubulação e energia elétrica. O aspecto econômico da aplicação da vinhaça pode não ser vantajoso quando mal dimensionado, mostrando o quão notórios são os estudos relacionados com a perda de carga, por exemplo.

Com o objetivo de reduzir o atrito no interior das tubulações alguns cientistas esforçaram-se para criar maneiras possíveis para tal, contudo apenas em 1948, o químico britânico B. A. Toms descobriu uma solução diluída de

polímero que alterava a pressão no escoamento sem alterar a vazão (VIRK et al., 1967; SHER & HETSRONI, 2008; JUSTI, 2012).

Esses polímeros começaram a ser usados na agricultura depois da década de 80, possibilitando novas janelas de pesquisas. A sua utilização na irrigação por gotejamento é uma possibilidade, podendo vir ou não a afetar a uniformidade de aplicação no sistema de gotejo com irrigação e fertirrigação com vinhaça.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar a uniformidade de distribuição da água e vinhaça com e sem adição de poliacrilamida na irrigação por gotejamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a uniformidade de distribuição da água e vinhaça;
- Conhecer o comportamento do escoamento com poliacrilamida;
- Analisar a eficiência de aplicação de água e vinhaça na irrigação por gotejamento, com e sem a adição de poliacrilamida.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os estudos recorrentes sobre os modos de aplicação de vinhaça no campo vêm crescendo, visto que o aproveitamento por parte das usinas nas lavouras de cana-de-açúcar apresenta uma grande economia, representada pela sua capacidade de substituir insumos minerais para repor as características nutricionais do solo, comprovada por Barbosa (2010).

A migração do sistema autopropelido com canhão hidráulico para métodos que controlam melhor a aplicação e a lâmina a ser utilizada é uma alternativa, justificada pelo interesse de se economizar com custos de bombeamento e o aumento da produtividade em campo, porém é necessário buscar maneiras que

otimizem a aplicação desse insumo para reduzir custos e otimizar o uso da irrigação por gotejamento.

Um dos aspectos que afetam de maneira direta o escoamento é o atrito interno, causado pela rugosidade interna do tubo em que o fluido mantém contato, acarretando perda de carga, ou dissipação da energia de escoamento (JUSTI, 2012). Desta maneira a pesquisa relacionada com agentes redutores de atrito é de suma importância para melhorar o escoamento em sistemas de irrigação por gotejamento, possibilitando a redução de custos operacionais. Para que essa utilização seja possível, antes é preciso estudo de sua influência na uniformidade de distribuição.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma planta ereta, de colmo cilíndrico, extremamente glabro, de coloração variável, rizomatosa, formam touceiras, considerada semi-perene e é uma planta que perfilha (BARBOSA, 2010).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética — EPE, 2016, o Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, com o montante de 670,6 milhões de toneladas produzidas em 2016. Esse crescente se dá pela demanda energética limpa, sendo os produtos primários da cultura da cana, uma fonte com grande potencial para geração de energia, ocupando atualmente cerca de 18,1% do total de todas as fontes de energia renovável e não renovável e, ainda segundo a EPE, nesse mesmo ano, a produção de açúcar superou a de etanol proveniente de cana-de-açúcar em cerca de 11 milhões de toneladas.

Desta forma, busca-se cada vez mais o aumento da qualidade da cana-de-açúcar e para fins de regulamentação, como citado por BARBOSA (2010, p. 7), o Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA, 2006) definiu como índice de qualidade desta planta —a concentração total de açúcares (sacarose, glicose e frutose) recuperáveis no processo industrial, expressa em kg por tonelada de cana, a qual é conhecida como Açúcar Total Recuperável (ATR)”. As pesquisas registraram médias de 130,70 e 134,25 Kg de ATR/t de cana nas safras nacionais de 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente (EPE, 2016).

Todavia, é impensável descrever tal cultura sem antes diferenciar e se aprofundar nos produtos provenientes desta planta, os quais podem ser divididos em primários e secundários. Dessa cultura, são exemplos o melaço, bagaço, pontas, folhas e olhaduras como produtos primários. Para a exemplificação de produtos secundários temos os álcoois. Outros subprodutos são gerados a partir do processo que passa os produtos da cana, um deles é a vinhaça, originário da produção do álcool (MACEDO, 2007).

2.2 VINHAÇA

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo — CETESB4 (2006) — a vinhaça pode ser definida como líquido derivado da destilação do vinho, que é resultante da fermentação do caldo da cana-de-açúcar ou melação”.

A vinhaça é um dos resíduos mais gerados no processamento da cana, e tem um grande impacto na economia de insumos quando aproveitados para a complementação nutricional do solo, ou até mesmo para a total substituição de fertilizantes minerais, uma vez que em sua constituição, a vinhaça apresenta um grande teor de potássio, este variando conforme seu processamento ou fonte (TASSO JÚNIOR et al. 2007). De certa forma é gerado uma quantidade, relativamente grande, uma vez que para cada litro de álcool fabricado, 12 a 15 litros de vinhaça são produzidos. (BUZOLIN, 1997).

Por ser um resíduo gerado em excesso, sua aplicabilidade no campo vem crescendo e demonstrado resultados positivos, dentre eles o aumento dos colmos da cana-de-açúcar proporcionados pelo acréscimo da nutrição convencional utilizando a vinhaça através de fertirrigação, além do aumento de ATR (SIMABUCO & NASCIMENTO FILHO, 1994; BARBOSA, 2010; OLIVEIRA et al., 2009).

Nos trabalhos desenvolvidos por Tasso Júnior et al. (2007) realizaram a aplicação de lodo de esgoto, vinhaça e a nutrição mineral na cultura da cana. Os resultados apontaram que a aplicação de vinhaça como fonte de potássio (K) e, lodo de esgoto como fonte de nitrogênio (N) supriu as demandas nutritivas do solo, com uma maior eficiência quando aplicados separados, complementados com os componentes minerais.

De forma geral, diversos autores mostraram que a aplicação de vinhaça na fertirrigação aumentavam os teores de sacarose, brix e a pureza da cana, ainda assim Stupiello et al. (1977) alegou que quando aplicada em excesso pode prejudicar tais propriedades da planta, além de causar um excesso de potássio e amido em sua constituição, interferindo de modo negativo a sua qualidade.

Além da quantidade de vinhaça aplicada, outros fatores como a variedade da cana, solo e a sua composição podem afetar a qualidade final da cana-de-açúcar (BARBOSA, 2010).

No que tange os efeitos da aplicação de vinhaça no solo, pode ocorrer elevação do pH; aumento da disponibilidade de alguns íons; aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC); aumento da capacidade de retenção de água, além de melhorar a estrutura física do solo (GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1983; JUSTI, 2012).

2.3 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

A irrigação na agricultura deve ser entendida não somente como um seguro contra secas ou veranicos, mas como uma técnica que dê condições para que o material genético expresse em campo todo o seu potencial produtivo (SILVA & SILVA, 2005).

A irrigação localizada compreende os sistemas de irrigação nos quais a água é aplicada ao solo, diretamente na região radicular em pequenas quantidades, ou seja, baixa vazão, entretanto com alta frequência, mantendo o solo irrigado sempre próximo à capacidade de campo (BERNARDO et al., 2013). Existem dois principais sistemas que concebem o conceito de irrigação localizada, sendo eles o gotejamento e a microaspersão e ambos os sistemas são compostos por tubos onde a água é conduzida sob baixa pressão, podendo ser enterrados (subterrâneo) ou superficiais.

O sistema de gotejamento é composto por emissores, denominados de gotejadores, através dos quais a água escoar em pequenos labirintos de modo a gerar uma perda de carga (ou de pressão) causando o efeito da liberação de gotas, resultando vazões de 2 a 20 Lh⁻¹ (MANTOVANI et al., 2009). A aplicação da água no solo é sob forma de ponto fonte, ou seja, em sua superfície é observável uma área molhada em círculo em torno do emissor, e em profundidade é visto um bulbo molhado (semelhante ao de uma cebola), e quando colocado em sequência, a área molhada dos emissores forma uma faixa molhada contínua. Ainda, de acordo com Mantovani et al. (2009) a microaspersão é também composta por emissores que liberam baixas vazões (varia de 20 a 150 Lh⁻¹), contudo a água nesse caso é aspergida. Esses emissores são denominados de microaspersores.

Em ambos os sistemas, apenas uma porção da superfície do solo que é molhada, diminuindo a tendência da evaporação direta da água para a atmosfera, quando comparada com os outros métodos de irrigação (BERNARDO et al., 2013).

Infelizmente os sistemas de irrigação localizada demandam para sua instalação um alto custo, causando uma inviabilidade em alguns tipos de culturas. Entretanto, esse sistema não deixou de ser utilizado e nem tão pouco inviável em culturas antes impensadas, mostrando uma grande importância no cenário agrícola brasileiro (BERNARDO et al., 2013; MATOS et al., 1999).

Existem diversas vantagens na utilização da irrigação localizada, como o controle rigoroso da lâmina d'água aplicada, favorecendo uma irrigação eficiente e evitando desperdícios e perdas provenientes de evaporação, percolação e escoamento superficial, controle fitossanitário do solo e das plantas, economia de mão-de-obra, flexibilidade do local de instalação e a redução de gastos com bombeamento (MANTOVANI et al., 2009; BERNARDO et al., 2013; SILVA & SILVA, 2005; CURTIS et al., 1996)

Barbosa (2010) ao utilizar a técnica da irrigação pelo método do gotejamento enterrado na produção de cana-de-açúcar em Guairá-SP comprovou um aumento na produtividade da cultura.

De modo geral esse método é composto por diversas vantagens, ainda assim possui algumas desvantagens, dentre elas estão o alto custo inicial; manutenção com maior frequência; necessidade de sistema de filtragem; inviável em águas com altos níveis de ferro e carbonato.

Seguindo essas premissas, nota-se que grande parte das desvantagens estão associadas ao entupimento do sistema, pois os gotejadores contém pequenos orifícios (que variam entre 0,5 e 1,5 mm) por onde a água passa, . Por conta disso, exige uma qualidade de água maior, e dessa maneira criando a necessidade da adoção de um sistema eficiente de filtragem, o qual evitará a passagem de partículas minerais e orgânicas, como também a precipitação de sais e, sedimentação de silte e argila (BERNARDO et al., 2013; SILVA & SILVA, 2005).

A aplicação de vinhaça utilizando o sistema de gotejamento (fertirrigação) deve ser realizada de modo criterioso e com alguns cuidados com a filtragem do sistema, por se tratar de um subproduto com uma alta carga orgânica e muitas

vezes provenientes de processos que não tomam o devido cuidado com partículas em suspensão.

2.4 FERTIRRIGAÇÃO

Com a limitação de produção dentro da mesma área, se busca cada vez mais o aumento da produtividade. Isso se torna evidente com o grande aumento de tecnologias voltadas para a área agrícola, em diversos setores da agropecuária, sempre buscando meios eficientes e sustentáveis, a ponto de se aplicar somente o necessário de recursos e insumos (CARRIJO et al., 2005).

A fertirrigação é o processo de aplicação de fertilizantes em água na irrigação, visando fornecer as quantidades de nutrientes requeridas pela cultura no momento adequado para a obtenção de um aumento nos ganhos econômicos e da qualidade do produto (CARRIJO et al., 2005).

Segundo Mantovani et al. (2009) a cultura passa por quatro fases de desenvolvimento: inicial, desenvolvimento vegetativo, intermediário ou de produção e a fase final de maturação. Dentro dessas fases existe uma demanda hídrica da planta, assim como uma demanda nutricional específica. Ainda segundo os autores, na fertirrigação, há possibilidade de realizar uma dosagem correta para suprir a demanda de cada fase da planta, atuando de forma efetiva e sem o excesso (ou desperdício) de fertilizantes. Nesse sentido, a preservação do meio ambiente também é garantida, evitando que os nutrientes aplicados lixiviem ou volatilizem, no caso do nitrogênio. Diante disso, a compactação causada pelo pesado trânsito de máquinas é reduzido, visto que a aplicação de fertilizantes ocorre por meio dos sistemas de irrigação.

Na literatura específica da área, a Lei do Mínimo, proposta por Justus von Liebig (1803–1873), tem importância universal no manejo da fertilidade do solo e apresenta os elementos que a planta necessita para seu desenvolvimento (LOPES & GUILHERME, 2007). Ainda segundo os autores, a lei diz que —~~ca~~ campo pode conter a disponibilidade mínima de um mínimo de um ou mais nutrientes. Com esse mínimo, [...] as produtividades apresentam uma relação direta com o suprimento deste nutriente em menor disponibilidade”. Desta maneira, mesmo se vários nutrientes sejam disponibilizados em abundância, e um sequer apresentar deficiência, a produtividade será a mesma.

Ao todo são 16, sendo 13 deles minerais (divididos em macro e micronutrientes): nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), enquanto os micronutrientes são: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn). Além dos macros e micronutrientes minerais, a planta necessita do carbono (C), do hidrogênio (H) e do oxigênio (O) que são providos pelo ar e pela água (CARRIJO et al., 2005). No entanto, os nutrientes mais utilizados são o potássio e o nitrogênio, além do fósforo e do cálcio.

Conforme supracitado, a vinhaça é rica em Potássio (K) e este age como catalisador de algumas reações enzimáticas, e está envolvido com a turgidez das células, abertura e fechamento dos estômatos, e no processo de síntese, acumulação e transporte de carboidratos, além de afetar a qualidade dos frutos de maneira direta (CARRIJO et al., 2005).

Esse efeito do potássio é visto também na cana-de-açúcar, através do aumento da produção de colmos (BARBOSA et al., 2012).

2.5 AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Não basta apenas a instalação do sistema de irrigação, uma vez que os recursos nele empregados constituem um alto valor agregado, reforçando assim a importância do funcionamento do sistema preservando sua eficiência, a qual está diretamente ligada à uniformidade de aplicação no sistema de gotejo (SILVA & SILVA, 2005; FAVETTA & BOTREL, 2001) Para que haja uma alta uniformidade de aplicação dentro de um sistema de irrigação as condições previstas em projeto, como a pressão, vazão e lâminas d'água aplicada devem ser mantidas, e controladas através de avaliações periódicas (SILVA & SILVA, 2005; BERNARDO, 1995).

Infelizmente esse tipo de avaliação em sistemas de irrigação é pouco vista em campo e quando se trata de agricultores, muitas vezes não é dada a devida importância para o tema, fato este que ocorre muitas vezes por falta de conhecimento técnico ou conhecimento do manejo correto.

Diversos trabalhos têm apresentado novas formas de se avaliar tal parâmetro, facilitando o comparativo entre eles e sua verificação para uma real aplicação (FAVETTA & BOTREL, 2001).

Um dos índices mais utilizados na irrigação por gotejamento foi apresentada por Keller & Karmelli (1974), denominada de Uniformidade de Distribuição (UD), a qual também é conhecida na literatura como Uniformidade de Emissão (UE). Favetta & Botrel (2001, p. 429) elaboraram testes para comparar a uniformidade de emissão com alguns outros parâmetros para a determinação da uniformidade e concluíram que os resultados obtidos se mostraram bem próximos entre si, validando as equações propostas.

Outro método para quantificar a uniformidade foi apresentado originalmente por Keller & Karmelli (1974), sendo conhecido por CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição), sendo a razão entre as vazões mínimas e médias dos emissores. O CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen) foi proposto em 1942, sendo ainda o mais utilizado (BERNARDO, 1995). Quando comparados esses dois parâmetros, nota-se que os valores de CUD sempre são inferiores ao de CUC, uma vez que o coeficiente de uniformidade de distribuição é sensível a pequenas variações na distribuição de água de um sistema de irrigação (SOUZA et al., 2005; KLEIN et al., 2013).

Contudo, não só as pequenas variações podem afetar a uniformidade, mas também as falhas de qualidade na fabricação dos materiais do sistema, deficiência no manejo, envelhecimento e entupimento (podendo ser eles físicos, químicos e biológicos) dos emissores (MERRIAM & KELLER, 1978; KLEIN et al., 2013). Para a identificação desses problemas, muitas vezes pontuais, usa-se o coeficiente de variação (CV) da lâmina aplicada (WILCOX & SWAILES, 1947).

Tanto os sistemas de irrigação por aspersão quanto os sistemas localizados sofrem com variações, causados por diversos fatores, dentre eles, fatores hidráulicos, atmosféricos, manutenção dos equipamentos e a qualidade da água utilizada na irrigação (SILVA & SILVA, 2005). A desuniformidade de aplicação afeta a produtividade da lavoura e problemas ambientais no caso da fertirrigação, visto que a lixiviação de alguns compostos pode causar a eutrofização e contaminação de rios e lençóis.

2.6 POLÍMERO REDUTOR DE ATRITO

Os estudos envolvendo as diversas categorias de polímeros vem crescendo cada vez mais, porém foi na década de 80 que foram desenvolvidos

polímeros sintéticos para fins agrícolas (OLIVEIRA et al., 2004). Uma das áreas que ganham mais ênfase para o uso de polímero é a irrigação, com o enfoque em resolver o atrito hidrodinâmico em tubulações. Entretanto em 1883, foram realizados testes em bombas mostraram uma variação de vazão ao longo das tubulações, atribuídas mais tardes à presença de polímeros produzidos por algas (BIZZOTO & SABADINI, 2011). Com a percepção dessa resistência ao fluxo surgiram pesquisas relacionadas com a redução do atrito hidrodinâmico (RAH), e em 1948 houve uma demonstração sistemática desse efeito pelo químico britânico B. A. Toms, onde foi diluída uma solução de poli (metil metacrilato) em monoclorobenzeno em um escoamento, apresentado como resultado uma menor resistência (BIZZOTO & SABADINI, 2011). Uma das maiores demonstrações da RAH está na FIGURA 1, onde bombeiros de Nova York exemplificam a potencialidade do Efeito Toms para lançar água em maiores distâncias. No ensaio, o sistema de bombeamento impulsionava água através de duas mangueiras com o mesmo diâmetro e comprimento, entretanto adicionado em uma delas 30 ppm de poli (óxido de etileno) (BIZZOTO & SABADINI, 2011)

FIGURA 1 — DEMONSTRAÇÃO DA REDUÇÃO DE ATRITO HIDRODINÂMICO NO FINAL DA DÉCADA DE 60.



FONTE: Adaptado de Bizzoto & Sabadini (2011).

O efeito de RAH altera a estabilidade da região laminar e a transição para turbulência (BIZZOTO & SABADINI, 2011). O regime laminar tem como característica principal o escoamento, ou o deslizamento de um fluido sobre uma superfície, no qual ocorre em baixas velocidades. Ao aumentar a velocidade desse escoamento nota-se a alteração do comportamento do fluido, gerando um

movimento desordenado deste, causado pela supremacia das forças de inércias sobre as forças de resistência, relacionadas com a viscosidade. Tal comportamento é denominado de regime turbulento, e caracterizado pelo parâmetro de regime Número de Reynolds (Re), definido a partir da viscosidade (η), da densidade do fluido (ρ), da velocidade de escoamento e pela geometria onde os ensaios serão executados, apresentados na Equação (1) (GOODWIN & HUGHES, 2000). Considerando uma geometria onde a seção seja circular, e com um diâmetro D , temos que:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} \quad (1)$$

Em que:

Re – Número de Reynolds, adm;

η – viscosidade dinâmica do líquido, $N \cdot m^{-1} \cdot s$;

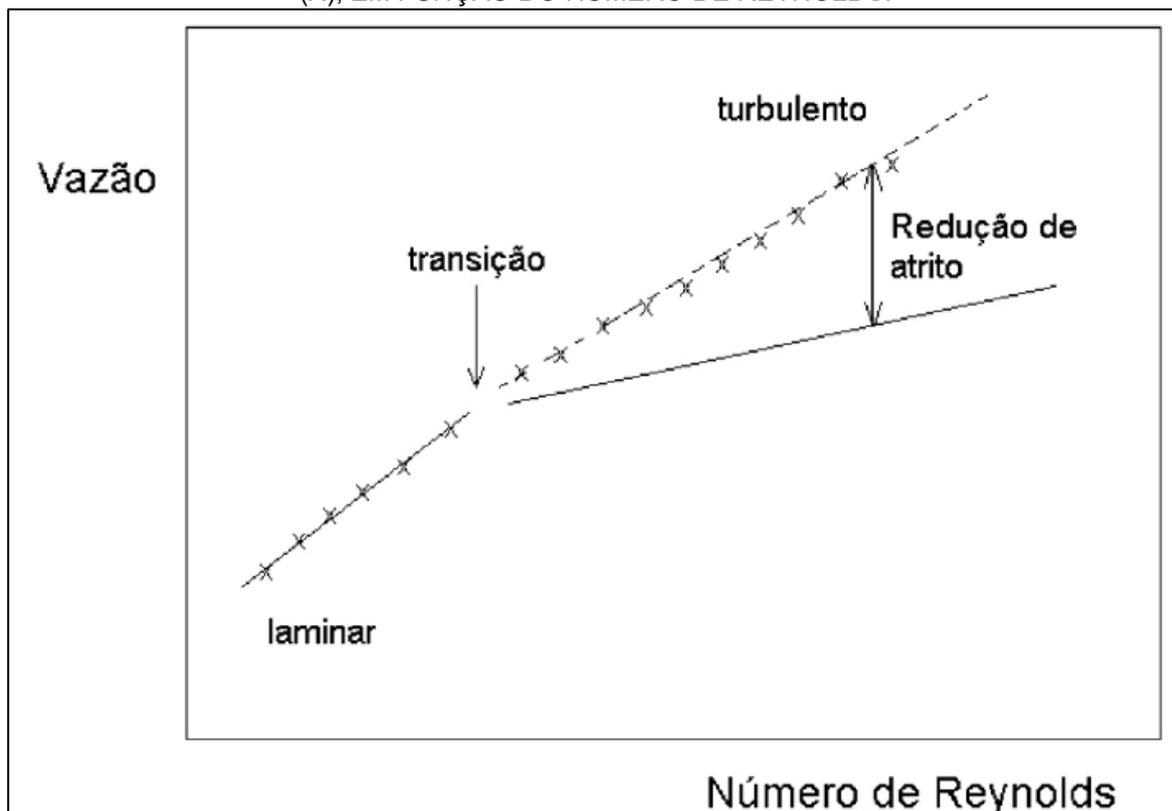
ρ – massa específica do líquido, $kg \cdot m^{-3}$;

v – velocidade de escoamento do líquido, $m \cdot s^{-1}$;

D – diâmetro interno da tubulação, m ;

A partir do regime turbulento é mais notório o efeito do atrito, como visto na FIGURA 2. O diagrama esquemático indica o comportamento hidrodinâmico, realizando um comparativo na vazão quando é acrescentado um agente de RAH. Após o início do regime turbulento, é possível verificar que existe uma redução do atrito do fluido com o redutor (linha tracejada) em relação ao mesmo fluido sem esse agente redutor (solvente puro — linha contínua), evidenciando que haveria uma maior vazão para a linha tracejada (BIZZOTO & SABADINI, 2011). Ainda segundo os autores, —~~est~~ é a assinatura do efeito de redução do atrito hidrodinâmico, e a porcentagem de redução de atrito hidrodinâmico que seria obtida para determinado Re , poderia ser estimada pela diferença relativa das vazões”.

FIGURA 2 — DIAGRAMA CARACTERÍSTICO REPRESENTANDO A VARIAÇÃO DA VAZÃO DE UM LÍQUIDO PURO (LINHA CONTÍNUA) E CONTENDO UM ADITIVO REDUTOR DE ATRITO (X), EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE REYNOLDS.



FONTE: adaptado de Bizzoto & Sabadini (2011).

Há diversas aplicabilidades dos polímeros sintéticos quando se trata de RAH, contudo os polímeros mais estudados em sistemas aquosos, segundo Bailey & Koleske (1976 apud JUSTI et al., 2012) são poli (óxido de etileno) (PEO) e poliacrilamida (PAM).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal do Paraná — UFPR, pertencente ao Campus Avançado Jandaia do Sul.

A montagem da bancada de ensaio para irrigação por gotejo foi realizada em um local protegido e com um sistema de reciclagem de água e vinhaça, o qual contava com uma lona adaptada para coleta dos líquidos. Sua estrutura em madeira (FIGURA 3) contava com dimensões de 5,00 m de comprimento, 1,08 m de largura e 1,55 m de altura.

O tubo gotejador utilizado foi da marca Petroisa, modelo Manari 16060 vazão nominal $1,5 \text{ Lh}^{-1}$, com espaço entre gotejadores de 0,1 metros e pressão de serviço de 10 mca. O sistema de irrigação compreendeu 4 tubos gotejadores, com o comprimento de 4,60 m e com um total de 46 emissores por linha.

FIGURA 3 — BANCADA EM MADEIRA PARA OS EXPERIMENTOS.



FONTE: O autor (2019).

O layout do sistema foi configurado para que as tubulações pudessem ser acopladas no conjunto motobomba, marca GAMMA, modelo QB60 (FIGURA 4) — periférica, com vazão máxima de 36 Lmin^{-1} ($6 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e pressão de saída 313,6 kPa (32 mca) alimentada por um reservatório com capacidade de 200 L. A tubulação de sucção foi de PVC com diâmetro de 1 polegada (2,54 cm), filtro de tela de 1 polegada (2,54 cm), acoplado a um registro de esfera (1 polegada) localizado na saída do reservatório, responsável por controlar a vazão e a pressão do sistema. A pressão no sistema foi monitorada com o uso de um manômetro de

Bourdon (FIGURA 5), sendo mantida em 10 mca. A bancada pode ser vista em forma de layout na FIGURA 6.

FIGURA 4 — MOTOBOMBA, MARCA GAMMA (MODELO QB60).



FONTE: O autor (2019).

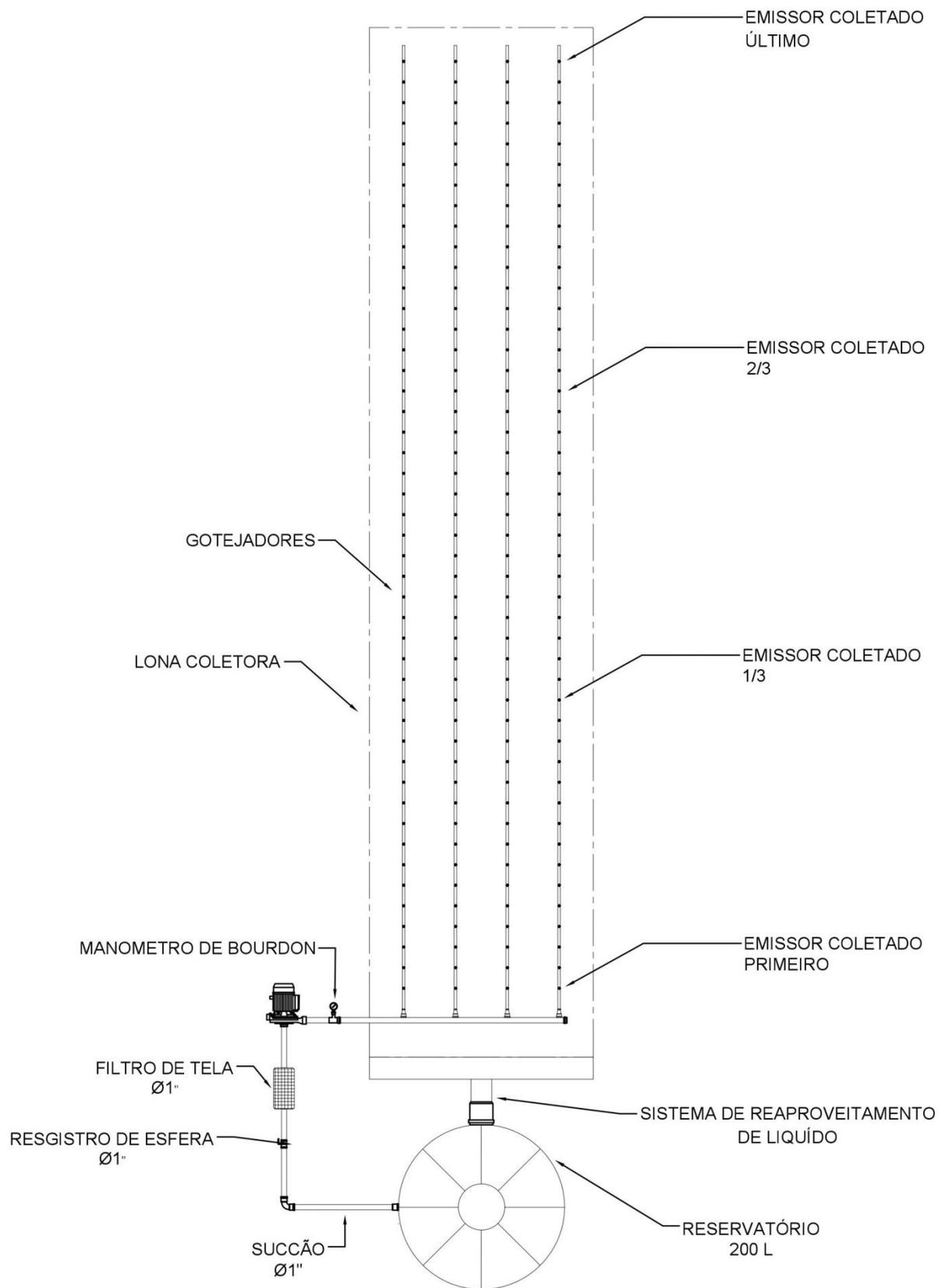
FIGURA 5 — MANÔMETRO DE BOURDON.



FONTE: O autor (2019).

Os ensaios consistiram no uso de dois líquidos, água e vinhaça de cana-de-açúcar, com e sem polímero redutor de atrito. O polímero foi a Poliacrilamida, fornecido pela empresa SNF do Brasil Ltda., com nome comercial de FLONEX 9051 SI, utilizado na concentração de 10 ppm. O material, segundo a empresa se apresenta na forma de pó claro, com cor indo de branco a levemente rosado, com massa específica aparente de $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$, viscosidade de 500 cP na concentração 5 g L^{-1} , 200 cP na concentração $2,5 \text{ g L}^{-1}$ e 80 cP na concentração $1,0 \text{ g L}^{-1}$, com pureza de 90%.

FIGURA 6 — LAYOUT DO SISTEMA MONTADO PARA OS ENSAIOS.



FONTE: O autor (2019).

3.2 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Foram coletadas as vazões dos gotejadores utilizando a metodologia proposta por Keller & Karmeli (1975), na qual se determinam as vazões em 16 gotejadores dentro do sistema de irrigação, selecionando quatro gotejadores de quatro linhas laterais, sendo o primeiro, os gotejadores situados a 1/3 e a 2/3 do comprimento e o último gotejador.

A coleta das vazões foi realizada de forma manual, através do volume de cada gotejador selecionado pelo método de coleta por 4 minutos. Após o tempo, foi realizada a medição da lâmina coletada com uma proveta graduada. Foi realizado um total de 200 ciclos de irrigação, divididos para água, vinhaça e ambos fluidos com adição de poliacrilamida, onde cada ciclo de irrigação continha 16 amostras de vazão, totalizando 3200 amostras. Os coeficientes utilizados para a avaliação de uniformidade, apresentados por Keller & Karmeli (1975), foram determinados conforme as Equações (2); (3); (4) e (5).

$$CUD = \frac{q_n}{q_m} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, %;

q_n – média das 25% menores vazões dos emissores, Lh^{-1} ;

q_m – média das vazões dos emissores, Lh^{-1} .

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}}\right) \times 100 \quad (3)$$

Em que:

CUC – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %;

X_i – volume obtido no coletor de ordem i , L;

\bar{X} – média dos volumes obtidos nos coletores, L;

n – número de coletores.

$$CVt = \frac{SD}{q_m} \quad (4)$$

Em que:

CVt – Coeficiente de variação Total, adimensional;

SD – desvio padrão das vazões, Lh⁻¹;

q_m – média das vazões, Lh⁻¹;

$$CUE = 100 \times (1 - CV) \quad (5)$$

Em que:

CUE – Coeficiente de Uniformidade Estatística, %;

CV – coeficiente de variação.

3.3 PROCESSAMENTO E AVALIAÇÃO DOS DADOS

Após coletados e calculados, os coeficientes foram submetidos ao teste de normalidade de Anderson-Darling (1952, 1954) a um nível de confiança de 95%, o qual pertence à classe quadrática de estatísticas baseadas na função de distribuição empírica (FDE), pois trabalham com as diferenças quadráticas entre a distribuição empírica e a hipotética (LEOTTI, 2005). A construção dos gráficos foi através do Software Minitab.

Os coeficientes foram submetidos a uma estatística descritiva, recorrentes a cada tratamento (água, vinhaça, água com poliacrilamida e vinhaça com poliacrilamida), a qual teve seu valor interpretado e classificado de acordo com as classificações encontradas na literatura.

Para representar os resultados de uniformidade foram utilizados gráficos produzidos pelo Software gráfico Origin 8, desenvolvido pela Originlab.

O CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição) é a razão média calculada dos gotejados entre as 25% menores vazões medidas, acarretando num valor diretamente proporcional à uniformidade do sistema (KELLER & KARMELLI, 1974). Para fins de classificação é possível utilizar a TABELA 1.

TABELA 1 — CLASSIFICAÇÃO PARA O CUD.

Classificação	CUD
Excelente	>90
Bom	75-90
Regular	62-75
Ruim	50-62
Inaceitável	<50

Fonte: ASAE EP 458 (1996).

Já para o CUC, valores acima de 90% são considerados excelentes, entre 80 – 90% bons, regulares quando se encontram na faixa de 70 – 80%, ruins entre 70 – 60% e inaceitável para valores abaixo de 60% (BERNARDO et al. 2006).

Por ser um coeficiente mais conhecido e muito utilizado em diversas áreas, o CVt é normatizado pela ABNT, pertencente a ela a norma ABNT – NBR ISSO 9261 (2006), que diz respeito à emissores, tais como os de gotejo, e classifica-os em: A para $CVt < 0,05$ e B para $0,05 \leq CVt \leq 0,1$. Segundo Solomon (1979) a TABELA 2 pode ser definida para emissores novos.

TABELA 2 — CLASSIFICAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE EMISSORES NOVOS, UTILIZANDO O CVT.

Uniformidade	CVt
Excelente	$\leq 0,03$
Médio	0,05-0,07
Marginal	0,08-0,10
Pobre	0,11-0,14
Péssimo	$> 0,15$

Fonte: Solomon (1979).

Keller et al. (2001) recomendam a utilização do CUE (Uniformidade Estatística) para sistemas de irrigação de baixo porte, classificando de acordo com a TABELA 3.

TABELA 3 — CLASSIFICAÇÃO PARA A UNIFORMIDADE ESTATÍSTICA.

Classificação	CUE (%)
Excelente	>90
Muito Bom	80-90
Regular	70-80
Péssimo	60-70
Inaceitável	<60

Fonte: Faveta & Brotel (2001)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DE UNIFORMIDADE

A apresentação da estatística descritiva é contemplada nas TABELAS 4, 5 e 6, as quais consideram os valores de média, erro padrão da média, desvio padrão, mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e máximo para os valores de CUC, CUD e CUE calculados para as variáveis avaliadas, líquido (água e vinhaça) e poliacrilamida (com ou sem agente redutor de atrito). Os valores de CUC calculados mostraram médias de 89,28%, 91,41%, 87,62% e 89,46% para água, água com poliacrilamida, vinhaça e vinhaça com poliacrilamida, respectivamente.

Para o CUD as médias se apresentaram inferiores ao CUC, sendo elas 81,22% (água), 86,15% (água com poliacrilamida), 77,67% (vinhaça) e 81,79% (vinhaça com poliacrilamida). Quando a poliacrilamida foi adicionada, a uniformidade da água aumentou 4,93% e 4,12% para vinhaça. Notou-se que a uniformidade da vinhaça com adição de poliacrilamida e da água se mantiveram próximos.

Em casos que o CUD é apresentado com valores baixos, pode-se dizer que alguns fatores como o controle de qualidade nos processos de fabricação, falha no manejo, mudanças físicas dos componentes, envelhecimento e entupimento dos emissores afetam de maneira direta nos resultados (MERRIAM & KELLER, 1978).

Para a Uniformidade Estatística (CUE) a média para a água, água com poliacrilamida, vinhaça e vinhaça com acréscimo de poliacrilamida foi de 85,85%, 89,28%, 83,16% e 86,35%, respectivamente.

TABELA 4 — ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO CUC, PARA LÍQUIDO E POLÍMERO.

	CUC (%)			
	ÁGUA	ÁGUA*	VINHAÇA	VINHAÇA*
Média	89,28	91,41	87,62	89,46
Desvio Padrão	1,70	0,51	3,10	1,71
Variância	2,90	0,26	9,58	2,92
Mínimo	85,15	90,23	76,49	84,66
1º Quartil	88,03	91,11	85,52	88,86
Mediana	89,83	91,47	87,73	89,80
3º Quartil	90,70	91,79	90,14	90,71
Máximo	91,66	92,44	94,18	91,99
Amplitude	6,51	2,21	17,69	7,33

FONTE: O autor (2019).

NOTA: *Líquido com adição de agente redutor de atrito (Poliacrilamida).

TABELA 5 — ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO CUD, PARA LÍQUIDO E POLÍMERO.

	CUD (%)			
	ÁGUA	ÁGUA*	VINHAÇA	VINHAÇA*
Média	81,22	86,15	77,67	81,79
Desvio Padrão	4,16	1,15	6,52	3,87
Variância	17,29	1,33	42,44	15,00
Mínimo	70,72	82,89	54,87	69,63
1º Quartil	78,45	85,34	72,85	81,03
Mediana	81,95	86,29	77,48	83,28
3º Quartil	84,77	86,95	83,28	84,43
Máximo	86,51	88,10	90,07	86,16
Amplitude	15,79	5,21	35,2	16,53

FONTE: O autor (2019).

NOTA: *Líquido com adição de agente redutor de atrito (Poliacrilamida).

TABELA 6 — ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO CUE, PARA LÍQUIDO E POLÍMERO.

	CUE (%)			
	ÁGUA	ÁGUA*	VINHAÇA	VINHAÇA*
Média	85,85	89,28	83,16	86,35
Desvio Padrão	3,21	0,59	4,98	2,99
Variância	10,30	0,35	24,82	8,94
Mínimo	76,71	87,61	69,27	78,06
1º Quartil	84,01	88,95	79,70	86,10
Mediana	86,82	89,41	83,67	87,46
3º Quartil	88,68	89,76	87,91	88,22
Máximo	89,52	90,22	92,70	89,39
Amplitude	12,81	2,61	23,43	11,33

FONTE: O autor (2019).

NOTA: *Líquido com adição de agente redutor de atrito (Poliacrilamida).

Os coeficientes calculados podem ser definidos aceitáveis a partir de um determinado valor, estima que em sistemas por gotejamento, o ideal é que a uniformidade atinja um valor de CUC superior a 90% e CUD entre 85 e 90% (ZOCOLER, 2005). Os resultados para o CUC se mostraram excelentes para o escoamento de água com adição de poliacrilamida, e bons para as demais variáveis, considerando o que se aplica como ideal na literatura, apenas a água com poliacrilamida alcançou os objetivos esperados (BERNARDO et al. 2006). Para os valores de CUD e CUE, os resultados se mostram mais sensíveis, desta maneira mantendo todos os resultados dentro do que se classifica como —bom” e —muito bom” para CUE, entretanto, a água com poliacrilamida foi o que mais se aproximou do excelente (acima de 90%) (ASAE, 1996; FAVETA & BROTEL, 2001).

Foi possível verificar alterações nas uniformidades dos ensaios 13 e 26, provocados por agentes externos e internos que afetaram a uniformidade geral dos ensaios, visto que o sistema de gotejamento tem uma alta tendência de entupimento. O local em que a bancada foi montada era um espaço multiusuário compartilhado com um sistema de moagem de ração para piscicultura, que começou a ser usado a partir do décimo terceiro ensaio, gerando partículas finas impossíveis do filtro de tela reter, contaminando a lona para coleta e reuso do líquido (FIGURA 7), além também do reservatório. Esse problema ocorreu com os ensaios realizados com água sem poliacrilamida, e alguns procedimentos de

limpeza e remoção das partículas foram efetuados, entretanto, ainda houve a obstrução de alguns emissores (finais de linha, na grande maioria). Suspeita-se que as partículas geradas a partir da moagem da ração tenham contribuído para a obstrução dos emissores.

O segundo problema que ocorreu durante os experimentos de vinhaça sem poliacrilamida, e brevemente na vinhaça com poliacrilamida. A vinhaça tem características próprias, que apresentam um alto teor de matéria orgânica e partículas em suspensão, o que causou o entupimento dos emissores e do próprio filtro (FIGURA 8). O sistema sofria entupimentos, verificados através de sinais de alteração na pressão da bomba, sucção e obstrução visualmente perceptíveis nos emissores. O procedimento de limpeza era retirar toda a vinhaça do sistema e fazer uma lavagem com água, fazendo-a recircular nos tubos e desobstruir os emissores, além da limpeza do filtro.

FIGURA 7 — PARTÍCULAS FINAS PROVENIENTES DA MOAGEM DE RAÇÃO.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 8 — FILTRO DE TELA ENTUPIDO COM PARTÍCULAS ORIUNDAS DA VINHAÇA.



FONTE: O autor (2019).

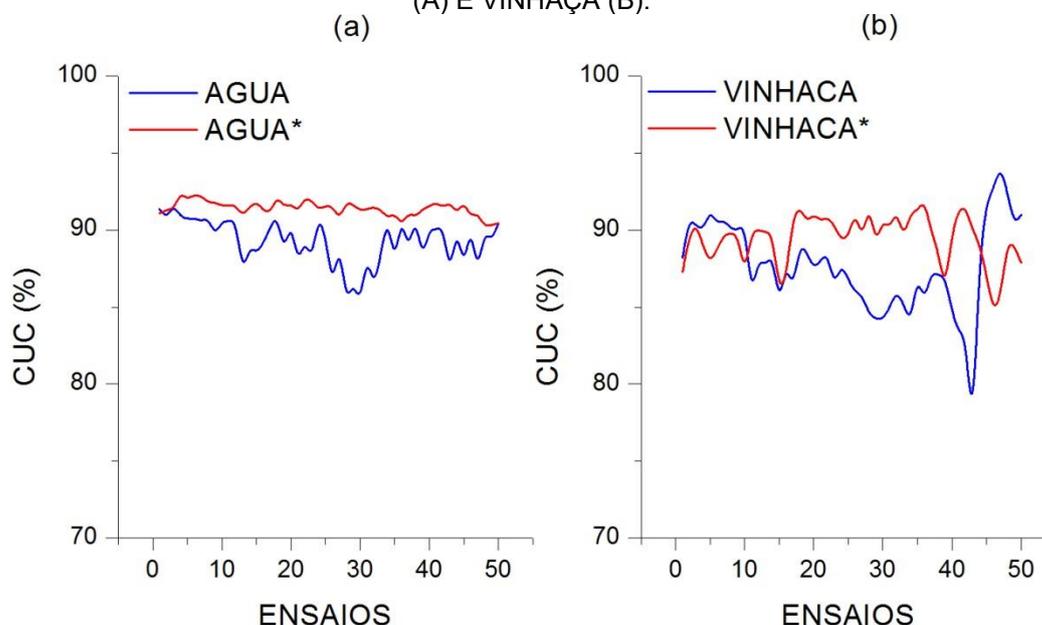
Mesmo com os problemas apresentados, os resultados confirmaram o esperado na teoria.

A FIGURA 9 demonstra o comparativo do CUC entre a adição e não de poliacrilamida nos líquidos, da mesma forma que a FIGURA 10, para CUD, e FIGURA 11, para CUE. Na FIGURA 9a, FIGURA 10a e FIGURA 11a são mostradas as uniformidades apenas para água e água com poliacrilamida, enquanto as FIGURAS 9b, 10b e 11b demonstram as uniformidades da vinhaça com e sem adição de poliacrilamida. É possível notar que a adição da poliacrilamida fez com que a uniformidade aumentasse, tanto na água como na vinhaça. A vinhaça com adição da poliacrilamida fez com que a uniformidade atingisse valores superiores à uniformidade da água sem poliacrilamida. Souza et al. (2005) avaliou a uniformidade de 16 sistemas de gotejamento apenas para irrigação no Espírito Santo, e obteve 1 sistema abaixo de 70%, 8 sistemas entre 70 e 80%, apenas 4 entre 80 e 90% e somente 3 sistemas que se enquadraram como aceitável (acima de 90%), sendo dois deles autocompensantes, mostrando que os sistemas montados no campo estão sujeitos a diversos fatores que reduzem a uniformidade de aplicação, destacando a poliacrilamida como uma possível solução. Em casos mais controlados, Oliveira & Villas Boas (2008) e Silva

& Silva (2005) apresentam uniformidades superiores para a aplicação de água em gotejo, mantendo 97,70% para CUC, e 76% em microaspersão.

Para fins de comparação com fertirrigação utilizando vinhaça, é possível destacar que Cunha et al. (2006) encontrou o mesmo problema com entupimentos com água residuária da despolda dos frutos do cafeeiro filtrado, no qual iniciou com um CUC de 95,96% e, após 144 horas reduziram-se 76%, e no caso do CUD a redução foi de 100%, passando de um resultado inicialmente excelente para inaceitável no final do período. Da mesma forma Batista (2004) e Tajrishy et al. (1994) encontraram reduções das uniformidades causadas por entupimentos com água sanitária tratada, 16,86% e 21,43% respectivamente.

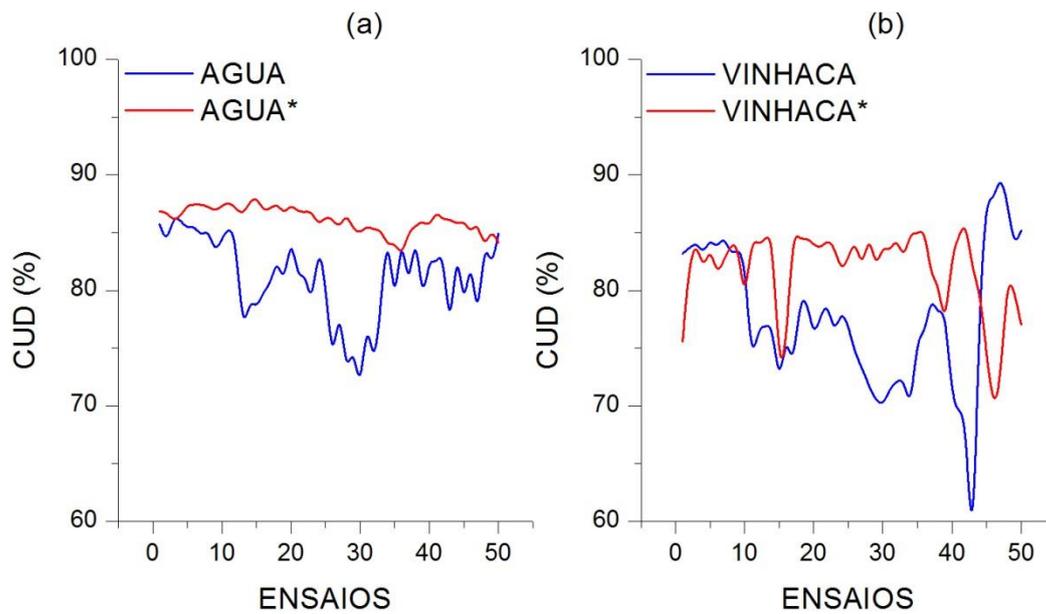
FIGURA 9 — COMPARATIVO DO CUC COM ADIÇÃO E NÃO DE POLIACRILAMIDA EM ÁGUA (A) E VINHAÇA (B).



FONTE: O autor (2019).

NOTA: *Líquido com adição de poliacrilamida.

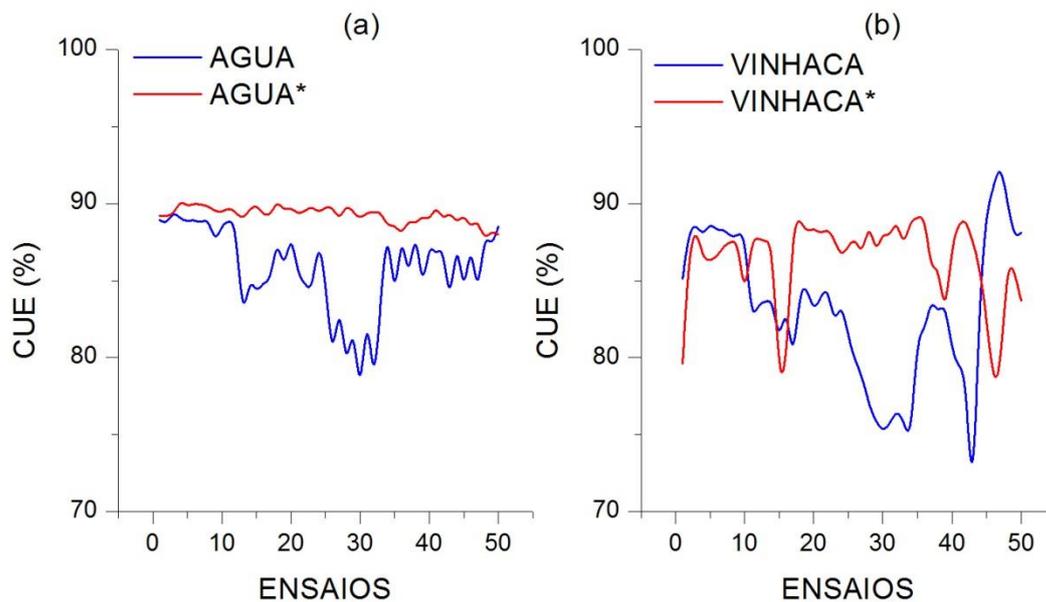
FIGURA 10 — COMPARATIVO DO CUD COM ADIÇÃO E NÃO DE POLIACRILAMIDA EM ÁGUA (A) E VINHAÇA (B).



FONTE: O autor (2019).

NOTA: *Líquido com adição de poliacrilamida.

FIGURA 11 — COMPARATIVO DO CUE COM ADIÇÃO E NÃO DE POLIACRILAMIDA EM ÁGUA (A) E VINHAÇA (B).



FONTE: O autor (2019).

NOTA: *Líquido com adição de poliacrilamida.

Em todos os casos listados acima, é possível observar que a adição de polímero causou um acréscimo da uniformidade, otimizando o sistema. Justi (2012) encontrou resultados semelhantes ao testar a inserção de poliacrilamida, uma vez que a perda de carga da tubulação foi reduzida, melhorando o

desempenho do sistema. Até mesmo no caso do CUD, um coeficiente extremamente sensível (MERRIAM & KELLER, 1978), é possível verificar um acréscimo de até 5% para a média da uniformidade, destacando a função do agente redutor de atrito dentro do sistema.

A uniformidade da vinhaça de forma geral é abaixo do ideal, porém com a adição de poliacrilamida as condições passam a ser mais vantajosas, visto que a uniformidade é aumentada, possibilitando a redução de custos operacionais, tornando-se justificável seu uso com vinhaça.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, conclui-se que o CUC, CUD e CUE da água foi 1,66%, 3,55% e 2,68%, respectivamente maiores quando comparada com a vinhaça, entretanto houve um acréscimo nestes valores, tanto na água como na vinhaça, quando adicionado a poliacrilamida, mostrando sua eficiência quanto ao seu objetivo no experimento. Destaca-se ainda, que a adição de poliacrilamida melhorou a uniformidade, uma vez que os resultados para a vinhaça com polímero superou em 1,84%, 4,12% e 3,19% os valores de água.

6 RECOMENDAÇÕES

Para trabalhos futuros recomenda-se o uso de um sistema de filtragem mais eficiente quando o líquido em questão é a vinhaça, pois esta apresentou um alto grau de partículas causadoras de obstrução, ficando assim como recomendação para trabalhos futuros, com a ressalva quanto ao uso do polímero em um sistema de filtragem com maior eficiência.

Em relação ao local onde a bancada de experimentos será instalada, sugere-se que não haja outros fatores que possam acarretar contaminação dos ensaios, prejudicando os resultados finais.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Equipamentos de irrigação agrícola – Emissores e tubos emissores – Especificações e métodos de ensaio. **ABNT NBR ISO 9261**, 2006. 9p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Field evaluation of micro irrigation Systems**. St. Joseph, 4 p. 1994.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Field evaluation of microirrigation systems**. ASAE Standards. St. Joseph, p. 792-797, 1996.

AZEVEDO NETTO, J.M.; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, M.; ARAUJO, R. DE; ITO, A.E. **Manual de hidráulica**. 8.ed. São Paulo: Blücher, 1998. 669p.

BAILEY, F.E.; KOLESKE, V.J. **Poly(ethyleneoxide)**. Ed. Academic Press: New York, 1976, 173 p.

BARBOSA, E. A. A.. **FERTIRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO DE VINHAÇA VIA GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**. 2010. Tese de Doutorado. Instituto Agrônômico.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.9, p.952–958, 2012.

BARROS, R. P. et al. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 341-346, jul./set. 2010.

BATISTA, R.O. **Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado sobre sistemas de irrigação por gotejamento**. 2004. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, M. E. R.; SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S.. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v.13, n.6, p.781–787, 2009.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ª ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995, 657 p.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa, UFV, 2006. 625 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. **Manual de irrigação**, edição: 8ª. Editora: UFV, 2ª reimpressão. Viçosa, MG, 2013, 625p.

BIZZOTO, V. C.; ALKSCHBIRS, M. I.; SABADINI, E. Uma revisão sobre o efeito Toms – o fenômeno onde macromoléculas atenuam a turbulência em um líquido. **Química Nova**. São Paulo, v. 34, n. 4, p. 658-664, 2011.

BUZOLIN, P.R.S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. 1997. 98 f. 1986. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

CARRIJO, O. A.; DE SOUZA, R. B.; MAROUELLI, W. A.; DE ANDRADE, R. J.. Fertirrigação de hortaliças. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2005.

CARVALHO, P. S. O.. **Controle para Bombeamento Distribuído com Vistas à Minimização dos Custos Energéticos Aplicado a Sistemas de Abastecimento de Água**. 2012. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraíba, João Pessoa - Paraíba, 2012.

CETESB, NORMA P4.231/2015 - **Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. 3. ed. 2ª versão. São Paulo: 2015. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/NTC-P4.231_Vinha%C3%A7a_-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf. Acesso em: 26 nov. 2019.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 124 p.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.

CUNHA, F. F.; MATOS, A.T.; BATISTA, R.O. & LO MONACO PA. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum**. Agronomy, 28:143-147. 2006.

CURTIS, L. M.; POWELL, A. A.; TYSON, T. W. Microirrigation of peaches in the southeast. **Irrigation Journal**, New York, v.46, n.2, p. 22, maio 1996.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional**: Ano base 2016, EPE: Brasília, 2017. 296 p.

FAVETTA, G. M.. **Avaliação da uniformidade de emissão e da uniformidade estatística em irrigação localizada**. 1993. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. SP. 52 p.

FAVETTA, G. M.; BOTREL, T. A.. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, abr./jun. 2001.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Coopersucar, 1983. 38 p.

GOODWIN, J. W.; HUGHES, R. W. **Rheology for chemists-An introduction**, The Royal Society of Chemistry: Cambridge, 2000.

HASSUDA, S.. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru**. 1989. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HERNANDEZ, FBT. **Manejo da irrigação**. 2004. 2014.

JUSTI, André Luiz. **Efeito do uso de polímero redutor de atrito no escoamento forçado de água e vinhaça**. 2012. Tese (Doutor em Agronomia - Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista —Júlio De Mesquita Filho” Faculdade De Ciências Agrônômicas, Botucatu - SP, 2012.

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

KELLER, J. KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 133 p. 1975.

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

KLEIN, M.; SZEKUT, F.; SUSZEK, F.; REIS, C.; AYMORÉ, C.; GUERRA, J.; VILAS BOAS, M. **Uniformidade de irrigação e fertigação em um sistema de irrigação familiar por gotejamento sob diferentes cargas hidráulicas**. Engenharia Ambiental, v.10, p.56-69, 2013.

LEOTTI, V. B; A. R. BIRCK E J. RIBOLDI. Comparação dos Testes de Aderência à Normalidade Kolmogorov-smirnov, AndersonDarling, Cramer–Von Mises e Shapiro-Wilk por Simulação. **11º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica e a 50ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS)**. Anais. Londrina, PR, Brasil. 2005.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. C.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 1, p. 1-64.

MACEDO, I. C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 157-165. 2007.

MANTOVANI, E.C. BERNARDO, S. PALARETTI, L.F. **Irrigação - Princípios e Métodos**. Viçosa: Ed. UFV, 2009.

MATOS, J. A.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Avaliação da distribuição de água de um microaspersor autocompensante. In: **Revista Irriga**, Botucatu, v.4, n.3, p. 168-174, 1999.

MERRIAM, J. L., & J. KELLER .. **Farm irrigation system evaluation: A guide for management**. 3rd edition. Utah State Univ., Logan, Utah, 1978, 285 p.

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS, S. P. **Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar**. Planta Daninha, Viçosa-MG, p. 33-46, 2008.

OLIVEIRA, E. L.; ANDRADE, L. A. B.; Faria, M. A.; Custódio, T. N. **Vinhaça de alambique e nitrogênio na cana-de-açúcar, em ambiente irrigado e não irrigado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, p.694-699, 2009.

OLIVEIRA, M. V. A. M. de; VILLAS BÔAS, R. L. Uniformidade De Distribuição Do Potássio E Do Nitrogênio Em Sistema De Irrigação Por Gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.28, n.1, p.95-103, jan./mar. 2008.

OLIVEIRA, R. A.; REZENDE, L. S.; MARTINEZ, M. A.; MIRANDA, G. V.. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.8, n.1, p.160-163, 2004.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V., ZOLIN, C. A., SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M., & JOSÉ, J. V. **Situação da agricultura irrigada no brasil de acordo com o censo agropecuário**. Irriga, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, abril-junho, 2011.

PENATTI, C. P.; CAMBRIA, S.; BONI, P. S.; ARRUDA, F. C. O.; MANOEL, L. A.. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Coopersucar**, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 32-38, 1988.

PINTO, J.M.; SOARES, J.M.; NASCIMENTO, T. **Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em irrigação localizada**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 1991. 24 p. (Boletim de Pesquisa, 41).

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar: Estado da arte**, Piracicaba, T.C.C. Ripoli, 2006, 216p

SHER, I.; HETSRONI, G. A mechanistic model of turbulent drag reduction by additives. **Chemical Engineering Science**, n. 7, v. 63, p. 1771-1778, 2008.

SILVA, A. P. M. da; BONO, J. A. M.; DE AR PEREIRA, F. **Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 1, p. 38-43, 2014.

SILVA, C. A. da; SILVA, C. J. da. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica De Agronomia**, Garça, Dezembro de 2005.

SILVA, G. M. de A.; ORLANDO FILHO, J. **Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil**. PLANALSUCAR, 1981.

SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 1, p. 108–114, 2007. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

SIMABUCO, S. M.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Study on vinasse dynamics in soil using energy dispersive x-ray fluorescence with radioisotopic excitation. **Scientia Agrícola**, v.5, p.207-215. 1994.

SOLOMON, K.H. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1043, 1979.

SOUZA, L. O. C. et al. Perda de carga em tubos de pvc conduzindo água residuária do processamento de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, p.541–548, 2005.

STUPIELLO, P.; PEIXE, C.A.; MONTEIRO, C.A. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Piracicaba, v. 90, p.41-50, 1977.

TAJRISHY, M. A.; HILLS, D. J.; TCHOBANOGLOUS, G. **Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation**. J. Irrig. Drain. Eng., New York, v. 120, n. 4, p. 716731, 1994.

TASSO JÚNIOR, L. C., MARQUES, M. O., FRANCO, A., NOGUEIRA, G. D. A., NOBILE, F. O. D., CAMILOTTI, F., & SILVA, A. R. D. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, jan./abr. 2007.

VIRK, P. S.; MERRILL, E. W.; MICKLEY, H. S.; SMITH, K. A.; MOLLO-CHRISTENSEN, E. L. The Toms phenomenon: turbulent pipe flow of dilute polymer solutions. **Journal of Fluid Mechanics**. Cambridge, n. 2, v. 30, p. 305-328, 1967.

ZOCOLER, J. L. **Avaliação de desempenho de sistemas de irrigação**. Ilha Solteira–SP: UNESP.

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agricultural**, v.27, p.565-583, 1947.

**APÊNDICE 1 – RESULTADOS DE UNIFORMIDADE (CUC, CUD E CUE) PARA
ÁGUA E VINHAÇA, COM OS TRATAMENTOS COM E SEM POLIACRILAMIDA**

ENSAIO	CUC (%)			
	ÁGUA	ÁGUA*	VINHAÇA	VINHAÇA*
1	91,37	91,07	88,20	87,27
2	90,75	91,31	90,82	89,66
3	91,66	91,35	90,24	90,43
4	90,86	92,44	90,03	88,91
5	90,72	91,99	91,28	87,89
6	90,77	92,29	90,43	88,72
7	90,58	92,21	90,65	89,70
8	90,79	91,78	90,10	89,79
9	89,66	91,80	89,98	89,70
10	90,58	91,58	90,46	87,05
11	90,56	91,62	85,59	89,88
12	90,69	91,61	88,17	90,01
13	87,10	90,91	87,63	89,87
14	88,97	91,47	88,53	89,80
15	88,48	91,86	85,05	85,91
16	89,16	91,26	87,86	86,96
17	90,18	91,12	86,12	90,87
18	91,02	92,21	89,11	91,52
19	88,47	91,50	88,57	90,50
20	90,61	91,73	87,47	91,05
21	87,74	91,18	88,05	90,58
22	89,42	92,12	88,50	90,84
23	87,98	91,90	86,30	90,30
24	90,98	91,33	87,83	89,33
25	89,63	91,55	86,77	89,55
26	86,17	91,57	85,96	91,24
27	89,31	90,67	85,78	89,34
28	85,17	91,84	84,55	91,75
29	86,66	91,65	84,23	89,01
30	85,15	91,27	84,19	90,67
31	88,44	91,35	84,98	90,09
32	86,20	91,50	86,05	91,32
33	88,50	91,30	85,20	89,43
34	90,90	90,78	83,88	91,12
35	87,69	91,09	87,10	91,24
36	91,02	90,33	85,30	91,99
37	88,54	91,11	87,27	89,91
38	90,99	90,87	87,09	88,62
39	88,05	91,33	87,02	86,00
40	90,09	91,56	84,67	89,81
41	89,99	91,78	83,39	91,35
42	90,32	91,46	83,09	91,52
43	86,95	91,81	76,49	89,98
44	90,30	91,07	88,35	89,13
45	87,41	91,83	91,79	87,03
46	90,43	90,85	92,69	84,66
47	87,09	91,11	94,18	85,55
48	90,00	90,23	92,56	89,19
49	89,26	90,31	90,31	89,06
50	90,44	90,44	90,99	87,86

*Líquido com adição de agente redutor de atrito (Poliacrilamida).

ENSAIO	CUD (%)			
	ÁGUA	ÁGUA*	VINHAÇA	VINHAÇA*
1	85,73	86,83	83,18	75,56
2	84,00	86,76	83,67	82,48
3	86,51	86,02	84,16	84,26
4	86,04	86,43	83,16	81,66
5	85,36	87,38	84,46	83,85
6	85,62	87,43	83,62	81,30
7	84,67	87,44	84,76	82,62
8	85,34	87,25	83,07	83,94
9	83,20	86,84	83,56	84,07
10	84,50	87,31	82,72	78,60
11	85,46	87,63	73,36	84,57
12	84,68	87,16	76,83	83,94
13	76,07	86,49	76,83	84,45
14	79,24	87,68	77,11	85,03
15	78,42	88,10	71,41	72,49
16	79,90	86,85	76,46	75,18
17	80,52	87,10	72,99	85,30
18	82,86	87,53	79,37	84,36
19	80,31	86,59	79,19	84,58
20	85,04	87,47	75,83	83,96
21	80,90	86,83	77,87	83,63
22	81,65	86,78	78,97	84,39
23	78,46	86,85	76,11	83,79
24	84,17	85,61	78,31	81,56
25	80,63	86,38	76,99	82,88
26	73,06	86,18	74,50	84,42
27	79,21	85,35	73,30	81,74
28	72,37	86,71	71,67	85,06
29	75,50	85,31	70,49	81,80
30	70,72	84,93	70,00	83,90
31	78,01	85,58	71,49	83,32
32	72,95	85,27	72,10	84,64
33	78,81	85,27	72,41	82,59
34	85,80	83,83	69,44	85,09
35	77,71	84,21	76,08	84,80
36	85,73	82,89	76,07	85,52
37	79,38	85,10	79,57	81,11
38	85,70	85,52	77,84	80,77
39	78,52	86,04	78,54	76,41
40	82,96	85,49	70,54	83,24
41	82,15	86,90	69,58	84,62
42	83,75	86,07	69,03	86,16
43	75,37	86,20	54,87	81,55
44	84,66	85,71	79,46	80,16
45	77,72	86,06	88,18	74,45
46	83,52	84,97	87,73	69,63
47	76,57	85,94	90,07	71,75
48	84,71	83,64	87,78	81,28
49	81,74	85,30	83,65	80,10
50	84,93	84,16	85,18	77,04

*Líquido com adição de agente redutor de atrito (Poliacrilamida).

ENSAIO	CUE (%)			
	ÁGUA	ÁGUA*	VINHAÇA	VINHAÇA*
1	88,94	89,19	85,10	79,59
2	88,67	89,19	88,38	87,24
3	89,52	89,32	88,61	88,40
4	88,99	90,22	87,90	86,38
5	88,85	89,82	88,78	86,29
6	88,96	90,00	88,23	86,56
7	88,72	89,93	88,35	87,25
8	89,08	89,84	87,82	87,52
9	87,41	89,51	87,94	87,65
10	88,62	89,43	88,21	83,58
11	88,87	89,74	82,21	87,73
12	88,80	89,46	83,54	87,74
13	82,07	88,95	83,58	87,56
14	85,31	89,63	83,87	87,50
15	84,17	89,95	80,78	78,06
16	84,91	89,26	83,70	79,31
17	84,90	89,22	79,24	88,67
18	87,91	90,21	84,58	89,02
19	85,46	89,53	84,55	88,11
20	88,35	89,76	82,95	88,44
21	85,27	89,31	83,95	88,00
22	84,87	89,50	84,65	88,39
23	84,12	89,84	82,06	87,68
24	87,88	89,39	83,67	86,50
25	85,03	89,77	81,34	87,26
26	79,26	89,79	79,78	87,79
27	84,18	88,90	78,81	86,55
28	78,73	89,95	76,90	88,92
29	82,76	89,49	75,87	86,67
30	76,71	88,98	75,18	88,16
31	83,73	89,42	75,69	87,79
32	77,41	89,45	76,62	89,07
33	84,01	89,48	75,93	87,06
34	89,01	88,46	74,29	88,97
35	83,04	88,68	81,53	89,00
36	88,72	87,93	81,62	89,39
37	84,55	88,96	83,89	85,50
38	88,86	88,64	82,82	86,17
39	84,00	89,23	83,67	82,28
40	87,61	88,89	80,38	87,42
41	86,51	89,88	79,46	88,70
42	87,45	88,94	78,97	89,01
43	82,90	89,47	69,27	87,57
44	88,28	88,72	84,12	85,90
45	83,53	89,31	89,50	82,53
46	88,01	88,40	91,10	78,22
47	83,53	89,00	92,70	78,93
48	88,22	87,61	90,22	86,18
49	87,13	88,22	87,75	85,80
50	88,50	87,99	88,09	83,67

*Líquido com adição de agente redutor de atrito (Poliacrilamida).