

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E ESTADO
NUTRICIONAL DE MILHO FERTIRRIGADO COM
ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E
SUINOCULTURA DILUÍDAS**

Autora: Daniely Karen Matias Alves
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientador: Edson Cabral da Silva

RIO VERDE - GO
Setembro - 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E ESTADO
NUTRICIONAL DE MILHO FERTIRRIGADO COM
ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E
SUINOCULTURA DILUÍDAS**

Autora: Daniely Karen Matias Alves
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientador: Edson Cabral da Silva

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Setembro - 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

A474d Alves, Daniely Karen Matias
 Desenvolvimento, produtividade e estado
 nutricional de milho fertirrigado com água
 residuária de piscicultura e suinocultura diluídas /
 Daniely Karen Matias Alves; orientador Marconi
 Batista Teixeira; co-orientador Edson Cabral da
 Silva. -- Rio Verde, 2020.
 119 p.

 Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação
 em Ciências Agrárias - Agronomia) -- Instituto
 Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

 1. Zea mays L.. 2. Adubação nitrogenada. 3.
 Efluentes. 4. Nitrogênio. 5. Reuso da água. I.
 Teixeira, Marconi Batista, orient. II. da Silva,
 Edson Cabral, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Daniely Karen Matias Alves

Matrícula: 2018202310140032

Título do Trabalho: Desenvolvimento, produtividade e estado nutricional de milho fertirrigado com água residuária de piscicultura e suinocultura diluídas

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 28/09/2020

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

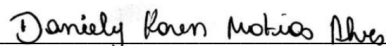
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - GO, 28/09/2020.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do orientador



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 45/2020 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E ESTADO NUTRICIONAL DE MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA DILUÍDAS

Autora: Daniely Karen Matias Alves
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 18 de setembro de 2020.

Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Alisson Macendo Amaral
Avaliador externo
IFNMG – Campus Arinos

Dr. Edson Cabral da Silva
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Edson Cabral da Silva, 2016202320140131 - Discente, em 28/09/2020 10:30:12.
- Frederico Antonio Loureiro Soares, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/09/2020 16:08:03.
- Alisson Macendo Amaral, Alisson Macendo Amaral - 234310 - Professor de engenharia - Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Ifnmg (10727655000543), em 18/09/2020 13:19:48.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - UCPG-RV, em 18/09/2020 12:30:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 08/09/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 184903
Código de Autenticação: ef00c1d276



DEDICO

A Deus,

Pela vida, saúde e força em todos os momentos.

OFEREÇO

À minha família,

Aos meus pais, José Barbosa Alves e Maria Aparecida Matias Alves, que sempre me incentivaram aos estudos com muita sabedoria e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela saúde e força durante essa caminhada da vida.

Aos meus pais, José Barbosa e Maria Aparecida, e à minha irmã Gabriely, que são minha base e minha fortaleza, sempre acreditaram em mim, torceram diariamente e vibraram diante de cada conquista alcançada. Ao meu namorado, Fernando Rodrigues Cabral Filho, que é meu parceiro nas pesquisas experimentais, amigo e me acompanhou durante essa trajetória, auxiliando e sendo suporte em cada momento que precisei.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos, de maneira especial, ao Fernando Nobre Cunha, Gustavo da Silva Vieira, Maykelle Vieira Gonçalves, Laura Campos, Wilker Alves e aos demais colegas do Laboratório de Hidráulica e Irrigação (grupo de pesquisa AGRICE), e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, pelos incentivos constantes, apoio e amizade dispensados ao longo de todo curso de pós-graduação, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância.

Ao meu querido orientador, Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, que desde a iniciação científica esteve me orientando e sendo um alicerce para a minha formação. Muito obrigada por todo o incentivo, pelo zelo e por ter sido peça fundamental na minha caminhada. Agradeço ao Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Sores e Leonardo Názario Silva dos Santos, por todo o apoio, orientação e ensinamentos ao longo da execução deste trabalho e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade no decorrer desta caminhada. A todos os professores da pós-graduação do IF Goiano que ao dividirem seus conhecimentos e experiências foram essenciais na minha trajetória.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, todo pessoal envolvido (Diretoria, coordenação, secretaria etc.), ao IF Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de pós-graduação e pelo desenvolvimento deste trabalho. Aos funcionários de todos os Departamentos da Instituição, pela atenção e colaboração nos momentos em que necessitei de auxílio para continuar nesta caminhada.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa de estudo, pelas verbas de auxílio financeiro ao projeto e fomento à pesquisa de maneira geral.

BIOGRAFIA DA AUTORA

DANIELY KAREN MATIAS ALVES, filha de José Barbosa Alves e Maria Aparecida Matias Alves, nasceu no dia 05 de fevereiro de 1997, na cidade de Iporá, Goiás.

No mês de fevereiro de 2011, iniciou no curso Técnico em Informática integrado ao Ensino Médio no Instituto Federal Goiano – Campus Iporá – GO, finalizando em dezembro de 2013.

Em fevereiro de 2014, ingressou no curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, graduando-se em agosto de 2018.

Em 2015, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) no Laboratório de Hidráulica e Irrigação, como bolsista (PIBIC), sob a orientação dos Professores Dr. Marconi Batista Teixeira e Frederico Antonio Loureiro Soares, até a conclusão da graduação em 2018.

Em agosto de 2018, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em setembro de 2020.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS.....	14
ÍNDICE DE FIGURAS	14
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	14
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	14
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	18
1.1 Referências bibliográficas.....	21
2 OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo Geral.....	24
2.2 Objetivos Específicos.....	24
3 CAPÍTULO I	25
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
3.1 INTRODUÇÃO	26
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.2.1 Caracterização e localização da área experimental	28
3.2.2 Delineamento experimental	30
3.2.3 Caracterização das águas residuárias	30
3.2.4 Determinação da dose de água residuária de piscicultura e suinocultura	31
3.2.5 Implantação do experimento	32
3.2.6 Variáveis analisadas	34
3.2.6.1 Teores de clorofilas.....	34
3.2.6.2 Acúmulo de matéria seca.....	34
3.2.6.3 Produção	35
3.2.7 Análises Estatísticas	36
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
3.3.1 Teores de clorofilas	36
3.3.2 Acúmulo de matéria seca	43
3.3.3 Produção.....	49
3.4 CONCLUSÕES	55
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
4 CAPÍTULO II.....	61

RESUMO.....	61
ABSTRACT.....	62
4.1 INTRODUÇÃO.....	62
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	64
4.2.1 Caracterização e localização da área experimental.....	64
4.2.2 Delineamento experimental.....	66
4.2.3 Caracterização das águas residuárias.....	67
4.2.4 Determinação da dose de água residuária de piscicultura e suinocultura.....	68
4.2.5 Implantação do experimento.....	69
4.2.6 Variáveis analisadas.....	71
4.2.6.1 Estado nutricional da planta.....	71
4.2.6.2 Teor e acúmulo de macronutrientes nos restos culturais e nos grãos, na ocasião da colheita.....	71
4.2.6.3 Extração, exportação e partição dos macronutrientes.....	72
4.2.7 Análises Estatísticas.....	73
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.3.1 Estado nutricional: Macronutrientes.....	73
4.3.2 Acúmulo, extração e exportação de macronutrientes.....	75
4.3.3 Particionamento dos macronutrientes no tecido vegetal.....	84
4.4 CONCLUSÕES.....	90
4.5 REFERÊNCIAS.....	90
5 CAPÍTULO III.....	95
RESUMO.....	95
ABSTRACT.....	96
5.1 INTRODUÇÃO.....	96
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	98
5.2.1 Caracterização e localização da área experimental.....	98
5.2.2 Delineamento experimental.....	99
5.2.3 Caracterização das águas residuárias.....	100
5.2.4 Caracterização do sistema de irrigação.....	101
5.2.5 Avaliação da uniformidade e grau de entupimento do sistema de irrigação....	101
5.2.6 Análises Estatísticas.....	103
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103

5.4 CONCLUSÕES	113
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - ÍNDICE DE CLOROFILA E ACÚMULO DE BIOMASSA E DE GRÃOS PELA CULTURA DO MILHO FERTIRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA EM DIFERENTES DILUIÇÕES

- Tabela 1.** Características físico-químicas do solo, coletado na camada de 0,00–0,20 m de profundidade, utilizado para o preenchimento dos vasos..... 29
- Tabela 2.** Características físico-químicas da água residuária de suinocultura e piscicultura utilizada para a fertirrigação do milho..... 31

CAPÍTULO II - ESTADO NUTRICIONAL E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES PELO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA EM DIFERENTES DILUIÇÕES

- Tabela 1.** Características físico-químicas do solo, coletado na camada de 0,00–0,20 m de profundidade, utilizado para o preenchimento dos vasos..... 66
- Tabela 2.** Características físico-químicas da água residuária de suinocultura e piscicultura utilizada para a fertirrigação do milho..... 67

CAPÍTULO III - UNIFORMIDADE DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUPERFICIAL EM FUNÇÃO DA FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA DILUÍDAS

- Tabela 1.** Características físico-químicas do solo, coletado na camada de 0,00–0,20 m de profundidade, utilizado para o preenchimento dos vasos..... 99
- Tabela 2.** Características físico-químicas da água residuária de suinocultura e piscicultura utilizada para a fertirrigação do milho..... 100

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I - ÍNDICE DE CLOROFILA E ACÚMULO DE BIOMASSA E DE GRÃOS PELA CULTURA DO MILHO FERTIRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA EM DIFERENTES DILUIÇÕES

Figura 1.	Dados metereológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2019).....	29
Figura 2.	Preparo das diluições da água residuária de suinocultura (A e B) e piscicultura (C e D) para a fertirrigação do milho.....	33
Figura 3.	Período antes (A) e após o desbaste (B) das plantas de milho.....	34
Figura 4.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a clorofila a (CLRa) no milho aos 30 dias após a semeadura (DAS) (A e B) e, CLRa no milho em função das fontes de água residuária aos 90 DAS (C), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	38
Figura 5.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a clorofila b (CLRb) no milho aos 30 (A e B), 60 (C e D) e 90 dias após a semeadura (DAS) (E e F), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	39
Figura 6.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a clorofila total (CLRt) no milho aos 30 dias após a semeadura (DAS) (A e B) e, CLRt no milho em função das fontes de água residuária aos 90 DAS (C), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	41
Figura 7.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a leitura SPAD na folha de milho aos 30 dias após a semeadura (DAS) (A e B) e leitura SPAD na folha de milho aos 60 (C) e 90 (D) DAS em função das fontes de água residuária, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	42
Figura 8.	Massa seca das folhas (MSF) do milho em função das diluições e fontes de água residuária aos 30 (A e B) e 60 (C e D) dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	44
Figura 9.	Massa seca do colmo (MSC) do milho em função das diluições e fontes de água residuária aos 30 (A e B) e 60 (C e D) dias após a semeadura (DAS), e MSC em função das fontes de água residuária aos 90 (E) e 110 (F) DAS, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	46
Figura 10.	Massa seca da parte aérea (MSPA) do milho em função das diluições e fontes de água residuária aos 30 (A e B) e 60 (C e D)	47

	dias após a semeadura (DAS), e MSPA em função das fontes de água residuária aos 90 (E) e 110 (F) DAS, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	
Figura 11.	Razão de massa seca das folhas pela massa seca da parte aérea (MSF/MSPA) do milho em função das diluições (A) e fontes (B) de água residuária aos 110 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	48
Figura 12.	Razão de massa seca do colmo pela massa seca da parte aérea do milho em função das diluições (A) e fontes (B) de água residuária aos 110 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	48
Figura 13.	Número de fileira de grãos (NFG) de milho em função das diluições de água residuária (A) e número de grãos por fileira (NGF) em função das fontes de água residuária (B), Rio Verde, Goiás, 2019.....	50
Figura 14.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o tamanho do grão (TG) de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	50
Figura 15.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a massa seca de grãos (MSG) de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	51
Figura 16.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a produtividade de grãos de milho (PROD) (A e B) e para a quantidade de sacas produzidas por hectare (SCHA) (C e D), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	53
Figura 17.	Índice de colheita (IC) do milho em função das fontes de água residuária, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	54
 CAPÍTULO II - ESTADO NUTRICIONAL E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES PELO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA EM DIFERENTES DILUIÇÕES		
Figura 1.	Localização do experimento na área do IFGoiano – Campus Rio Verde.....	64
Figura 2.	Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2019).....	65
Figura 3.	Croqui do delineamento experimental.....	67
Figura 4.	Preparo das diluições da água residuária de suinocultura e piscicultura para a fertirrigação do milho.....	70

Figura 5.	Período antes e após o desbaste das plantas de milho.....	71
Figura 6.	Teor de nitrogênio (N) em função das fontes de água residuária (A) e de fósforo (P) em função das diluições (B), na parte aérea do milho no florescimento, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	74
Figura 7.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o teor de cálcio (Ca) na parte aérea do milho no florescimento, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	75
Figura 8.	Acúmulo de nitrogênio (N) (A), potássio (K) (B), cálcio (Ca) (C) e magnésio (Mg) (D) na palha do milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	76
Figura 9.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo de fósforo (P) na palha do milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	77
Figura 10.	Acúmulo de potássio (K) (A), magnésio (Mg) (B) e enxofre (S) (C) nos grãos de milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	78
Figura 11.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo de nitrogênio (N) nos grãos de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	79
Figura 12.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo de fósforo (P) nos grãos de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	80
Figura 13.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo de cálcio (Ca) nos grãos de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	81
Figura 14.	Acúmulo total de potássio (K) (A), cálcio (Ca), Magnésio (Mg) (C) e enxofre (S) (D) na planta de milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	82
Figura 15.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo total de nitrogênio (N) (A e B) e fósforo (P) (C e D) na planta de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	84

Figura 16.	Particionamento do acúmulo de fósforo (P) (A e B), potássio (K) (C e D), e enxofre (S) (E e F) na planta de milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	86
Figura 17.	Particionamento do acúmulo de fósforo (P) (A e B), potássio (K) (C e D), e enxofre (S) (E e F) na planta de milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.....	88
CAPÍTULO III - UNIFORMIDADE DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUPERFICIAL EM FUNÇÃO DA FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA DILUÍDAS		
Figura 1.	Sucção, bombeamento e recalque (A) e, linha principal e de gotejamento (B) do sistema de irrigação.....	101
Figura 2.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) do sistema de irrigação por gotejamento, Rio Verde, Goiás.....	105
Figura 3.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o coeficiente de uniformidade absoluto (CUA) do sistema de irrigação por gotejamento, Rio Verde, Goiás.....	106
Figura 4.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a vazão relativa (Qr) do sistema de irrigação por gotejamento, Rio Verde, Goiás.....	107
Figura 5.	Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o grau de entupimento (GE) do sistema de irrigação por gotejamento, Rio Verde, Goiás.....	108
Figura 6.	Coefficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) em função das diluições (A) e fontes de água residuária (B) e, coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) do sistema de irrigação por gotejamento em função das diluições (C) e fontes de água residuária (D), Rio Verde, Goiás.....	110
Figura 7.	Coefficiente de uniformidade de Hart (CUH) em função das diluições (A) e fontes de água residuária (B) e, eficiência padrão da HSPA (UDH) do sistema de irrigação por gotejamento em função das diluições (C) e fontes de água residuária (D), Rio Verde, Goiás.....	111
Figura 8.	Coefficientes de variação (CV) do sistema de irrigação por gotejamento em função das diluições (A) e fontes de água residuária (B), Rio Verde, Goiás.....	112

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado
%	Porcentagem
\bar{X}	Vazão média dos gotejadores
°C	Graus Celsius
AC _G	Acúmulo do nutriente nos grãos
AC _{PA-G}	Acúmulo do nutriente na palha ou nos grãos
AC _{PL}	Acúmulo do nutriente na palha
AC _T	Acúmulo total do nutriente na planta
Al	Alumínio
ARP	Água residuária de piscicultura
ARS	Água residuária de suinocultura
B	Boro
bar	Bar
Ca	Cálcio
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CLR _a	Clorofila <i>a</i>
CLR _b	Clorofila <i>b</i>
CLR _t	Clorofila <i>total</i>
cm	Centímetro
cm ⁻³	Centímetro cúbico
cmol _c	Centimol de carga
CO ₂	Dióxido de carbono
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
CUA	Coefficiente de Uniformidade Absoluto
CUC	Coefficiente de Uniformidade de Christiansen
CUD	Coefficiente de Uniformidade de Distribuição
CUE	Coefficiente de Uniformidade Estatístico
CUH	Coefficiente de Uniformidade de Hart
cv	Cavalo-vapor
CV	Coefficiente de variação
D	Diluição
DAR	Dose de água residuária
DAS	Dias após a sementeira
DESP	Diâmetro de espiga
dm ⁻³	Decímetro cúbico
dS	DeciSiemens
DSBG	Diâmetro do sabugo
EXP	Exportação do nutriente pelos grãos
EXT	Extração do nutriente pelo milho
F	Fonte
FDR	Frequency domain reflectometry
Fe	Ferro
g	Gramas
GE	Grau de entupimento
H	Hidrogênio
h	Horas

ha	Hectare
IC	Índice de Colheita
ICF	Índices de Clorofila Falker
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
kg	Kilograma
L	Litros
Lvdf	Latossolo Vermelho distroférico
M%	Saturação por alumínio
M.O	Matéria orgânica
M	Massa de água coletada
m	Metro
m ³	Metro cúbico
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
min	Minuto
mm	Milímetro
Mn	Manganês
MSC	Matéria seca do colmo
MSF	Matéria seca das folhas
MSG	Massa seca de grãos
MSGESP	Massa seca de grãos por espiga
MSPA	Matéria seca da parte aérea
N	Nitrogênio
n	Número de gotejadores observados
N ₂ O	Óxido nitroso
Na	Sódio
Nabs	Absorção de nitrogênio
Namon	Nitrogênio amoniacal
NESP	Número de espigas
NFG	Número de fileiras de grãos
NGF	Número de grãos por fileira
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Amônio
Nitrato	Nitrogênio nítrico
NO ₃ ⁻	Nitrato
Norg	Nitrogênio orgânico
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
P	Fósforo
P ₂ O ₅ ⁻	Pentóxido de fósforo
pH	Potencial de hidrogênio
PL	Palha
P _N	Particionamento do nutriente na palha e grãos
PR	Recuperação do N mineral pela cultura
PROD	Produtividade de grãos
Prof.	Profundidade
Psi	Pound force per square inch
q	Vazão do gotejador
Q _i	Vazão do emissor no primeiro dia de irrigação

$Q_{\text{média}}$	Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea
Q_{novo}	Vazão do gotejador novo
Q_r	Vazão relativa
Q_{usado}	Vazão do gotejador usado
$Q_{x,y}$	Vazão de um emissor x num dia y de irrigação
S	Desvio padrão dos dados de vazão
S	Enxofre
SB	Soma de bases
SCHA	Sacas por hectare
SPAD	Soil Plant Analysis Development
t	Tempo de coleta
T	Tonelada
TG	Tamanho do grão
T_G	Teor do nutriente nos grãos
T_{m1}	Taxa anual de mineralização da matéria orgânica já existente no solo
T_{m2}	Taxa de mineralização do nitrogênio orgânico
T_{PA}	Teor do nutriente na palha
UDH	Eficiência padrão da HSPA
V%	Saturação por bases
$X_{25\%}$	Média de 25% do total de gotejadores com as menores vazões
X_i	Vazão de cada gotejador
Zn	Zinco

RESUMO

ALVES, D. K. M. **Desenvolvimento, produtividade e estado nutricional de milho fertirrigado com água residuária de piscicultura e suinocultura diluídas**. ano. 124p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais importantes do mundo, sendo uma cultura exigente em nutrientes, principalmente o nitrogênio, portanto, fontes alternativas de nutrientes para a cultura apresentam benefícios agrônomo, ambiental e econômico, principalmente quando relacionadas ao fornecimento deste nutriente à planta. Conforme o exposto, objetivou-se com este estudo avaliar os teores de clorofila nas folhas, a produção de matéria seca e de grãos, o balanço nutricional de macronutrientes do milho fertirrigado via gotejamento superficial com água residuária de suinocultura e piscicultura em diferentes diluições, assim como o desempenho hidráulico do sistema de irrigação utilizado. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. O solo utilizado foi coletado da camada de 0-0,20 m, de um Latossolo Vermelho distroférrico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2×4 , com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária + 0, 25, 50, 75% de seu volume em água de abastecimento. Foram avaliados os teores de clorofilas nas folhas, o acúmulo de matéria seca da parte aérea e os parâmetros produtivos. Além disso, foi avaliado o estado nutricional do milho no florescimento e, após a colheita, o acúmulo, a extração e exportação dos macronutrientes. O sistema de irrigação por gotejamento superficial teve seu desempenho hidráulico avaliado após a aplicação das águas residuárias, em que, com os dados de vazão média dos gotejadores determinando o desempenho hidráulico do sistema com base nos cálculos de coeficientes de uniformidade, eficiência padrão da HSPA, vazão relativa, coeficiente de variação e o grau de entupimento. A fonte água residuária de suinocultura proporciona o maior teor de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e leitura SPAD no final do ciclo do milho. A maior produção de massa seca do colmo, massa seca da parte aérea e partição da matéria seca do colmo em relação à matéria seca da parte aérea são obtidas quando utilizada a fonte de água residuária de suinocultura. A água residuária de suinocultura proporciona o maior tamanho de grão, massa seca e produtividade de grãos e, índice de colheita do milho. A água residuária de suinocultura e piscicultura apresenta potencial para suprir a demanda nutricional da cultura do milho, podendo substituir parcialmente a adubação mineral. Em relação ao aspecto nutricional da planta, a água residuária de suinocultura é a melhor opção para fertilização da cultura do milho, em qualquer uma das diluições, comparada à água de piscicultura. Independente da fonte de água residuária utilizada na fertirrigação do milho, o aumento na diluição proporciona o melhor desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento superficial após a fertirrigação. O uso do sistema de irrigação por gotejamento operando com água residuária de suinocultura e piscicultura não compromete a uniformidade de distribuição de água às plantas.

Palavras-chave: *Zea mays* L., adubação nitrogenada, reuso da água, estado nutricional, irrigação localizada, gotejamento superficial, reciclagem de nutrientes.

ABSTRACT

ALVES, D. K. M. **Development, grain yield and nutritional status of maize fertigated with diluted fish and swine wastewater.** 2020. 124p. Dissertation (Master in Agricultural Sciences – Agronomy). Federal Institute Goiano – *Campus Rio Verde* – GO, Brazil.

Corn (*Zea mays* L.) is one of the most important cereals in the world, being a nutrient-demanding crop, especially nitrogen, so alternative sources of nutrients for crop have agronomic, environmental and economic benefits, especially when related to nitrogen supply to the plant. As stated above, the aim of this study was to evaluate the levels of chlorophyll in the leaves, the dry matter and grains production, the nutritional balance of macronutrients in fertigated corn by drip with swine and fish farming waste water at different dilutions, as well as the hydraulic performance of the irrigation system used. The experiment was carried out in plastic vases, arranged in the open, at the experimental station of the Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde – GO, Brazil. The soil used was classified as dystrophic Red Latosol, Cerrado phase, with a clay texture. The experimental design used was in randomized blocks, analyzed in a 2×4 split plot scheme, with three replications. The treatments consisted of two sources of waste water (fish and swine farming) diluted in four proportions of water supply, being: recommended dose of waste water + 0, 25, 50, 75% of its volume in water supply. The levels of chlorophyll in leaves, the dry matter accumulation of the aerial part and the productive parameters were evaluated. In addition, the nutritional status of corn at flowering and, after harvest, the accumulation, extraction and export of macronutrients were evaluated. The surface drip irrigation system had its hydraulic performance evaluated after the wastewater application, in which, with the data of the drippers average flow, the hydraulic performance of the system was determined based on the calculations of uniformity coefficients, HSPA standard efficiency, relative flow, variation coefficient and the degree of clogging. The source of swine wastewater provides the highest content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and SPAD reading at the end of the corn cycle. The highest dry mass of stalk, dry mass of the aerial part and dry matter partition of stalk in relation to the dry matter of the aerial part is obtained when using the swine wastewater source. Swine wastewater provides the largest size, dry mass and grain yield and corn harvest index. Swine and fish farming wastewater have the potential to supply the nutritional demand of corn, and may partially replace mineral fertilization. Regarding the nutritional aspect of the plant, swine wastewater is the best option for fertilizing the corn crop, in any of the dilutions, compared to fish farming water. Regardless of the wastewater source used in corn fertigation, the increase in dilution provides the best hydraulic performance of the surface drip irrigation system after fertigation. The use of the drip irrigation system operating with swine and fish farming wastewater does not compromise the uniformity of water distribution to the plants.

Keywords: *Zea mays* L., nitrogen fertilization, water reuse, nutritional status, localized irrigation, uniformity.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho é uma cultura que possui cadeia produtiva de grande importância socioeconômica no cenário do agronegócio brasileiro (ABREU, 2019). Ao longo das primeiras duas décadas do século XXI, houve expressiva reestruturação do mercado brasileiro em termos de composição da oferta e demanda do milho (CONAB, 2019a).

A importância desse cereal está associada com sua versatilidade, pois serve tanto para uso animal, sobretudo para a confecção de rações, como para indústria de alta tecnologia (OLIVEIRA NETO et al., 2016), além de ter valor energético e ser empregado como fonte de alimento (SOLOGUREN, 2015). Portanto, o milho é considerado uma cultura estratégica para o alicerce da agricultura brasileira, compondo diversos sistemas de cultivos e alcançando nas últimas décadas o patamar de maiores culturas agrícolas do mundo, ultrapassando a marca de 1 bilhão de toneladas anualmente (CONTINI et al., 2019).

Na safra 2018/2019, a produção mundial de milho foi de 1,12 bilhão de toneladas, sendo 2,9% superior à safra 2017/2018 (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA, 2019). No Brasil, a produção total na safra 2018/2019 foi de 101,0 milhões de toneladas, cultivadas em 17,33 milhões de hectares, superada apenas pelos Estados Unidos, seguido da China (CONAB, 2019b).

A produtividade, assim como a qualidade do milho são positivamente influenciadas pela adubação nitrogenada, em razão de aumento de número de grãos por espiga e nos teores de proteína e nutrientes minerais (CANTARELLA, 2007; SILVA et al., 2015). O nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, sendo o que mais frequentemente limita a produtividade de grãos, pois exerce importante função nos processos bioquímicos da planta, como constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e clorofila, além de atuar nos processos de divisão e expansão celular (FORNASIERI FILHO, 2007). Segundo Von Pinho (2009), o N é o nutriente absorvido em maior quantidade, seguido em ordem decrescente pelo potássio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. (MOREIRA, 2015).

A absorção de N ocorre principalmente na forma de ânion nitrato (NO_3^-), mas também pode ser absorvido na forma de cátion amônio (NH_4^+). A forma nítrica é rapidamente absorvida, mas também mais susceptível à lixiviação com a água. Já a forma amoniacal, é perdida em menores proporções, por ser fixada pelas partículas do solo (BARBOSA, 2017). No que se refere à exportação dos nutrientes nos grãos, o fósforo é quase todo translocado para as sementes (80 a 90%), seguido do nitrogênio

(75%), enxofre (60%), magnésio (50%), potássio (20-30%) e cálcio (10-15%) (COELHO e FRANÇA, 1995; CABRAL FILHO, 2019).

Normalmente, no Brasil, a maior parte da adubação com os nutrientes NPK, tem sido realizada por meio de fertilizantes minerais; no entanto, o aproveitamento de fontes alternativas de nutrientes configura em excelente oportunidade de reciclagem de nutrientes ao solo, além de ser uma forma de destinação final mais adequada para alguns resíduos animais que são produzidos em elevadas quantidades, sendo considerados passivos ambientais.

Diversos estudos realizados relatam a eficiência da utilização das águas residuárias na fertirrigação agrícola como opção para suprir as necessidades hídricas e nutricionais das plantas (MARQUES et al., 2017; KUMMER et al., 2018). A água destinada ao reúso na irrigação deve atender as recomendações da Organização Mundial da Saúde para a qualidade microbiológica (WHO, 2006); entretanto, o Brasil ainda não dispõe de normatização técnica específica para os sistemas de reúso, somente resoluções estaduais e leis municipais que regulamentam essa prática e restringem alguns parâmetros (PINHO SOBRINHO; FERNANDES, 2018).

Muitos dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas são encontrados em níveis consideráveis nas águas residuárias (ALVES et al., 2018) de origem animal, em especial de suinocultura e de piscicultura, e vegetal, a exemplo de setor sucroalcooleiro (vinhaça). Apesar de serem ricos em nutrientes, esses efluentes são potencialmente poluidores, quando lançados de forma inadequada nos recursos hídricos, pois são constituídos essencialmente de altas cargas de matéria orgânica e nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que potencializam o processo de eutrofização, além de disseminar microrganismos patogênicos, podendo causar a desestruturação do ecossistema aquático ali presente (LUCA et al., 2017).

A suinocultura é uma atividade expressiva na balança comercial brasileira, e suas unidades produzem quantidade significativa de dejetos que, juntamente com a limpeza das excretas das baias, geram grande volume de água residuária (ROS et al., 2017). Somente o estado de Goiás é detentor de aproximadamente 58 mil matrizes em produção, e considerando que um suíno com faixa de peso de 50 a 100 kg produz entre 5,5 e 7,5 litros diariamente de dejetos líquido (LOCATELLI et al., 2019), gera a cerca de 3,2 milhões de m⁻³ de água residuária (KONZEN, 2006); contudo, esses resíduos contêm teores de nutrientes que podem melhorar as propriedades físicas químicas e

biológicas do solo, possibilitando seu aproveitamento na agricultura, que configura em reciclagem de nutrientes (SCHERER et al., 2007).

A exemplo da suinocultura, outra atividade caracterizada pela grande produção de água residuária rica em nutrientes é a piscicultura (criação de peixes), um ramo da aquicultura que tem apresentado altos índices de crescimento no Brasil, desde meados da década de 1990, quando a atividade passou a ser encarada como sistema alternativo de produção capaz de gerar renda (ALMEIDA; MENDES, 2016). Um dos maiores impactos ambientais da piscicultura é a disposição dos efluentes sem tratamento nos ecossistemas aquáticos, que provoca redução no oxigênio dissolvido e aumento de turbidez, em função da concentração de nutrientes nessas fontes de água residuária. Durante o ciclo de cultivo dos peixes, ocorre o acúmulo de resíduos orgânicos nos tanques e nos viveiros por adição de fertilizantes, excretas dos peixes e restos de ração não consumidos (SILVA, 2019). Estimativas indicam que as taxas de excreção de nutrientes por peixes mantidos por uma dieta com 35-40% de proteína e, com conversão alimentar de 1:1,5 são de aproximadamente 0,025 kg de nitrogênio e 0,033 kg de fósforo kg^{-1} de biomassa produzida (COCHAVA et al., 1990), e evidencia ser a água residuária uma interessante fonte de nutrientes.

Em função da sua caracterização, o uso agrícola das águas residuárias de fonte animal se fundamenta em uma alternativa de reciclagem desses dejetos, pois os nutrientes contidos nos mesmos, após mineralizados, são disponibilizados à absorção pelas plantas (BATISTA et al., 2014). Esta técnica atua em concordância com a agricultura conservacionista, cuja prática tem sido difundida e tem demonstrado interesse entre agropecuaristas do Cerrado (DIAS, 2018).

O fornecimento de nutrientes presentes nas águas residuárias para as plantas pode acontecer via sistema de irrigação, processo denominado fertirrigação, cujo método de gotejamento tem sido o mais indicado, em razão de a eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação do produto agrícola, assim como dos operadores no campo. Como desvantagens, os sistemas de irrigação por gotejamento que operam com águas residuárias apresentam suscetibilidade ao entupimento, necessitando de avaliações da vazão e da uniformidade, para garantir eficiência no reúso das águas residuárias (BATISTA et al., 2013; PUIG-BARGUÉS et al., 2010; CAMPÊLO et al., 2014).

Dada a importância socioeconômica do milho no agronegócio brasileiro e a sua alta exigência por N e outros nutrientes, para a obtenção de altas produtividades, as águas residuárias de origem animal (suinocultura e piscicultura) se estabelecem como fonte alternativa de nutrientes para essa cultura. Entretanto, deve-se fazer o manejo adequado durante a aplicação das mesmas, monitorando a fertirrigação de forma a minimizar os riscos de contaminação do solo/lençol freático via lixiviação, visando manter os nutrientes destes resíduos nas camadas de solo exploradas pelo sistema radicular, garantindo a disponibilidade e absorção de nutrientes necessários para o pleno desenvolvimento e produtividade de grãos das plantas de milho.

1.1 Referências bibliográficas

ABREU, P. A. S. **Irrigação por sulcos com efluente de fossa séptica biodigestor como fonte de nitrogênio na cultura do milho**. Dissertação (Agronomia). Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu – SP, 2019.

ALMEIDA, E. R.; MENDES, S. H. A. Criação de peixe no Tocantins: a contribuição da piscicultura para o desenvolvimento local. **Revista São Luis Orione**, v. 9, n. 9, p. 20-33, 2016.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R. D.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; OLIVEIRA, P. M. D. Fertirrigação do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 833-839, 2018.

BARBOSA, W. S. S. **Milho cultivado sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. Dissertação (Agronomia). Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo – AL, 2017.

BATISTA, R. O.; MARTINEZ, M. A.; PAIVA, H. N.; BATISTA, R. A.; CECON, P. R. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 127-135, 2014.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. D.; OLIVEIRA, A. D. F.; AZEVEDO, C. A.; MEDEIROS, S. D. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 698-705, 2013.

CABRAL FILHO, F. R. **Desempenho agrônomico e balanço nutricional na planta de milho fertirrigado com vinhaça concentrada e cloreto de potássio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia). Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde, Rio Verde – GO, 2019.

CAMPÊLO, A. R.; FERNANDES, C. N. V.; SILVA, A. R. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; BEZERRA, F. M. L.; CÂNDIDO, M. J. D. Avaliação de sistemas de irrigação por

aspersão em malha em áreas cultivadas com capim-braquiária. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 35, n. 1, p. 1-12, 2014

COCHAVA, M.; DIAB, S.; AVNIMELECH, Y. M. D.; AMIT, Y. Intensive growth of fish with minimal water exchange. **Fish. Fish-breeding Israel**, v. 23, n.4, p. 174-181, 1990.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2 ed. aum. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras**. Disponível em: <<https://www.Conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 27 de março de 2019a.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.6, Safra 2018/19 - Nono levantamento. **CONAB**: Brasília, 2019b.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E. MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, L. V.; MENDES, S. M.; Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos. In: **Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2)**, EMBRAPA, 2019.

DIAS, D. C. P. **Água residuária de suinocultura como alternativa para fertilização do solo no cerrado**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007.

KONZEN, E. A. Viabilidade ambiental e econômica de dejetos de suínos. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2006.

KUMMER, A. C. B.; GRASSI FILHO, H.; LOBO, T. F.; SOUZA LIMA, R. A. Fertilizante orgânico composto e água residuária no desenvolvimento de trigo irrigado por gotejamento. **Irriga**, v. 22, n. 2, p. 275, 2018.

LOCATELLI, J. L.; BRATTI, F.; RIBEIRO, R. H.; BESEN, M. R.; TURCATEL, D.; PIVA, J. T. Uso de dejetos líquidos de suínos permite reduzir a adubação mineral na cultura do milho?. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 628-637, 2019.

LUCA, S. Q. J.; HUSSAR, G. J.; PARADELA, A. L.; BELI, E. Estudo da eficiência de um sistema de tratamento de efluentes líquidos de suinocultura. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 14, n. 1, 2017.

MARQUES, M. V. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, A. P. M.; SILVÉRIO, T. H. R.; PENIDO, D. L. A.; COSTA, M. T. M.; SILVA, D. A. P. Potencial, economia de água e adubação com a aplicação de efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico na fertirrigação de capim-elefante. **HOLOS**, v. 2, p. 52-64, 2017.

MOREIRA, J. C. **Acúmulo de matéria seca e de nutrientes na cultura do milho verde**. Dissertação (Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN, 2015.

OLIVEIRA NETO, T. I.; COSTA, M. C. G.; OLIVEIRA, V. P. V. Acúmulo de nitrogênio em plantas de milho crioulo em resposta à adubação orgânica. **Revista Equador**, v. 5, n. 4, p. 207-220, 2016.

PINHO SOBRINHO, A. R. B.; FERNANDES, A. C. A. **Análise da viabilidade econômica e ambiental de irrigação com água de reuso da estação de tratamento de esgoto do Campus UFERSA – Caraúbas – RN**. Universidade Federal Rural Do Semiárido – UFERSA, Centro Multidisciplinar De Caraúbas, 2018.

PUIG-BARGUES, J.; ARBAT, G., Elbana, M.; DURAN-ROS, M.; BARRAGÁN, J.; CARTAGENA, F. R.; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 6, p. 883-891, 2010.

ROS, C. O.; SILVA, V. R.; SILVESTREIN, T. B., SILVA, R. F., PESSOTTO, P. P. (2017). Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira De Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 35-44, 2017.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 123-131, 2007.

SILVA, V. P; MORAES, A.; MOLETTA, J. L.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, E. B. Produtividade do milho em um sistema silviagrícola nos Campos Gerais, PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.16, n.1, p.27-32, 2015.

SILVA, V. S. Uso do efluente da piscicultura na fertirrigação de Olerícolas produzidas com base agroecológica. Dissertação (Agroecologia) - Universidade Estadual de Roraima. Boa Vista - Roraima, 2019.

SOLOGUREN, L. Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção In: Milho – Brasil amplia cultivo para atender demanda crescente. **Visão Agrícola**, nº 13, 2015.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Décimo segundo levantamento para a produção de milho safra 2018/19**. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>. Acesso em: 08/08/2019.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; REIS, M. C. D. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater**, Excreta and Greywater, vol. 2. France. ISBN: 92 4 154683 2, 2006.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se com este estudo avaliar os teores de clorofila nas folhas, a produção de matéria seca e de grãos, o balanço nutricional de macronutrientes do milho fertirrigado via gotejamento com água residuária de suinocultura e piscicultura em diferentes diluições, assim como o efeito da fertirrigação no sistema de irrigação utilizado.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os teores de clorofila (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *total* e leitura SPAD) nas folhas do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura e de piscicultura em diferentes diluições;
- Verificar os efeitos da fertirrigação com água residuária de suinocultura e de piscicultura em diferentes diluições, na produção de matéria seca e de grãos do milho;
- Estimar o estado nutricional e o balanço de macronutrientes na planta de milho submetido à fertirrigação com água residuária de suinocultura e de piscicultura em diferentes diluições;
- Averiguar o efeito da fertirrigação na uniformidade do sistema de irrigação por gotejamento superficial operando com água residuária de suinocultura e piscicultura em diferentes diluições.

3 CAPÍTULO I

ÍNDICE DE CLOROFILA E ACÚMULO DE BIOMASSA E DE GRÃOS PELA CULTURA DO MILHO FERTIRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA EM DIFERENTES DILUIÇÕES

RESUMO

O milho, um dos cereais mais importantes do mundo, cuja cultura é exigente em nutrientes, principalmente nitrogênio (N), para seu pleno desenvolvimento e produtividade. A fertirrigação com águas residuárias é uma excelente alternativa do ponto de vista agrônomo e ambiental, para o fornecimento desse macronutriente para a cultura do milho. Com base no exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito comparativo entre a fertirrigação com água residuária de piscicultura e de suinocultura em diferentes diluições no índice de clorofila das folhas, na produção de biomassa seca e de grãos pela cultura do milho. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. O solo utilizado foi coletado da camada de 0,0-0,20 m de um Latossolo Vermelho distroférico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2×4 , com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária + 0, 25, 50, 75% de seu volume em água de abastecimento (aplicada via gotejamento superficial). A fonte água residuária de suinocultura proporciona o maior teor de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *total* e leitura SPAD no final do ciclo do milho. Independente da fonte de água residuária, a diluição de 0% (ausência de diluição) proporciona maior matéria seca da folha, colmo e parte aérea aos 60 dias após a semeadura. A maior massa seca do colmo, massa seca da parte aérea e partição da matéria seca do colmo em relação à matéria seca da parte aérea é obtida quando utilizada a fonte de água residuária de suinocultura. A água residuária de suinocultura proporciona o maior tamanho, massa seca e produtividade de grãos, assim como maior índice de colheita do milho. A água residuária de piscicultura aplicada via sistema de irrigação sem diluição (0%) ou a água residuária de suinocultura na diluição de 75% são as mais adequadas para a obtenção do maior tamanho, massa seca e produtividade de grãos de milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L., adubação nitrogenada, efluentes, nitrogênio, resíduos orgânicos, reciclagem de nutrientes, reuso da água.

CHLOROPHYLL INDEX AND BIOMASS AND GRAIN ACCUMULATION BY FERTIRRIGATED CORN CULTURE WITH PISCICULTURE AND SWINE CULTURE WASTEWATER IN DIFFERENT DILUTIONS

ABSTRACT

Corn, one of the most important cereals in the world, is a crop that requires nutrients, mainly nitrogen, for its full development and productivity. Fertigation with wastewater is an excellent alternative from an agronomic and environmental point of view, for the supply of this macronutrient in corn cultivation. Based on the above, the objective of this study was to evaluate the comparative effect between fertigation with fish and swine wastewater at different dilutions in the leaf chlorophyll index, in the dry biomass and grains production by corn. The experiment was carried out in plastic vases, arranged in the open, at the experimental station of the Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde – GO, Brazil. The soil used was classified as a dystrophic Red Latosol, Cerrado phase, with a clay texture. The experimental design used was in randomized blocks, analyzed in a 2×4 split plot scheme, with three replications. The treatments consisted of two sources of waste water (fish and pig farming) diluted in four proportions of water supply, being: recommended dose of waste water + 0, 25, 50, 75% of its volume in water supply. The swine wastewater source provides the highest content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and SPAD reading at the end of the corn cycle. Regardless of the wastewater source, the dilution of 0% provides greater dry matter of the leaf, stem and shoot at 60 days after planting. The largest dry mass of stalk, dry mass of the aerial part and dry matter partition of stalk in relation to the dry matter of the aerial part is obtained when the source of swine wastewater is used. Swine wastewater provides the largest size, dry mass and grain yield and corn harvest index. Wastewater from fish farming applied by irrigation system without dilution (0%) or swine wastewater at 75% dilution are the most suitable for obtaining the largest size, dry mass and productivity of corn grains.

Keywords: *Zea mays* L., nitrogen fertilization, effluents, nitrogen, organic residues, nutrient recycling, water reuse.

3.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é mundialmente uma das culturas mais importantes do ponto de vista econômico e social, destacando-se como o cereal mais consumido e produzido no mundo (SOLOGUREN, 2015). No Brasil, a produção total de milho na safra 2018/2019 foi de 101,0 milhões de toneladas, com produtividade média de 5.605 g ha⁻¹ (CONAB, 2019). Em âmbito nacional, o cultivo do milho se apresenta como um dos principais segmentos econômicos do agronegócio brasileiro, sendo o segundo grão mais exportado (SOUZA et al., 2018).

O milho está presente em todos os estados brasileiros, todavia com níveis tecnológicos bem distintos, de acordo com cada região, cujo estado de Goiás é o quarto

maior produtor de milho do Brasil, participando com quase 10% de toda produção nacional (ALVES NETO, 2019). Rio Verde, situado no sudoeste goiano, representa um dos seis principais municípios produtores de milho de Goiás, com produção de 1.328,100 mil toneladas, que correspondem a 14% da produção total do Estado (IBGE, 2018), de forma que existe tendência natural de crescimento na demanda e produtividade dessa cultura.

Aliado ao acréscimo de produtividade, está o aumento do requerimento nutricional, cujo nitrogênio (N) é o nutriente mais absorvido e extraído pela cultura do milho (MOREIRA et al., 2019). Dados de extração total de N, situam-se entre 216 e 362 kg ha⁻¹ para produtividades entre 10.000 a 14.000 kg ha⁻¹ de grãos, conforme relatado por Coelho e França (1995) e Von Pinho et al. (2009). Este nutriente desempenha papel fundamental como constituinte essencial dos aminoácidos, principais integrantes de proteínas no milho (GONÇALVES et al., 2016), portanto, é o nutriente que mais influencia na produção de clorofila, acúmulo de matéria seca e a produtividade de grãos (SILVA et al., 2013) e o que mais onera o custo de produção (MELO et al., 2011).

A principal fonte de N para as plantas é o solo, e a matéria orgânica é a fração do solo mais rica nesse nutriente. Porém, para atender as exigências nutricionais da cultura do milho e para repor o N exportado pela colheita dos grãos, há a necessidade de adicionar N aos sistemas produtivos (OLIVEIRA NETO et al., 2016), que na maioria das vezes acontece via fertilizantes minerais nitrogenados.

Dentre os fertilizantes nitrogenados mais utilizados no Brasil e no mundo, a ureia é a mais empregada para adubação em culturas, principalmente em gramíneas, pela alta concentração de N e ao menor preço por unidade de nutriente aplicado. Mas, por ser um produto muito instável, quando aplicada ao solo, a ureia pode sofrer reações, liberando o óxido nitroso (N₂O), um gás de efeito estufa com poder de aquecimento global 310 vezes maior que o do CO₂ (IEA, 2015). Além de perdas de N por volatilização de amônia (NH₃), pela ação da enzima urease presente no solo. O aumento dos custos de adubos nitrogenados e os cuidados com a preservação ambiental, têm conduzido a uma situação de manejo e utilização mais eficiente do nitrogênio (LOPES e LIMA 2011). Diante dessa situação, torna-se necessária a busca por fontes alternativas de adubação que permitam o cultivo do milho e de outras culturas com menor agressão ao meio ambiente agrícola e maior eficiência econômica, sem causar prejuízos na produtividade de grãos.

A aplicação de água residuária como fonte de adubação nitrogenada é uma das alternativas para a redução no consumo de fertilizantes minerais pelo milho e outras culturas. As fontes de água residuária, majoritariamente, fornecem nutrientes ao solo, tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, entre outros, que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento de diversas culturas (SILVA, 2017). A prática de fertirrigação de culturas anuais e perenes com esses efluentes é considerada uma fonte de adubação orgânica importante, que requer monitoramento no perfil do solo, a fim de garantir sustentabilidade agrícola e ambiental (SILVA et al., 2018).

As águas residuárias provenientes das atividades de suinocultura e piscicultura possibilitam o aporte e reciclagem de nutrientes para as plantas, atuando como complemento no processo de adubação (BASTOS, 2016; NASCIMENTO et al., 2016). Desta forma, viabiliza-se a utilização desses efluentes na agricultura irrigada, conforme já relatado por Cassol et al. (2012), Moraes et al. (2014) e Oliveira Neto et al. (2016), ao constatar efeitos positivos da aplicação de água residuária na produtividade de grãos de milho.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito comparativo entre a fertirrigação via gotejamento superficial com água residuária de piscicultura e de suinocultura em diferentes diluições no índice de clorofila das folhas, na produção de biomassa seca e de grãos pela cultura do milho.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização e localização da área experimental

O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, no período de junho a outubro de 2019, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. A área se encontra a 720 m de altitude e nas coordenadas geográficas de 17°48'28" S e 50°53'57" O. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

A precipitação observada durante os meses de cultivo do milho na safra 2019 foi: junho (0,0 mm); julho (0,0 mm); agosto (0,0 mm); setembro (30,8 mm); outubro (8,4 mm), conforme Figura 1.

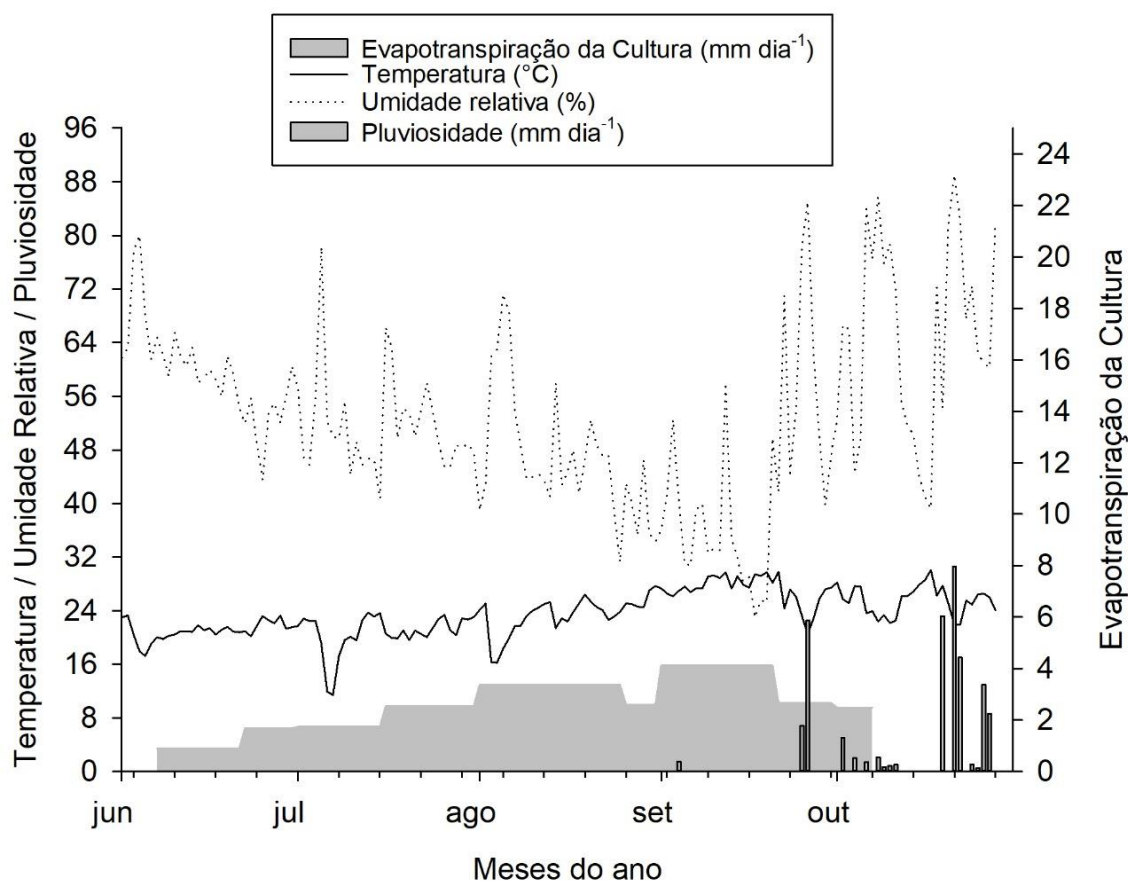


Figura 1. Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2019).

Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO. Pluviômetro instalado na área de cultivo.

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018), coletado na camada de 0,0-0,20 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IF Goiano – Campus Rio Verde. As características físico-químicas desse solo se encontram na Tabela 1, conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Características físico-químicas do solo, coletado na camada de 0,00–0,20 m de profundidade, utilizado para o preenchimento dos vasos.

Prof. ¹	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl ₂
(m)	----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----				pH

0,0-0,2	0,77	0,34	1,11	0,04	2,15	0,05	18	9,9	0,47	5,2
	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	SB	CTC	V% ^c	m% ^d
Prof. (m)	----- Micronutrientes (mg dm ⁻³) -----					cmol _c dm ⁻³			Sat. Bases	Sat. Al
0,0-0,2	0,0	75,56	12,96	4,16	3,93	ns	1,16	3,31	35	3,3
	Textura (g kg ⁻¹)			M.O.	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
Prof. (m)	Argila Silte		Areia	g dm ⁻³	----- Relação entre bases -----					
0,0-0,2	502	49	449	15,2	2,3	15,4	6,8	23,26	10,27	1,51

¹P (Fósforo): Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco): Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio): KCl 1 mol L⁻¹; S (Enxofre): Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹; M.O. (Matéria orgânica): Método colorimétrico; B (Boro): água quente. Capacidade de troca catiônica (CTC); soma de bases (SB); saturação de bases (V%); saturação de alumínio (m%).

3.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2×4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária (MATOS E MATOS, 2017) + 0, 25, 50, 75% de seu volume em água de abastecimento, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por quatro vasos com uma planta de milho, totalizando 96 unidades experimentais.

3.2.3 Caracterização das águas residuárias

A água residuária de suinocultura (ARS) foi proveniente da granja de suínos do IF Goiano – Campus Rio Verde, que continha 32 suínos em fase de terminação. Após a coleta, a ARS foi submetida a tratamento anaeróbio em biodigestor até a estabilização da matéria orgânica. A água residuária de piscicultura (ARP) foi obtida em tanque de piscicultura para produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*), com volume de 1.000 litros e densidade de 131 peixes em fase juvenil, com aproximadamente 53 g cada.

Antes de cada fertirrigação foi efetuada a caracterização físico-química e bacteriológica das duas fontes de água residuária conforme as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), cujos valores médios estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas da água residuária de suinocultura e piscicultura utilizada para a fertirrigação do milho.

Parâmetro	Água residuária	
	Suinocultura	Piscicultura
pH	8,10	7,67
Turbidez (NTU)	280,00	3,79
Temperatura (°C)	22,97	22,15
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,01	0,43
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	966,94	587,5
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	3,43	4,60
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	5472,22	175,69
Sólidos fixos (mg L ⁻¹)	3822,92	73,29
Sólidos voláteis (mg L ⁻¹)	1649,30	102,40
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	478,92	91,17
Amônia (mg L ⁻¹)	408,08	30,00
Nitrito (mg L ⁻¹)	<0,01	<0,01
Nitrato (mg L ⁻¹)	41,00	37,00
Nitrogênio kjeldahl (mg L ⁻¹)	437,92	54,17
Nitrogênio orgânico (mg L ⁻¹)	29,12	24,17
Fósforo (mg L ⁻¹)	9,19	5
Potássio (mg L ⁻¹)	147,49	21,0
Cálcio (mg L ⁻¹)	26,65	11,9
Magnésio (mg L ⁻¹)	26,65	11,9

3.2.4 Determinação da dose de água residuária de piscicultura e suinocultura

A dose de água residuária aplicada na fertirrigação do milho foi calculada de acordo com Matos e Matos (2017), levando em consideração a demanda de nitrogênio (N) pela planta, a quantidade de N presente no solo adotado e a concentração de N fornecida pelas águas residuárias, utilizando a equação 1.

$$DAR = \frac{1000 \times \left[N_{abs} - \left(Tm1 \times M.O \times ps \times P \times 10^7 \times 0,05 \times \frac{n}{12} \right) \right]}{\left[Tm2 \times \frac{n}{12} \times N_{org} + (N_{amon} + N_{nitrato}) \times PR \right]} \quad (1)$$

Em que: DAR: dose de água residuária a ser aplicada (m³ ha⁻¹); N_{abs}: absorção de N para obtenção da produtividade desejada (kg ha⁻¹) (SOUSA; LOBATO, 2004); Tm1: taxa anual de mineralização da matéria orgânica já existente no solo (adimensional); M.O: conteúdo de matéria orgânica do solo (kg kg⁻¹); ps = massa específica do solo (t m⁻³); P: profundidade do solo considerada (m); n: duração do ciclo da cultura; Tm2:

taxa de mineralização do nitrogênio orgânico (adimensional); Norg: nitrogênio orgânico (mg L^{-1}); Namon: nitrogênio amoniacal (mg L^{-1}); Nnitrate: nitrogênio nítrico (mg L^{-1}) e PR: recuperação do N mineral pela cultura (adimensional).

Para atender a demanda de nitrogênio pelo milho, visando a produtividade de 10 t ha^{-1} , conforme recomendação de Sousa e Lobato (2004), foram necessários $17,09 \text{ L}$ de água residuária de piscicultura planta⁻¹ e $2,08 \text{ L}$ de água residuária de suinocultura planta⁻¹, parcelados em dois momentos de fertirrigação.

3.2.5 Implantação do experimento

Para a condução deste estudo foram utilizados vasos plásticos de polietileno com capacidade de 25 L . Foi confeccionado no fundo dos vasos um dreno com espessura de 4 cm de brita nº 1. Posteriormente, efetuou-se o preenchimento com 32 kg de solo (densidade do solo = $1,35 \text{ g cm}^{-3}$).

Foi efetuada a correção do pH do solo aplicando, 30 dias antes da semeadura, calcário filler calcítico na dose de 2 t ha^{-1} , correspondendo a aplicação de 20 g vaso^{-1} , segundo a metodologia de elevação da saturação por bases para 70%.

Todas as parcelas dos tratamentos foram adubadas com nitrogênio, fósforo e potássio no sulco de semeadura e, em cobertura a lanço apenas com fósforo e potássio, no estágio fenológico do milho V4 (quatro folhas totalmente desenvolvidas), segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004): 30 kg ha^{-1} de N ($2,42 \text{ g vaso}^{-1}$) na forma de nitrato de amônio; 28 g vaso^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples e $3,2 \text{ g vaso}^{-1}$ de K_2O na forma de cloreto de potássio (KCl) na semeadura; e 10 g vaso^{-1} de P_2O_5 e 5 g vaso^{-1} de cloreto de potássio (KCl) na cobertura.

O fornecimento de nitrogênio na cobertura foi realizado via fertirrigação com água residuária de piscicultura e suinocultura (Figura 2), nos estádios fenológicos V4 e V6, conforme a recomendação de Sousa e Lobato (2004) (100 kg ha^{-1} de nitrogênio), seguindo tratamentos descritos, de forma que o volume de água necessário para fertirrigação foi fracionado de modo a não superar a capacidade de campo do solo.

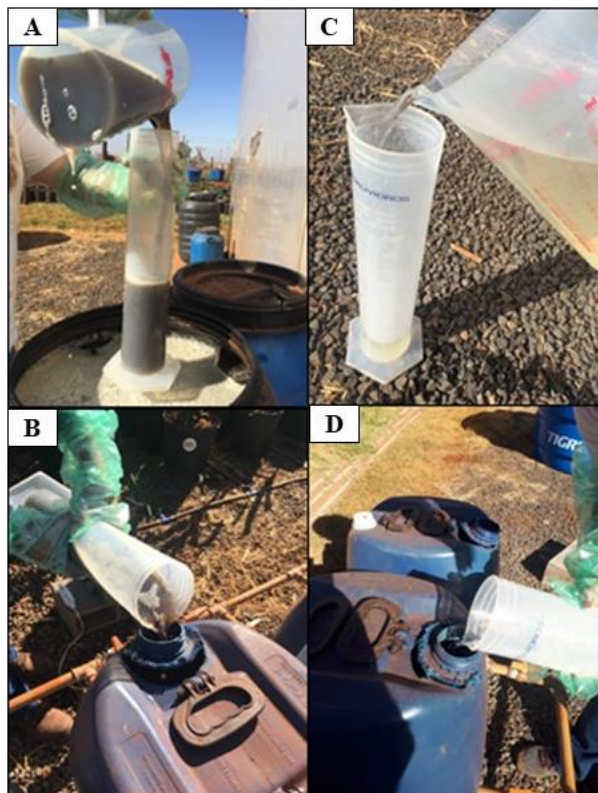


Figura 2. Preparo das diluições da água residuária de suinocultura (A e B) e piscicultura (C e D) para a fertirrigação do milho.

Para determinação da capacidade de campo, o vaso já preenchido com solo foi saturado com água, coberto com uma lona para que não houvesse evaporação da água, e após o período de 48 horas foram efetuadas as leituras da umidade do solo com o sensor FDR, permitindo referenciar a umidade da capacidade de campo igual a $0,42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (42%).

Os vasos tiveram suas umidades elevadas até a capacidade de campo, momento em que foram semeadas 10 sementes de milho Híbrido 2A401PW por vaso. Aos 15 dias após a semeadura (DAS), foi efetuado o desbaste das plantas, deixando apenas uma planta por vaso (Figura 3).

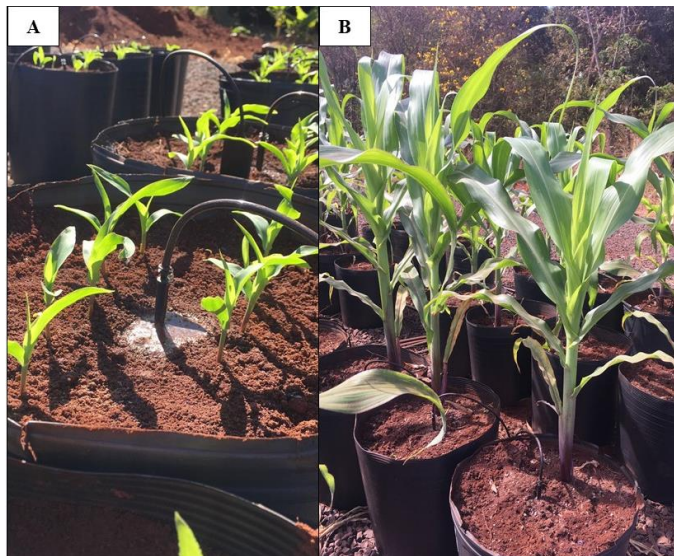


Figura 3. Período antes (A) e após o desbaste (B) das plantas de milho.

Foi efetuado o monitoramento diário da umidade do solo através de sensores de umidade FDR (Frequency domain reflectometry), que tiveram suas hastes completamente inseridas no solo a um raio de 0,10 m da borda do vaso e na profundidade de 0,10 m. O manejo de irrigação foi realizado mantendo a umidade do solo próxima a 100% da capacidade de campo.

3.2.6 Variáveis analisadas

3.2.6.1 Teores de clorofilas

Os teores de clorofilas foram avaliados aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS), quantificando: Clorofila *a* (CLRa); Clorofila *b* (CLR*b*) e a Clorofila *total* (CLR*t*) utilizando o aparelho Falker ClorofiLOG[®] 1030 (FALKER, 2008). O Índice SPAD (SPAD) foi obtido com auxílio do aparelho Minolta SPAD[®] 502 (MINOLTA, 1989).

3.2.6.2 Acúmulo de matéria seca

O acúmulo de matéria seca na parte aérea pelas plantas de milho foi avaliado aos 30, 60, 90 e 110 DAS. Foi quantificado: matéria seca das folhas (MSF – g planta⁻¹); matéria seca do colmo (MSC - g planta⁻¹) e a matéria seca da parte aérea (MSPA - g planta⁻¹).

Para a determinação destas variáveis, após desbaste as plantas foram divididas em folha e colmo, e posteriormente acondicionadas em sacos de papel previamente

identificados com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por período de 72 horas. Em seguida, as massas secas foram determinadas em balança analítica de precisão com resolução de 0,001 g. Com estes resultados, foi possível o cálculo das relações entre massas (partição de fotoassimilados): MSF/MSPA e MSC/MSPA.

3.2.6.3 Produção

Por ocasião da colheita, foram determinados: Número de espigas por planta (NESP); Número de fileiras de grãos (NFG); Número de grãos por fileira (NGF); Tamanho do grão (TG – mm); Massa seca dos grãos (MSG - g planta⁻¹); Produtividade de grãos (PROD – kg ha⁻¹) e a quantidade de sacas por hectare (SCHA).

O TG foi mensurado a partir da diferença entre o diâmetro da espiga e o diâmetro do sabugo através da equação 2.

$$TG = \frac{DESP - DSBG}{2} \quad (2)$$

Em que: TG: tamanho do grão (mm); DESP: diâmetro da espiga (mm) e DSBG: diâmetro do sabugo (mm).

Os grãos foram acondicionados em sacos de papel previamente identificados com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por período indeterminado, até o momento em que os grãos apresentaram 13% de umidade, em seguida, a MSG foi determinada em balança analítica de precisão com resolução de 0,001 g.

A produção por hectare e a quantidade de sacas produzidas, foram estimadas através das Equações 3 e 4 e, o índice de colheita (IC) pela Equação 5.

$$PROD = MSG \times NESP \times 75.000 \quad (3)$$

$$SCHA = PROD / 60 \quad (4)$$

$$IC = \frac{MSG}{MSPA + MSG} \quad (5)$$

Em que: PROD: produtividade de grãos com 13% de umidade (kg ha^{-1}); MSGESP: massa seca de grãos por espiga (kg espiga^{-1}); NESP: número de espigas por planta; 75.000: número de plantas por hectare; SCHA: quantidade de sacas de 60 kg produzidas por hectare; 60: fator de conversão para sacas de 60 kg; IC: índice de colheita e MSG: massa seca de grãos (g planta^{-1}).

3.2.7 Análises Estatísticas

Os dados das variáveis de clorofilas e matéria seca obtidos em cada fase de desenvolvimento e das variáveis produtivas foram submetidos à análise da variância, aplicando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis diluições (D). Para o fator fontes (F) de água residuária, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Teores de clorofilas

Efeito da interação Diluição x Fonte (D x F) foi observado para o teor de Clorofila *a* (CLRa) aos 30 dias após a semeadura (DAS); Clorofila *b* (CLRb) aos 30, 60 e 90 DAS; Clorofila Total (CLRt) e índice SPAD aos 30 DAS. Ocorreu efeito significativo do fator isolado fontes (F) de água residuária para CLRa e CLRt aos 90 DAS e índice SPAD aos 60 e 90 DAS.

Nota-se uma diferença no comportamento da CLRa aos 30 DAS, quando se avalia as diluições em cada fonte de água residuária. Para a fonte água residuária de piscicultura (ARP), o teor de CLRa se adequou a equação polinomial do segundo grau, cuja diluição de 29,5% proporcionou a maior quantidade de CLRa, estimada em 29,20 índices de clorofila Falker (ICF). Já para a fonte água residuária de suinocultura (ARS), a diluição de 37% promoveu menor teor de CLRa (25,3 ICF), enquanto a diluição de 75% proporcionou o maior teor de CLRa (31,39 ICF) (Figura 4A). Os maiores teores de clorofila *a* observados neste estudo são superiores aos obtidos por Martins et al. (2018),

que aos 30 DAS encontraram esse pigmento estimado em 22,86 ICF nas folhas de milho.

Ocorreu diferença significativa quando comparada as fontes de água residuária apenas nas D de 0% e 75% (Figura 4B), em que a fonte ARS proporcionou aumento de 17,11% e 36,96%, respectivamente, na quantidade de *CLRa* quando contrastada com a fonte ARP. Segundo Piekielek et al. (1995), o teor de clorofila na folha é utilizado para prever o nível nutricional de nitrogênio nas plantas, pela quantidade desse pigmento se correlacionar positivamente com o teor de N.

Aos 90 DAS, as fontes tiveram influência na quantidade de *CRLa*, e a fonte ARS apresentou o valor de 34,45 ICF, sendo este, 10,56% superior ao observado com uso da fonte ARP (Figura 4C).

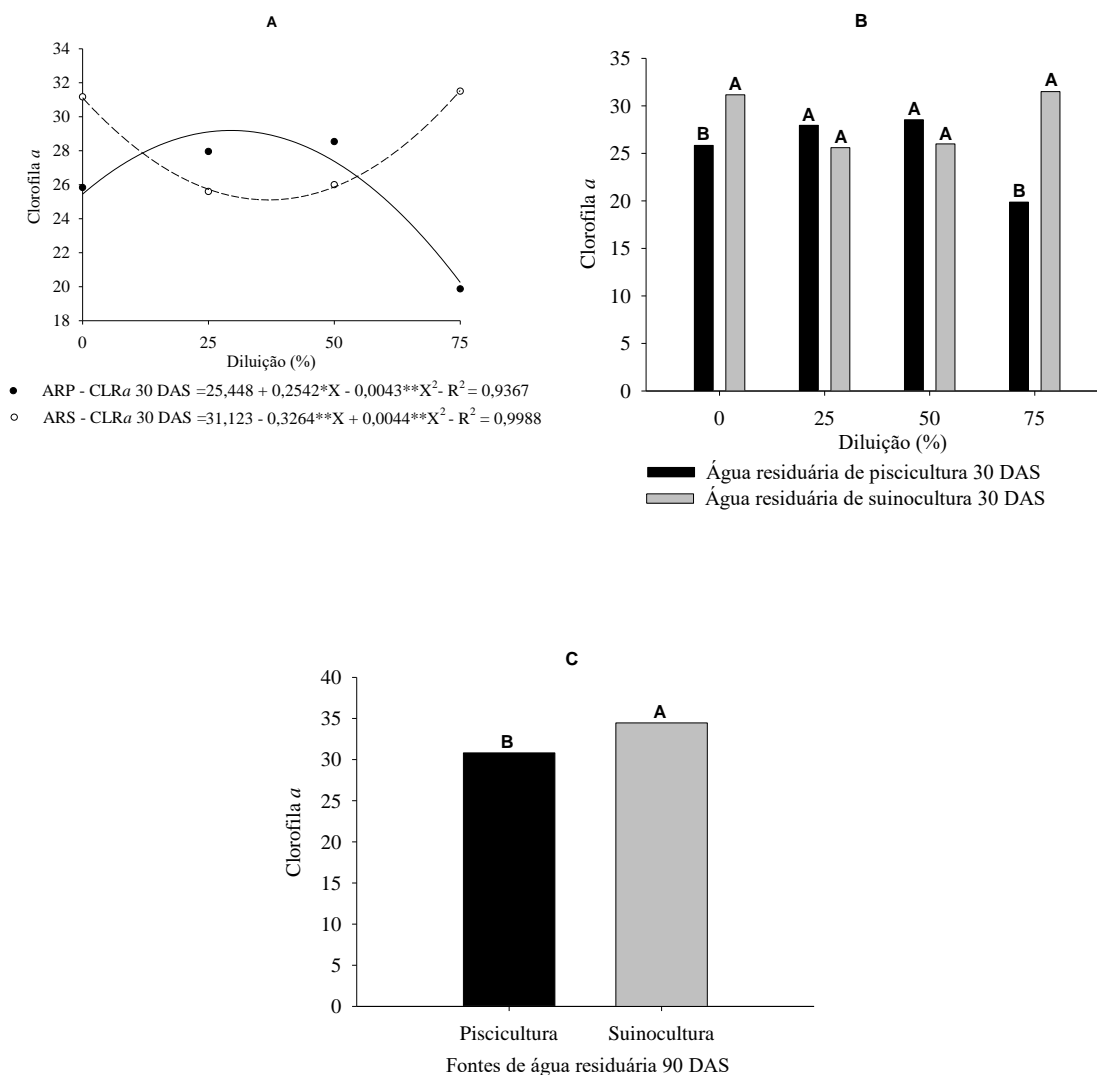


Figura 4. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a clorofila *a* (CLR*a*) no milho aos 30 dias após a semeadura (DAS) (A e B) e, CLR*a* no milho em função das fontes de água residuária aos 90 DAS (C), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Com relação à CLR*b* aos 30 DAS, as diluições de 34% e 50% estimaram o maior e o menor valor para as fontes ARP e ARS, iguais a 6,33 e 4,59 ICF, respectivamente (Figura 5A). Conforme observado na Figura 5C, os dados de CLR*b* aos 60 DAS, para a fonte ARS não se adequaram aos modelos de equações testadas. Para a fonte ARP, a CLR*b* se adequou a equação polinomial do segundo grau, cuja diluição de 43% estimou a maior quantidade de CLR*b* (11,45 ICF). Aos 90 DAS, a maior quantidade de CLR*b* (17,68 ICF) foi estimada na diluição de 35% (Figura 5E) para a fonte ARS, um teor semelhante ao encontrado por Cabral Filho (2019), também nesta mesma fase fenológica do milho, cujos valores máximos obtidos desse pigmento foram próximos a 18,00 ICF.

Ocorreu diferença significativa entre as fontes utilizadas apenas na D de 0% e 75% aos 30 e 60 DAS (Figura 5B e Figura 5D), em que a fonte ARS proporcionou aumento de CLR*b* na ordem de 49,46% e 40,74% aos 30 e 60 DAS, respectivamente, na diluição de 0% e, de 38,92 e 21,13% aos 30 e 60 DAS, respectivamente, na diluição de 75%, quando contrastada com a fonte ARP. Contudo, aos 90 DAS, houve diferença significativa entre as fontes nas diluições de 25%, 50% e 75%, cuja fonte ARS apresentou, respectivamente, a quantidade 46,38, 41,29 e 28,64% superior de CLR*b* em comparação à fonte ARP (Figura 5F).

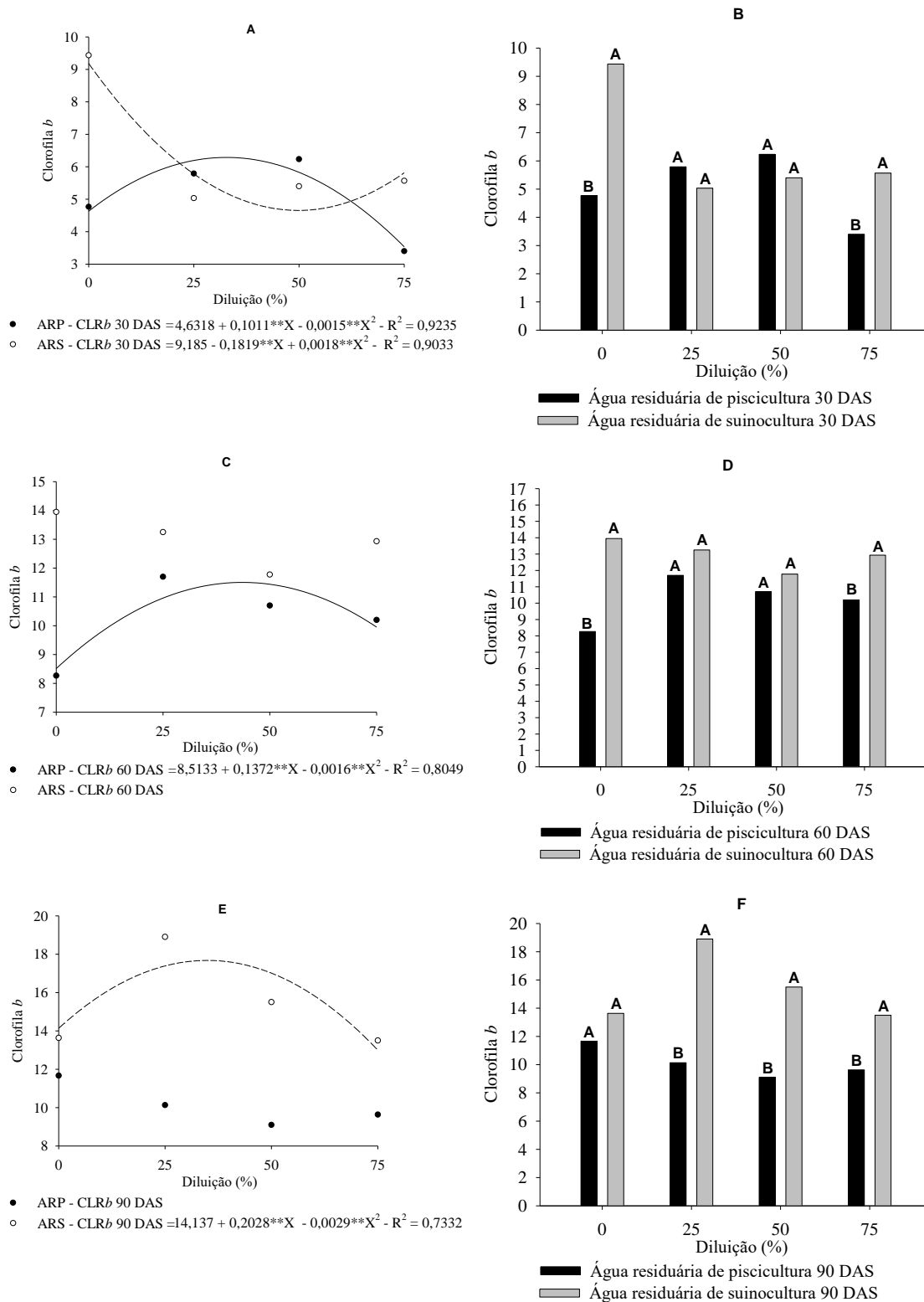
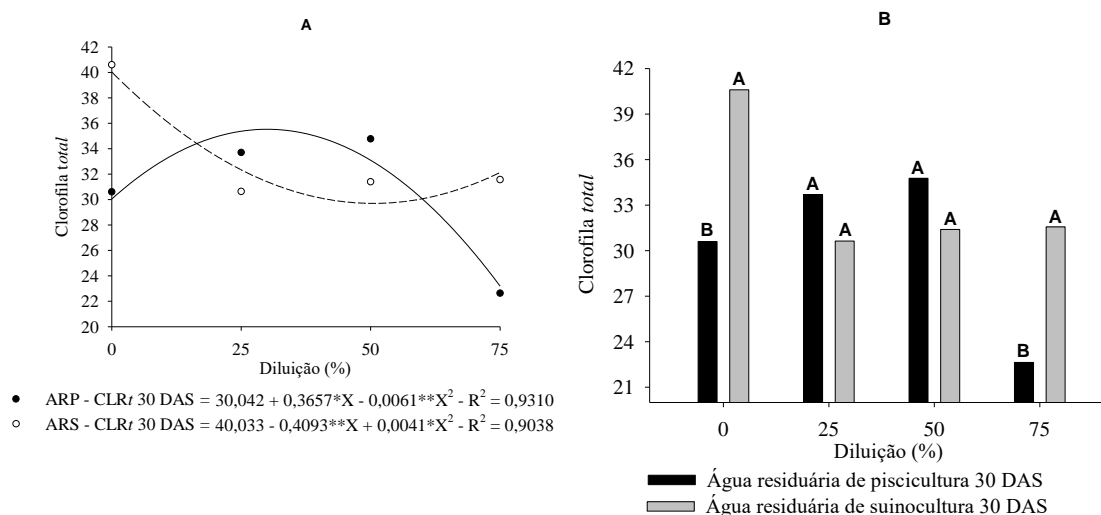


Figura 5. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a clorofila *b* (CLR*b*) no milho aos 30 (A e B), 60 (C e D) e 90 dias após a semeadura (DAS) (E e F), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Com as diluições de 30 e 50% aos 30 DAS, foram estimados o maior e o menor valor de CLR_t para as fontes ARP e ARS, iguais a 35,52 e 29,52 ICF, respectivamente (Figura 6A). Ocorreu diferença estatística entre as fontes utilizadas na D de 0% e 75%, e a fonte ARS proporcionou aumento de 26,63 e 28,30% no teor de CLR_t quando comparada com a fonte ARP (Figura 6B). A clorofila é um importante parâmetro de absorção de nitrogênio, pois a sua molécula apresenta quatro átomos de nitrogênio no núcleo central, em que ocorre a absorção de radiação solar (TAIZ et al., 2017).

Aos 90 DAS, as fontes tiveram influência na quantidade de CRL_t , e a fonte ARS apresentou o valor de 49,84 ICF, sendo, 17,84% superior a observada na fonte ARP (Figura 6C). Estes resultados corroboram com o estudo realizado por Melo (2016), que verificou maior índice de clorofilas em tratamentos que receberam a aplicação de água residuária de suinocultura. O teor de clorofila, por sua vez, geralmente, correlaciona-se positivamente com o teor de N foliar, por esse nutriente constituir parte de sua molécula (CARVALHO et al., 2012).



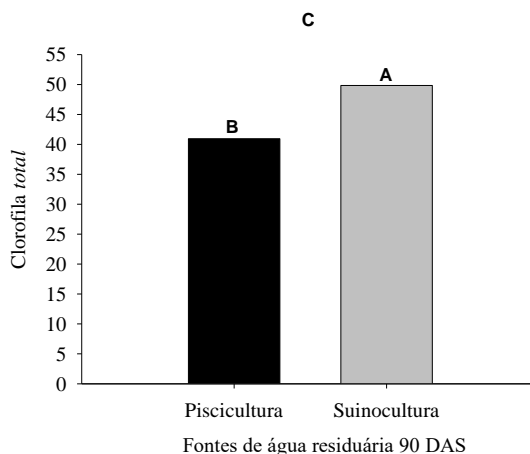


Figura 6. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a clorofila total (CLR_t) no milho aos 30 dias após a semeadura (DAS) (A e B) e, CLR_t no milho em função das fontes de água residuária aos 90 DAS (C), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Para a fonte ARP, os dados de índice SPAD aos 30 DAS não se adequaram aos modelos polinomiais de primeiro e segundo grau testados (Figura 7A). Na diluição de 51%, foi estimado o maior índice SPAD para a fonte ARS, igual a 35,88, sendo, a diluição de 0% a que proporcionou o menor índice SPAD (25,54).

Ocorreu diferença significativa quando comparada as fontes utilizadas nas D de 25%, 50% e 75% (Figura 7B), e a fonte ARS proporcionou o aumento de 24,93; 21,56 e 29,18%, respectivamente, no índice SPAD quando contrastada com a fonte ARP.

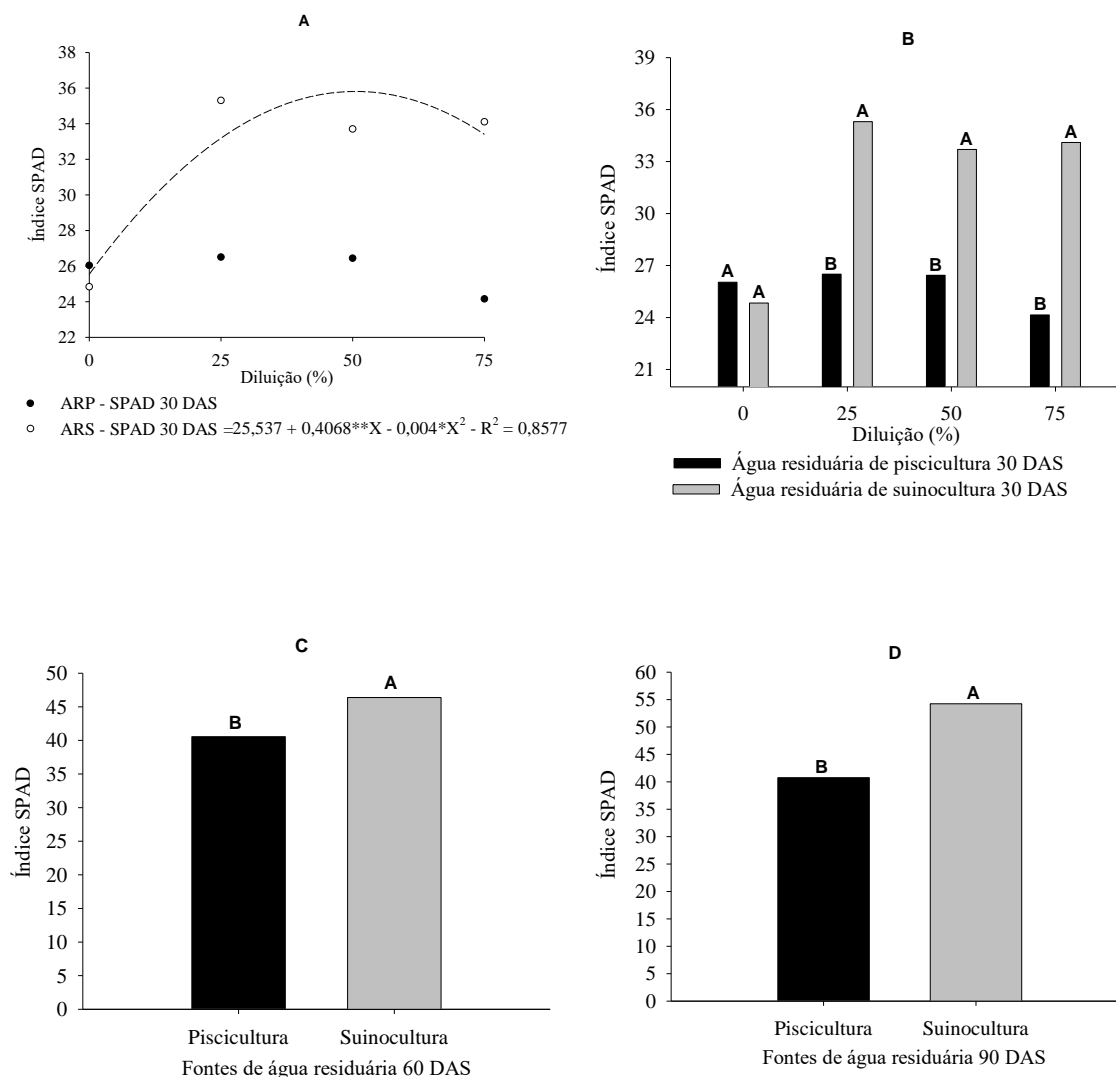


Figura 7. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a leitura SPAD na folha de milho aos 30 dias após a semeadura (DAS) (A e B) e leitura SPAD na folha de milho aos 60 (C) e 90 (D) DAS em função das fontes de água residuária, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Aos 60 e 90 DAS, as fontes exerceram influência no índice SPAD, cuja fonte ARS apresentou valor 12,55 e 24,85%, respectivamente, superior ao índice SPAD observado na fonte ARP (Figura 7C e Figura 7D). Esse comportamento pode ser reflexo do conteúdo N mineral em cada fonte de água residuária (Tabela 2 - Material e métodos), considerando que na ARS a cerca de 93% do N total se encontra na forma mineral, enquanto na ARP apenas 73% do N está mineralizado, reforçando os resultados obtidos por Ferreira et al. (2006) ao constatarem que os teores de clorofila mensurados pelo SPAD aumentam em plantas com maior disponibilidade de N.

3.3.2 Acúmulo de matéria seca

Não ocorreu efeito significativo da interação Diluição x Fonte (D x F) para as variáveis de matéria seca avaliadas. Houve efeito significativo dos fatores isolados F e D para massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC) e massa seca da parte aérea (MSPA) aos 30 e 60 DAS. Ocorreu efeito isolado do fator fontes para MSC e MSPA aos 90 e 110 DAS. Foi observado efeito significativo dos fatores isolados F e D para as relações MSF/MSPA e MSC/MSPA apenas no momento da colheita, 110 DAS.

A MSF aos 30 DAS se adequou a equação polinomial do segundo grau, em que a diluição 25,5% proporcionou o menor valor para esta variável, estimado em $1,53 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 8A). Aos 60 DAS, os dados de MSF se adequaram a equação polinomial de primeiro grau, e o maior valor de MSF foi estimado na diluição de 0% ($32,05 \text{ g planta}^{-1}$) e a cada acréscimo de 25% na proporção de diluição de água residuária em água de abastecimento, estimou-se decréscimo de 6,86% ($2,2 \text{ g planta}^{-1}$) na MSF (Figura 8C). Lima et al. (2012), em estudos sobre a aplicação de biofertilizante no milho, constataram aumento da massa seca da folha sob condições de menores diluições do biofertilizante em água aos 60 DAS, obtendo valores de MSF próximos a 40 g planta^{-1} de milho.

Ocorreu diferença de comportamento na MSF aos 30 e 60 DAS quando comparada as fontes de água residuária utilizadas, sendo que aos 30 DAS a fonte ARP proporcionou aumento de 9,07% na MSF quando contrastada com a fonte ARS (Figura 8B). A diferença na MSF entre as fontes de água residuária nesta primeira avaliação pode ser justificada pela semeadura manual nos vasos que não garante uniformidade da profundidade da semente, acarretando oscilação nas variáveis biométricas e, conseqüentemente, de biomassa das plantas no início do seu crescimento e desenvolvimento. Aos 60 DAS (Figura 8D), a ARS proporcionou valores superiores de MSF, na ordem de 13,51%.

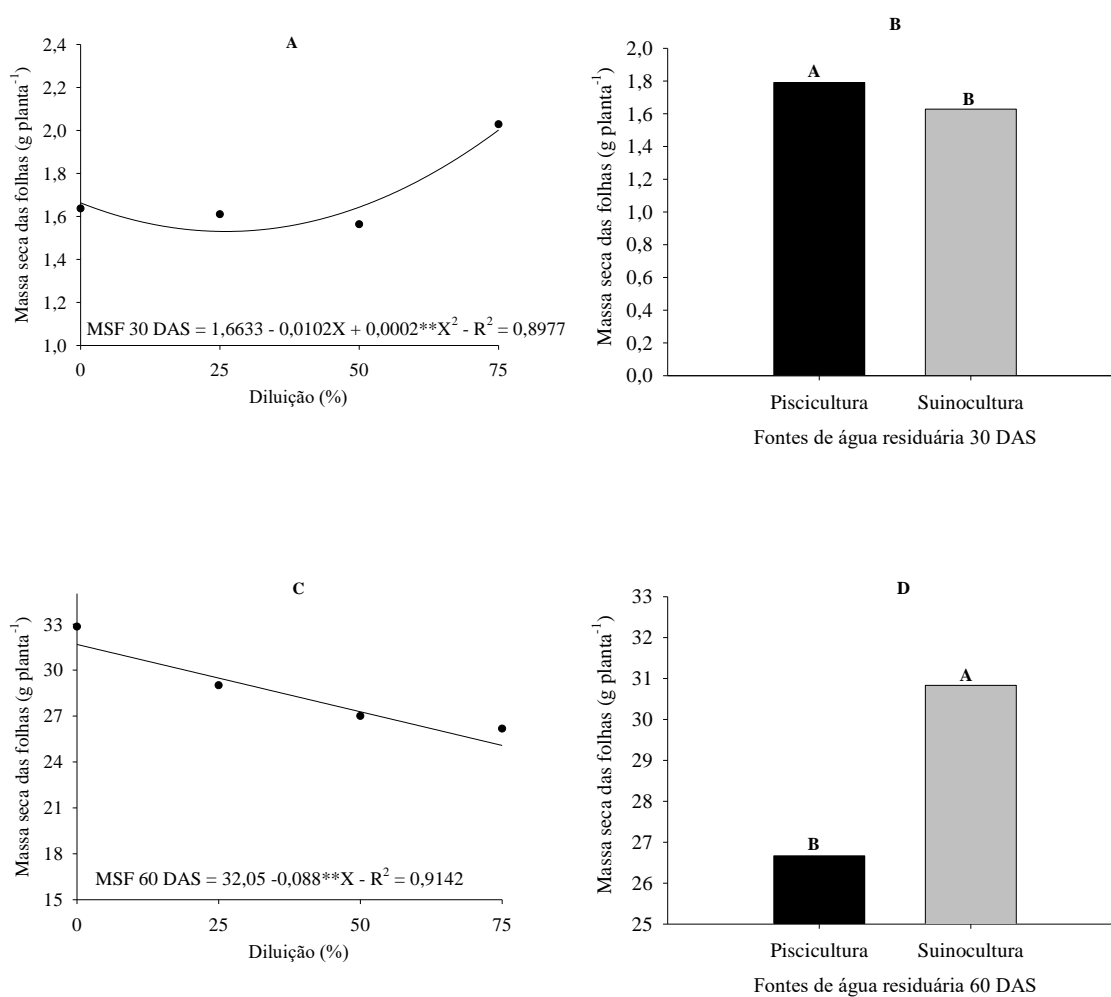


Figura 8. Massa seca das folhas (MSF) do milho em função das diluições e fontes de água residuária aos 30 (A e B) e 60 (C e D) dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Para a MSC aos 30 DAS (Figura 9A), de acordo com a equação de regressão, o menor valor foi estimado na diluição de 27% ($0,76 \text{ g planta}^{-1}$). Já aos 60 DAS, a cada aumento de 25% na proporção de diluição ocorreu decréscimo estimado de 6,11% ($1,51 \text{ g planta}^{-1}$) na MSC (Figura 9C).

Com relação às fontes de água residuária aplicadas, a ARP apresentou valor de MSC 13,04% superior à fonte ARS aos 30 DAS (Figura 9B). Esse comportamento se inverte aos 60, 90 e 110 DAS, e a MSC foi 12,15, 12,98 e 13,79%, respectivamente, superior com o uso de ARS em relação à ARP (Figura 9D, Figura 9E e Figura 9F). Altas concentrações de N e P na ARS estimulam o maior desenvolvimento das plantas, e proporcias condições mais adequadas para o aumento da massa da matéria seca

(SPÓSITO, 2018). Na planta, o N é responsável pela produção de novas células e tecidos, estimulando o crescimento e atividade radicular, com reflexos positivos na absorção de nutrientes e na quantidade de massa seca produzida (MEDEIROS, 2018).

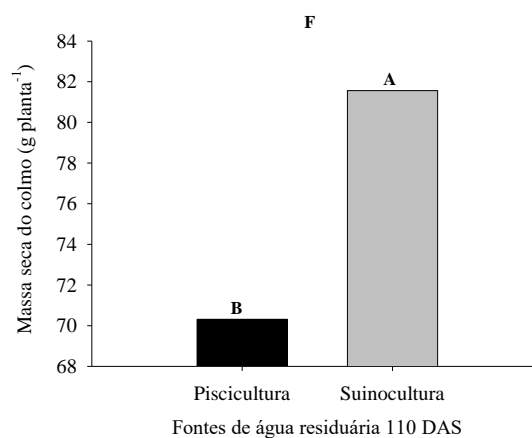
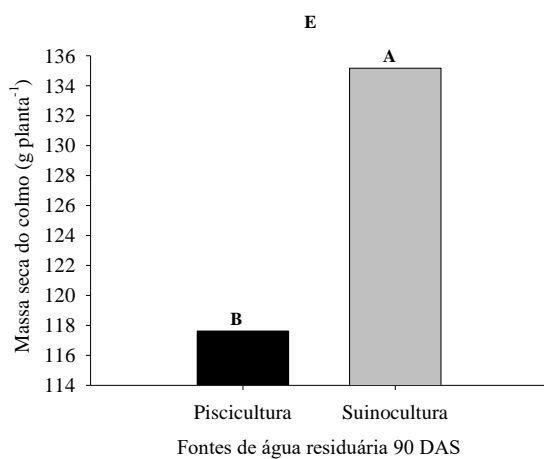
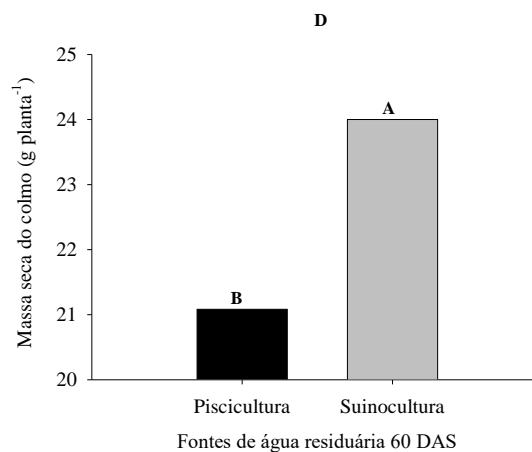
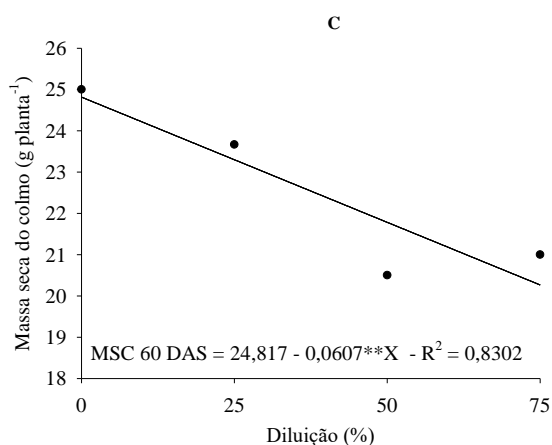
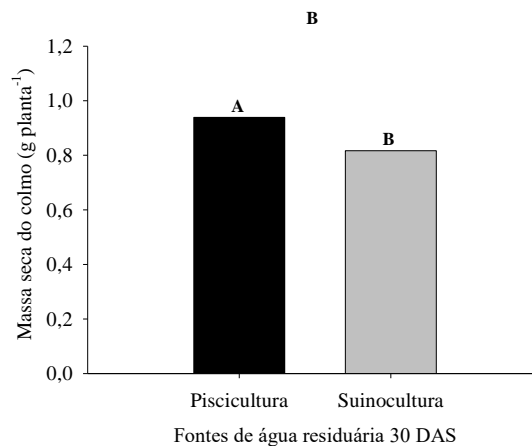
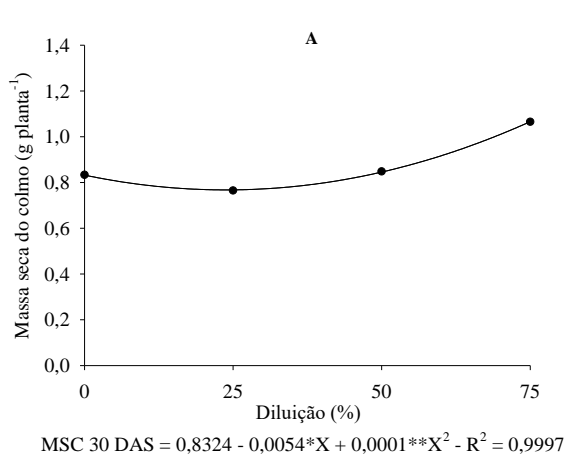
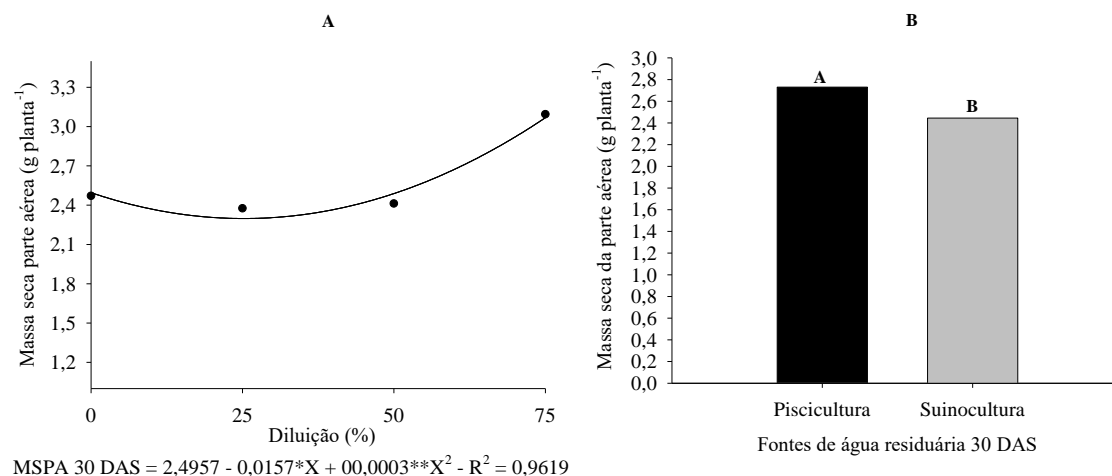


Figura 9. Massa seca do colmo (MSC) do milho em função das diluições e fontes de água residuária aos 30 (A e B) e 60 (C e D) dias após a semeadura (DAS), e MSC em função das fontes de água residuária aos 90 (E) e 110 (F) DAS, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Observou-se comportamento semelhante na MSPA aos 30 e 60 DAS com relação aos modelos de regressão, cuja diluição de 26,16% promoveu a menor MSPA, estimada em 2,29 g planta⁻¹ aos 30 DAS (Figura 10A), enquanto aos 60 DAS, houve decréscimo estimado de 6,53% (3,72 g planta⁻¹) a cada aumento de 25% na proporção de diluição (Figura 10C). Oliveira et al. (2017) verificaram que a irrigação com água residuária sem diluição, promove ganho linear de massa seca da parte aérea de milho.

A fonte ARP apresentou maiores valores de MSPA (10,43%) quando contrastada com a fonte ARS, aos 30 DAS (Figura 10B). Já aos 60, 90 e 110 DAS, com uso da fonte ARS, a MSPA foi 12,92, 11,17 e 9,69%, respectivamente, superior em relação ao uso da fonte ARP, com valores iguais a 30,83, 173,69 e 130,29 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 10D, Figura 10E, Figura 10F).



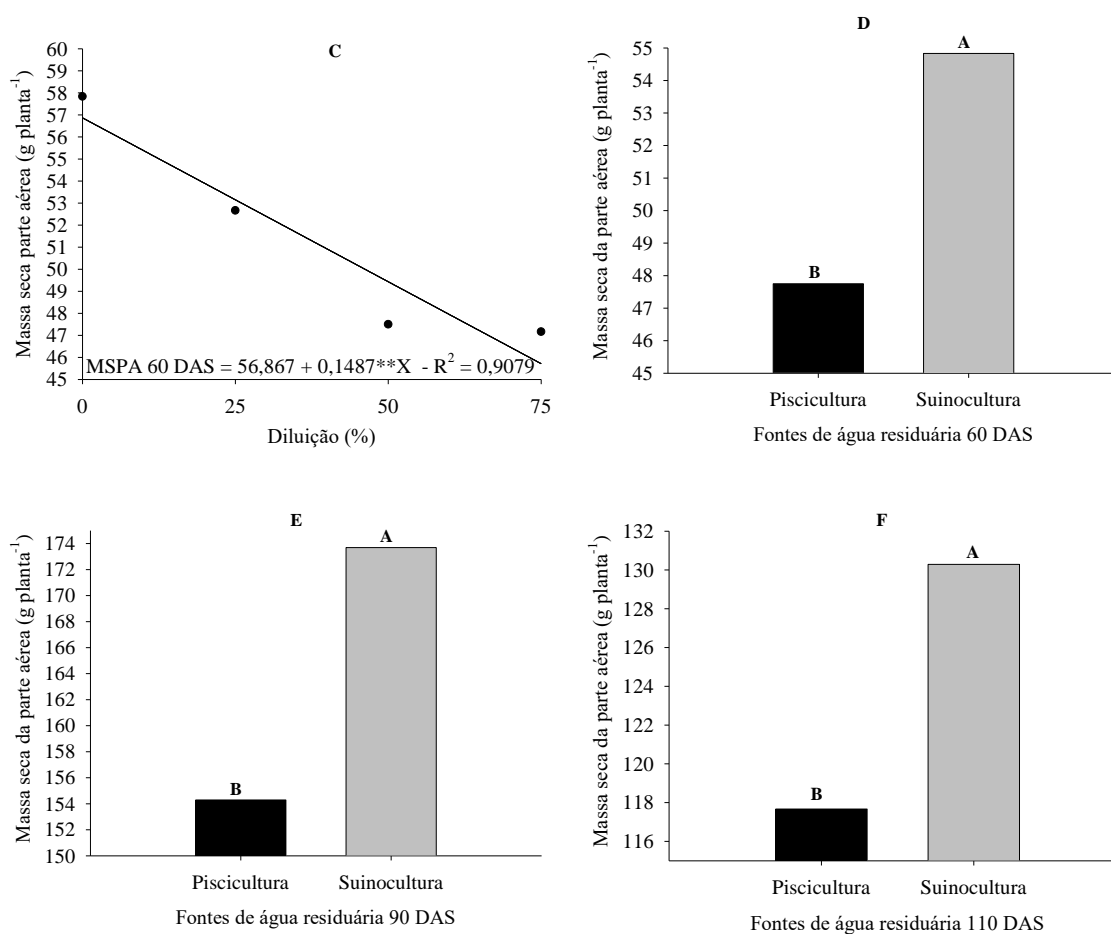


Figura 10. Massa seca da parte aérea (MSPA) do milho em função das diluições e fontes de água residuária aos 30 (A e B) e 60 (C e D) dias após a semeadura (DAS), e MSPA em função das fontes de água residuária aos 90 (E) e 110 (F) DAS, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Os dados de razão MSF/MSPA aos 110 DAS se adequaram ao modelo de regressão polinomial de segundo grau, cujo maior valor foi estimado na diluição de 35%, correspondendo a relação de 41,35% (Figura 11A). Comparando-se as fontes de água residuária, a ARP apresentou valor de razão MSF/MSPA 6,88% superior à fonte ARS (Figura 11B).

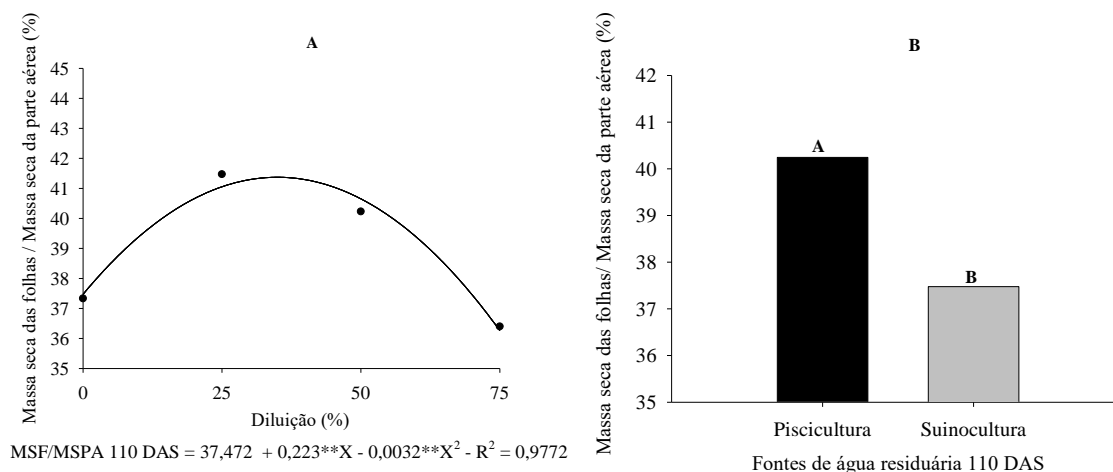


Figura 11. Razão de massa seca das folhas pela massa seca da parte aérea (MSF/MSPA) do milho em função das diluições (A) e fontes (B) de água residuária aos 110 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Para a razão MSC/MSPA (Figura 12A), de acordo com o modelo de regressão, a diluição de 35% proporciona a menor razão MSC/MSPA estimada em 58,64%. Quando contrastadas as fontes de água residuária aplicadas, observa-se que a fonte ARS proporciona razão MSC/MSPA superior, na ordem de 4,43%, estimada em 62,52% (Figura 12B).

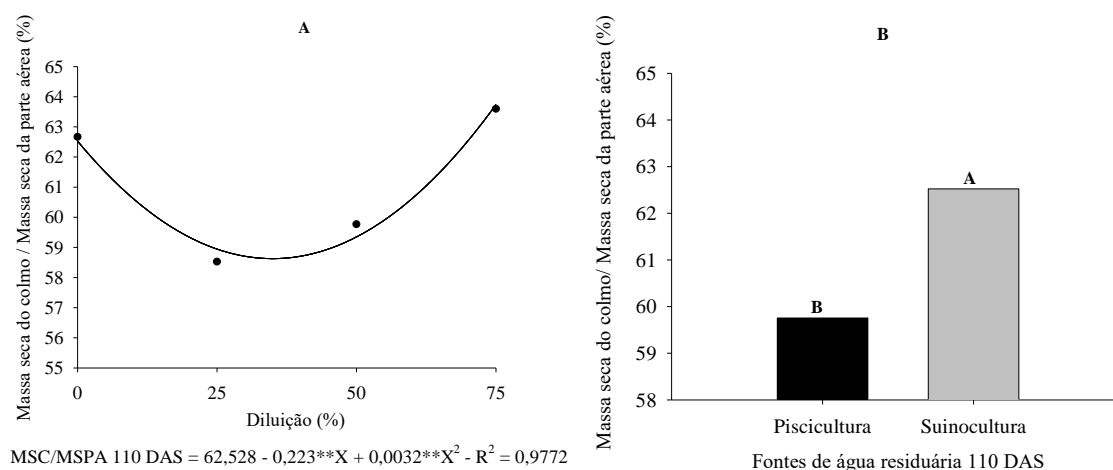


Figura 12. Razão de massa seca do colmo pela massa seca da parte aérea (MSC/MSPA) do milho em função das diluições (A) e fontes (B) de água residuária aos 110 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Dutra (2016) constatou que o acúmulo de matéria seca nos colmos, folhas e parte aérea são proporcionais à quantidade de N mineral fornecido para a planta, corroborando com os resultados obtidos neste estudo, pois a ARS apresenta maior quantidade de N mineral disponível na absorção pelas plantas de milho (Tabela 2 – Material e métodos). Simão et al. (2017) destacam que o maior fornecimento de nitrogênio resulta em plantas de milho mais vigorosas e com maior produção de biomassa seca. Para Franco et al. (2010), a maior massa de matéria seca dos colmos em comparação aos demais compartimentos da planta, têm como consequência o maior acúmulo de N total.

3.3.3 Produção

Com relação aos índices produtivos de grãos avaliados no milho no momento da colheita, 110 DAS, não ocorreu efeito significativo das diferentes diluições e fontes de água residuária, para a variável número de espigas (NESP) (prolificidade), e todos os tratamentos apresentaram NESP igual a 1 (uma) espiga planta⁻¹. No entanto, houve efeito isolado das diluições (D) no número de fileiras de grãos (NFG) e, efeito isolado das fontes (F) no número de grãos por fileira (NGF) e no índice de colheita (IC). Já efeito interativo D x F foi observado para o tamanho do grão, massa seca de grãos (MSG), produtividade (PROD) e quantidade de sacas hectare⁻¹ (SCHA).

O maior NFG foi estimado na diluição de 0% (17,23), cujos valores reduziram até a diluição estimada de 43%, em que se obteve o menor valor de 15,73 fileiras de grãos por espiga (Figura 13A), valores próximos ao encontrado por Pinheiro (2018), em seus estudos com adubação nitrogenada associada aos compostos orgânicos no milho, que constatou NFG de 16,91. Para a variável NGF, a fonte ARS apresentou 31,48 grãos por fileira, valor 14,62% superior ao observado quando utilizada a fonte ARP (Figura 13B).

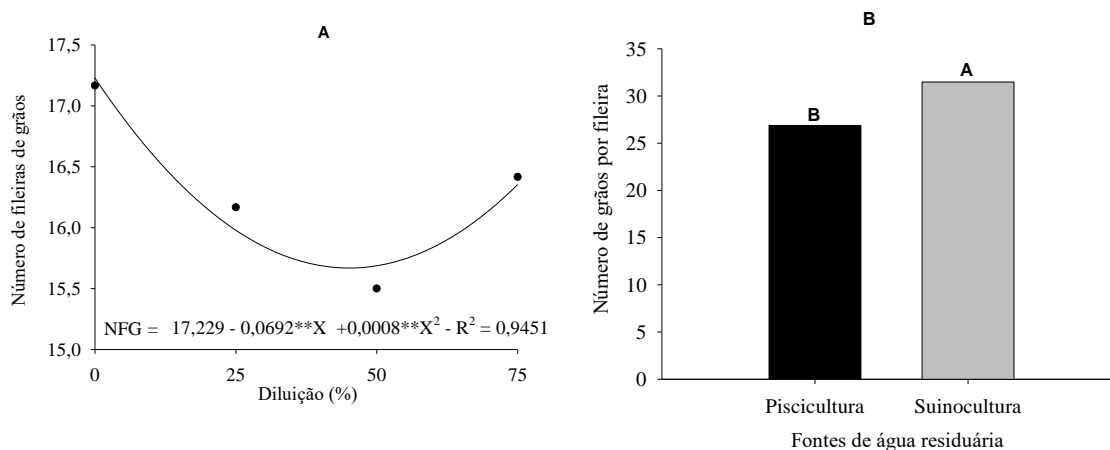


Figura 13. Número de fileira de grãos (NFG) de milho em função das diluições de água residuária (A) e número de grãos por fileira (NGF) em função das fontes de água residuária (B), Rio Verde, Goiás, 2019.

As diluições de 20% e 40% proporcionaram o maior e o menor tamanho de grão (TG) de milho para as fontes ARP e ARS, iguais a 7,97 e 7,70 mm, respectivamente (Figura 14A). Ocorreu diferença estatística entre as fontes utilizadas na D de 0% e 75%, em que a fonte ARS proporcionou aumento, respectivamente, de 14,32 e 38,03% no TG quando comparada com a fonte ARP (Figura 14B).

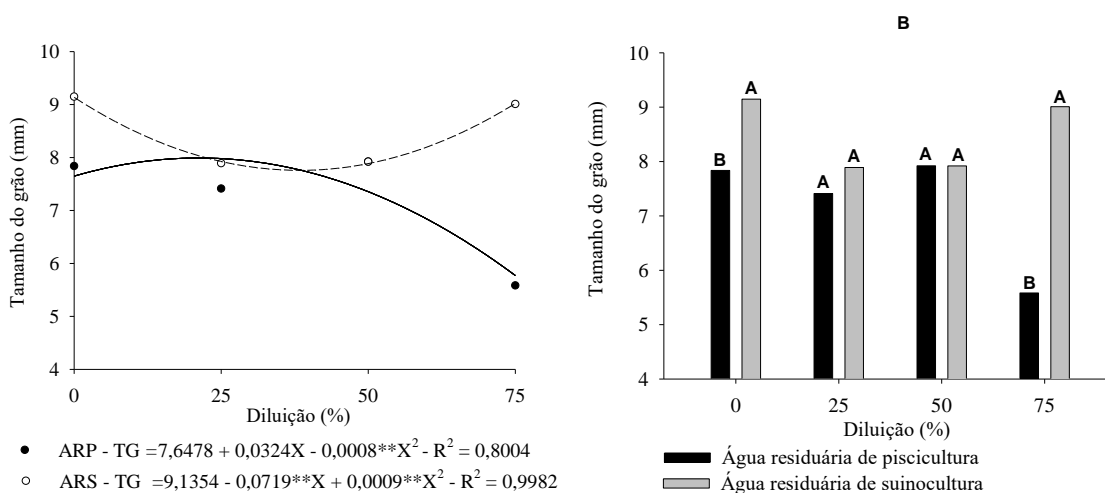


Figura 14. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o tamanho do grão (TG) de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Na Figura 15^a, nota-se diferença no comportamento da MSG no momento da colheita, aos 110 DAS, quando se avalia as diluições em cada fonte de água residuária utilizadas. Para a fonte ARS, o aumento de 25% na diluição de água residuária proporcionou acréscimo de 7,66% (9,06 g planta⁻¹) na MSG. Já para a fonte ARP, o aumento da diluição reduziu a MSG na ordem de 8,45 g planta⁻¹ a cada 25%. Assim, ocorreu a redução de 33,36% na MSG quando comparadas com as diluições de 0 e 75%. Araújo et al. (2018), avaliando a produção de milho fertirrigado, encontraram valor de MSG 116,89 g planta⁻¹, valor semelhante ao deste estudo (118,31 g planta⁻¹).

Quando comparadas as fontes utilizadas, ocorreu diferença apenas nas D de 50% e 75% (Figura 15B), em que a fonte ARS proporcionou aumento de 48,21 e 57,83%, respectivamente, na MSG quando contrastada com a fonte ARP. Como há relação direta da MSG com a MSGESP, e neste estudo, o número de espigas por planta foi igual a 1 (um), estas variáveis citadas apresentaram valores iguais.

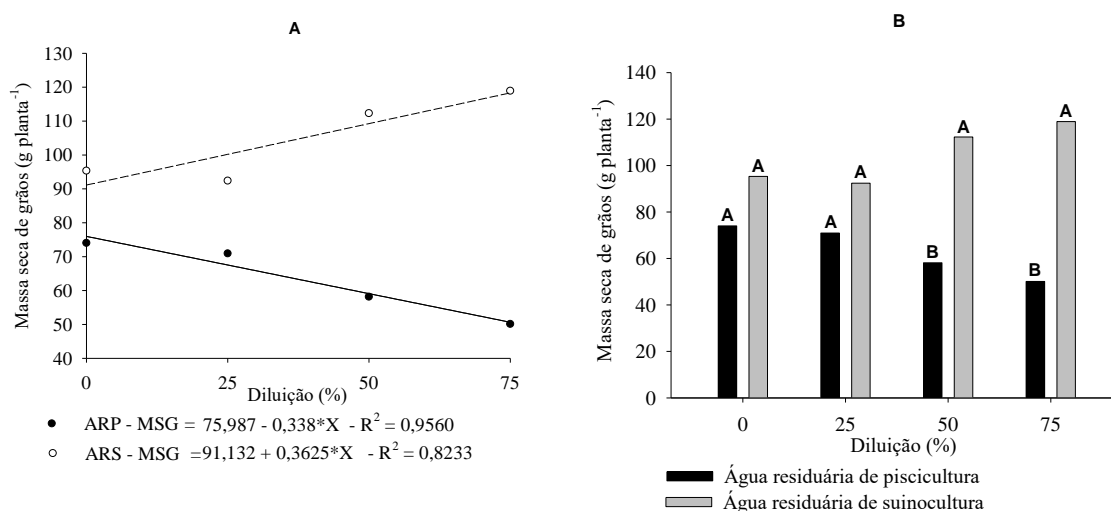
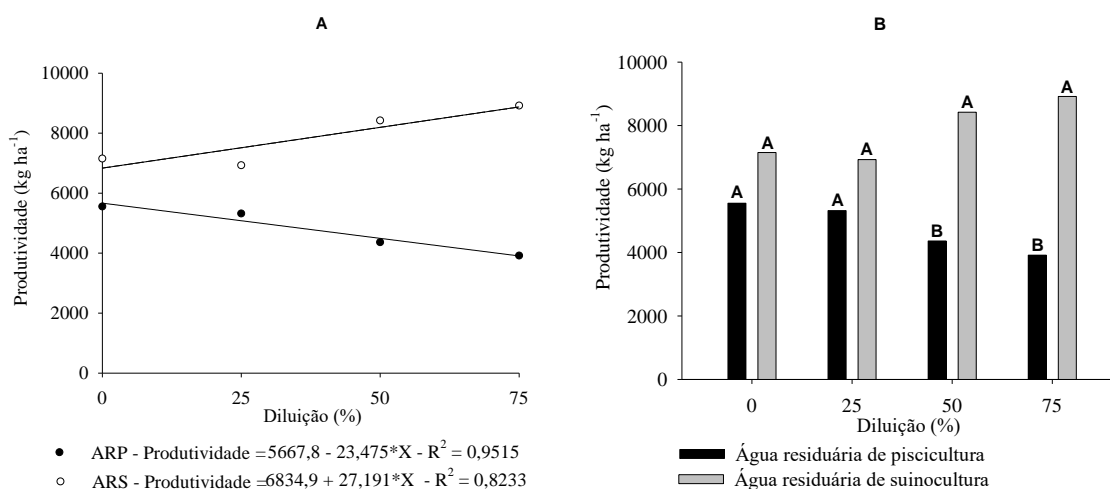


Figura 15. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a massa seca de grãos (MSG) de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Com o uso da fonte ARP, a maior PROD (5.667,8 kg ha⁻¹) e a maior quantidade de sacas por hectare (94,46 sacas de 60 kg) foi estimada na diluição de 0%, cujos valores foram 10,35; 20,71 e 31,03% superior às produtividades obtidas nas

diluições de 25, 50 e 75%, respectivamente. Já com o uso da fonte ARS, a diluição de 75% proporcionou a maior produtividade de grãos, estimada em 8.874,22 kg ha⁻¹, equivalentes a 114 sacas por hectare, valor 22,98% superior à PROD obtida com a diluição de 0% para esta fonte de água residuária (Figura 16A e Figura 16C). As máximas produtividades de grãos para as duas fontes de água residuária são inferiores às obtidas por Costa et al. (2014) e Cabral Filho (2019), que constataram produtividade do milho fertirrigado de 14.400 e 11.494 kg ha⁻¹, respectivamente. Embora tenha apresentado valores inferiores aos dos estudos supramencionados, é possível observar tendência linear crescente de produtividade com a disponibilidade de N de cada fonte de água residuária, e evidencia o potencial desta fonte no fornecimento de N, além de outros nutrientes.

Ocorreu diferença entre as fontes nas diluições de 50% e 75%, cuja fonte ARS apresentou valores superiores à fonte ARP, na ordem 48,21 e 56,08%, para a produtividade em kg e em sacas por hectare, respectivamente (Figura 16B e Figura 16D).



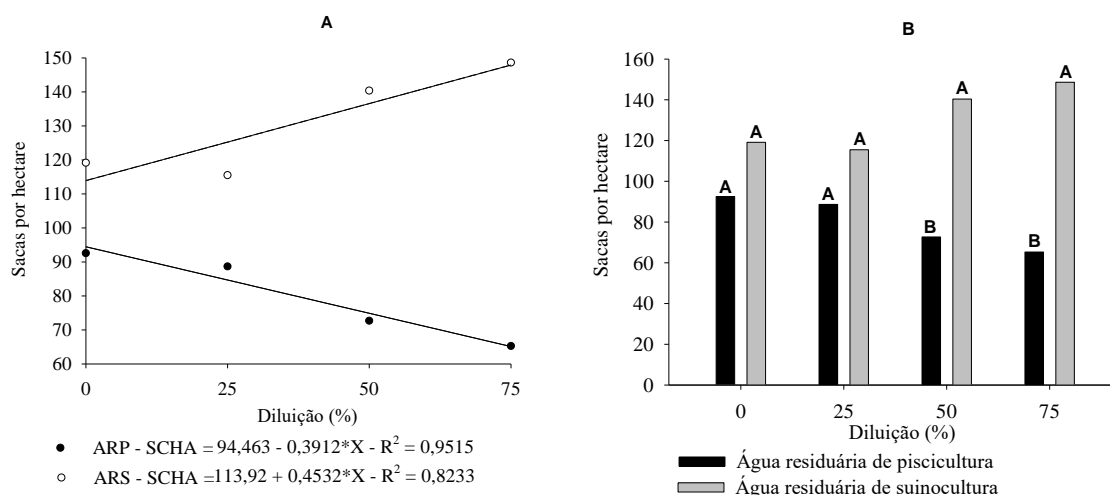


Figura 16. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a produtividade de grãos de milho (PROD) (A e B) e para a quantidade de sacas produzidas por hectare (SCHA) (C e D), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Segundo o levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), a produtividade média do milho no Brasil é de 5.610 kg ha^{-1} , no estado de Goiás a média foi de 6.390 kg ha^{-1} . Conforme observado neste estudo, a média de produtividade de grãos do milho quando utilizada a fonte ARP (4.788 kg ha^{-1}) foi inferior à média nacional, enquanto, para a ARS, a média foi superior (7.855 kg ha^{-1}). Pode-se visualizar o efeito potencial do dejetos líquido de suíno como fertilizante, e associado parcialmente à adubação nitrogenada mineral em cobertura, possui a capacidade de reduzir os custos de implantação e estabelecimento da lavoura, garantindo rendimentos elevados (LOCATELLI et al., 2019).

Grande parte das variáveis de produção avaliadas (TG, MSG e PROD) apresentaram comportamento semelhante em relação às diluições e fontes de água residuária aplicadas. Com uso da ARP, os maiores valores para as variáveis de produção foram obtidos na diluição de 0%, reduzindo de forma gradativa com o aumento da diluição da água residuária em água de abastecimento.

A lixiviação é um processo pelo qual o N pode se perder através da ação da água no perfil do solo (CARVALHO e ZABOT, 2012). Apesar de presente no solo, o N só pode ser absorvido pelas plantas se estiver na forma de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-),

que na ARP representa 40,5 % (NO_3^-) do N total. Porém, é exatamente essa forma N que é mais susceptível a perdas, quando grandes volumes de água atravessam a superfície para as camadas mais profundas do solo (PEIXOTO, 2008), dificultando a absorção do N pelas plantas e traz reflexos negativos no desenvolvimento e produtividade.

Já para a ARS, houve incremento nas variáveis de produção conforme o aumento da diluição da água residuária em água de abastecimento. No solo, a amônia (NH_3), que é a forma predominante do N total da ARS, reage rapidamente com a água para formar íons amônio (NH_4^+) (VIEIRA, 2017), que são absorvidos pelas plantas e exercem efeitos no crescimento, qualidade vegetal, na produção de biomassa e na reprodução (LANE & BASSIRIRAD, 2002).

Além disso, em condições de maiores diluições, o solo apresentou pH (CaCl_2) mais próximo da neutralidade (6,7), fator que influencia diretamente na taxa de nitrificação, processo mediado por bactérias autotróficas responsáveis pela oxidação da amônia em nitrito e, na sequência, em nitrato no sistema solo-planta (SILVA e VALE, 2000), o que mitiga perdas de nitrogênio amoniacal por volatilização (BASSO et al., 2004).

Em função das fontes de água residuária aplicadas, o maior índice de colheita (IC), igual a 0,44, foi obtido nas plantas fertirrigadas com água residuária de suinocultura, sendo 21,70% superior ao IC obtido com a aplicação de água residuária de piscicultura (0,35) (Figura 17).

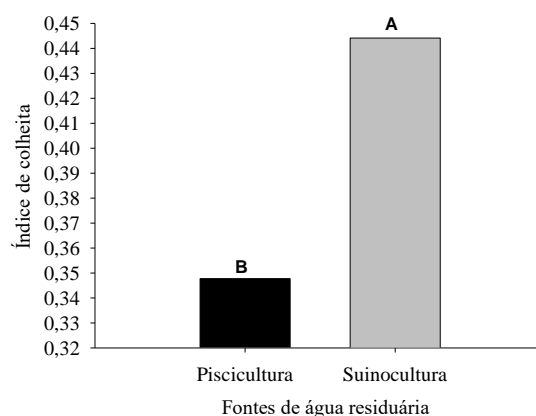


Figura 17. Índice de colheita (IC) do milho em função das fontes de água residuária, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

O IC, assim como o TG, MSG e PROD, tiveram influência das diferentes fontes de água residuária aplicadas, que, possivelmente, tem relação com a forma com que o N está presente nas águas residuárias. Na ARP, 26,5% do N está na forma orgânica, não assimilável pelas plantas, necessitando passar pelo processo de mineralização. Durante a mineralização um dos produtos é o amônio (NH_4^+), que pode ser retido pelo solo, absorvido pelas plantas ou convertido em nitrato (NO_3^-), que por sua vez, pode ser absorvido pelas plantas (BOEIRA, 2004).

Na fonte ARS, apenas 6,0% do N se encontra na forma orgânica, sendo que o restante já se encontra na fração mineral, facilitando a disponibilidade e absorção de N pelas plantas de milho.

Os resultados do presente estudo evidenciam que as águas residuárias no exercício da agricultura constituem importante fonte de nutrientes às plantas, favorecendo o desenvolvimento e a produtividade do milho por meio da reciclagem de nutrientes, sobretudo nitrogênio, compreendendo assim, uma alternativa quanto à dependência de fertilizantes minerais, promovendo economias na importação de adubos e evitando o lançamento de grandes volumes de água residuária nos corpos hídricos.

3.4 CONCLUSÕES

A fonte água residuária de suinocultura proporciona maior teor de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *total* e leitura SPAD no estágio reprodutivo do milho.

Independente de a fonte de água residuária empregada, a ausência de diluição proporciona maior acúmulo de massa seca de folha, de colmo e de parte aérea ao milho, aos 60 dias após a semeadura.

A maior produtividade de massa seca do colmo, de massa seca da parte aérea e partição da matéria seca do colmo em relação à matéria seca da parte aérea do milho, é obtida quando utilizada a fonte de água residuária de suinocultura.

Independentemente da diluição utilizada, a água residuária de suinocultura proporciona o maior tamanho, massa seca e produtividade de grãos, assim como índice de colheita do milho.

A água residuária de piscicultura aplicada via sistema de irrigação por gotejamento, sem diluição (0%) ou a água residuária de suinocultura na diluição de 75% são as mais adequadas para a obtenção do maior tamanho de grão, massa seca e produtividade dos grãos de milho.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES NETO, A. J.; LANA, M. C.; RAMPIM, L.; COSTA, L. A. M.; COPPO, J. C.; ALVES, A. G. Água residuária de suinocultura sobre a produtividade de soja e milho segunda safra: uso e viabilidade econômica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 3, p. 350-357, 2016.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

ARAÚJO, N. C. D.; LIMA, V. L. A. D.; SENA, L. F.; LIMA, G. S. D.; ANDRADE, E. M. G.; CARDOSO, J. A. F.; OLIVEIRA, S. J. C. Produção de milho Potiguar fertirrigado com água amarela e manipueira. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 161-170, 2019.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, P. S.; SILVEIRA, M. J. D. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1773-1778, 2004.

BASTOS, R. K. **Influência da água residuária da suinocultura sobre a acidez do óleo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. Dissertação (Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

BOEIRA, R. C. Uso do lodo de esgoto como fertilizante orgânico: disponibilização de nitrogênio em solo tropical. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2004.

CABRAL FILHO, F. R. **Desempenho agrônomo e balanço nutricional na planta de milho fertirrigado com vinhaça concentrada e cloreto de potássio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia). Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde, Rio Verde – GO, 2019.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, SBCS, 2007. p.375-470

CARVALHO, M. A. F.; SILVEIRA, P. M.; SANTOS, A. B. **Utilização do clorofilômetro para racionalização da adubação nitrogenada nas culturas do arroz e do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente? **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 6, n. 6, p. 960-974, 2012.

CASSOL, P. C.; COSTA, A. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C. M.; ERNANI, P. R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, 2012.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. D. **Seja o Doutor do seu Milho**. Arquivo do agrônomo n°2 Potafos, 1995.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.6, Safra 2018/19 - Nono levantamento. CONAB: Brasília.

COSTA, Z. V. B. D.; GURGEL, M. T.; COSTA, L. R.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; BATISTA, R. O. Efeito da aplicação de esgoto doméstico primário na produção de milho no assentamento Milagres (Apodi-RN). **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 4, p. 737-751, 2014.

DUTRA, A. D. **Adubação nitrogenada via fertirrigação em arroz irrigado por aspersão**. Tese (Manejo e Conservação do solo). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

FALKER Automação Agrícola Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker, 2008. 33p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, v. 53, n. 305, p. 83-92, 2006.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, v.67, n.5, p.579-590, 2010.

GONÇALVES, A. K. A.; SILVA, T. R. B.; BRANDÃO, A. G. Manejo de adubação nitrogenada em milho solteiro e em consorciado com brachiaria ruziziensis. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 318–327, 2016.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **BDMEP: Dados históricos**. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 27 de novembro de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária**, 2018. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/pesquisa/14/0?localidade1=52>. Acesso em: 27 de novembro de 2019.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Nitrogênio: um dilema entre produzir e poluir?**. Análise e Indicadores do Agronegócio, v. 10, n.11, 2015.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LANE, D. R.; BASSIRIRAD, H. Differential responses of tallgrass prairie species to nitrogen loading and varying ratios of NO₃⁻ to NH₄⁺. **Functional Plant Biology**, Victoria, v.29, p.1227- 1235, 2002.

- LIMA, J. G. A.; VIANA, T. V A.; SOUSA, G. G.; WANDERLEY, J. A. C.; NETO, L. G. P.; AZEVEDO, B. M. Crescimento inicial do milho fertirrigado com biofertilizante. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 1, p. 39-44, 2012.
- LOCATELLI, J. L.; BRATTI, F.; RIBEIRO, R. H.; BESEN, M. R.; TURCATEL, D.; PIVA, J. T. Uso de dejetos líquidos de suínos permite reduzir a adubação mineral na cultura do milho? **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 628-637, 2019.
- LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**, Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015, 492 p.
- MARTINS, C. A. C.; SANTOS, F. S.; PORTZ, A.; SANTOS, A. M. Desenvolvimento inicial do milho (*Zea Mays* L.) em substrato contendo lodo de esgoto compostado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 48, p. 69-79, 2018.
- MATOS, A.T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. v.1. 371p.
- MEDEIROS, L. C. **Dinâmica do nitrogênio e potássio nos resíduos culturais de milho submetido à adubação mineral**. Dissertação (Ciência do Solo). Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2018.
- MELO, D. **Plantas de cobertura em áreas de produção de soja no verão e silagem de milho no inverno, com aplicação de água residuária de suinocultura**. Tese (Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* Cascavel, Cascavel, 2016.
- MELO, F. B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 27-31, 2011.
- MINOLTA. Camera Co. Ltd., Chlorophyll meter SPAD-502. **Instruction manual**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22p.
- MORAES, M. T.; ARNUTI, F.; SILVA, V. R.; SILVA, R. F.; BASSO, C. J.; ROS, C. O. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 2945-2954, 2014.
- MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. A.; JÚNIOR, D. D. V. Desempenho agrônômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 62, 2019.
- NASCIMENTO, T. S.; MONTEIRO, R. N. F.; SALES, M. A. L.; FLORIANO, L. S.; PEREIRA, A. I. A. Irrigação com efluente de piscicultura no cultivo de mudas de tomate. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 866, 2016.
- SOUZA NETO, J. M. **A produção de milho no sudoeste goiano: Especialização, Cadeia Produtiva e Complementaridade**. Dissertação (Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

OLIVEIRA NETO, T. I.; COSTA, M. C. G.; OLIVEIRA, V. P. V. Acúmulo de nitrogênio em plantas de milho crioulo em resposta à adubação orgânica. **Revista Equador**, v. 5, n. 4, p. 207-220, 2016.

OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S.; GONÇALVES, K. S.; OLIVEIRA, G. X. S. Crescimento e produção de girassol ornamental irrigado com diferentes lâminas e diluições de água residuária. **Irriga**, v. 22, n. 2, p. 204-219, 2017.

PEIXOTO, M. F. da S. P. **Ciclo do nitrogênio**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2008.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H.; TOTH, J. D.; MACNEAL, K. E. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate N sufficiency. **Agron. J.**, n. 87, p.403-408, 1995.

PINHEIRO, R. C. **Produtividade de milho em plantio direto com diferentes doses de adubação química associado à adubação biológica**. UniEvangélica, 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE P. K. T; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5 ed. ver. amp., 2018.

SILVA, C. A.; VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M.; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agrônômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3513-3528, 2013.

SILVA, J. R. M. **Aplicação de efluente de estação de tratamento de esgoto em solo cultivado com Grama esmeralda (*Zoysia japonica*)**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SILVA, P. F. **Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada no milho cultivado no outono/inverno em Botucatu-SP**. Tese (Agronomia – Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual de São Paulo. Botucatu-SP, 2018.

SIMÃO, E. D. P.; RESENDE, A. V.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E., MARTINS, D. C.; VANIN, A. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Embrapa Milho e Sorgo**, v. 16, n.3, p.481-494, 2017.

SOLOGUREN, L. Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção. In: **Milho: Brasil amplia cultivo para atender demanda crescente**. Visão agrícola nº13, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2015.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no Brasil. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182, 2018.

SPÓSITO, T. H. N. Matéria seca e acúmulo de nutrientes no aguapé utilizado para fitorremediação em águas residuárias de suinocultura. Tese (Agronomia). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. A. MURPHY. A. **Fisiologia e Desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017.

TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574 p., 2017.

VIEIRA, R. F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. **Embrapa Meio Ambiente-Livro científico**, 2017.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; REIS, M. C. D. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, 2009.

4 CAPÍTULO II

ESTADO NUTRICIONAL E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES PELO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA EM DIFERENTES DILUIÇÕES

RESUMO

Fontes alternativas de nutrientes para a cultura do milho apresentam benefícios agrônomico, ambiental e econômico, como é o caso das águas residuárias, com potencial de manutenção do estado nutricional da planta. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito comparativo entre a fertirrigação com água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes diluições no balanço nutricional, acúmulo, extração e exportação de macronutrientes pela cultura do milho. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. O solo utilizado nos vasos foi coletado da camada de 0 a 0,20 m de um Latossolo Vermelho distroférico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2×4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária + 0, 25, 50, 75% de seu volume em água de abastecimento, aplicadas via gotejamento subsuperficial. Foram avaliados o estado nutricional do milho no florescimento, o acúmulo, a extração e exportação dos macronutrientes. A planta de milho apresenta maior acúmulo, extração e exportação de macronutrientes quando fertirrigado com a água residuária de suinocultura comparado com a de piscicultura, independente da diluição utilizada. Em relação ao aspecto nutricional da planta, a água residuária de suinocultura é a melhor opção para fertilização da cultura do milho, em qualquer uma das diluições, em comparação com a água de piscicultura. Os resultados deste estudo sugerem que a água residuária de suinocultura e piscicultura apresentam potencial para suprir a demanda nutricional da cultura do milho, podendo substituir parcialmente a adubação mineral.

Palavras-chave: *Zea mays* L., efluentes; nitrogênio, extração, exportação, teor, particionamento, reciclagem de nutrientes, reuso da água.

NUTRITIONAL STATUS AND MACRONUTRIENTS ACCUMULATION BY FERTIRRIGATED CORN WITH RESIDENTIAL WATER FROM PISCICULTURE AND SWINE IN DIFFERENT DILUTIONS

ABSTRACT

Alternative sources of nutrients for corn cultivation have agronomic, environmental and economic benefits, as is the case of wastewater, with the potential to maintain the nutritional status of the plant. Thus, the objective of this study was to evaluate the comparative effect between fertigation with fish and swine wastewater at different dilutions in the nutritional balance, accumulation, extraction and export of macronutrients by the corn crop. The experiment was carried out in plastic vases, arranged in the open, at the experimental station of the Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde – GO, Brazil. The soil used in the pots was collected from 0 to 0.20 m layer of a dystrophic Red Latosol, Cerrado phase, with a clay texture. The experimental design used was in randomized blocks, analyzed in a 2 × 4 split plot scheme, with three replications. The treatments consisted of two sources of waste water (fish and pig farming) diluted in four proportions of water supply, being: recommended dose of waste water + 0, 25, 50, 75% of its volume in water supply, applied by drip subsurface. The nutritional status of corn at flowering, accumulation, extraction and export of macronutrients were evaluated. Swine and fish wastewater have the potential to supply the nutritional demand of the corn crop, and may partially replace mineral fertilization. The corn plant has a greater accumulation, extraction and export of macronutrients when fertigated with swine wastewater compared to fish farming, regardless of the dilution used. Regarding the nutritional aspect of the plant, swine wastewater is the best option for fertilizing the corn crop, in any of the dilutions, compared to fish farming water.

Keywords: *Zea mays* L., effluents; nitrogen, extraction, export, content, partitioning, nutrient recycling, water reuse.

4.1 INTRODUÇÃO

O cerrado é um dos principais polos produtores de grãos no cenário brasileiro. Porém, os solos dessa região possuem elevado índice de acidez e alto teor de alumínio tóxico, e dificulta o desenvolvimento e crescimento das raízes em profundidade, além de apresentar baixa fertilidade natural, demandando a utilização de fertilizantes (SILVA, 2016; SOUSA et al., 2005; SOUSA e LOBATO, 2004), para alcançar altas produtividades.

O milho responde muito bem aos fertilizantes, sendo uma das culturas mais exigentes em adubos nitrogenados (MORTATE et al., 2018) para complementar a quantidade de nitrogênio (N) fornecida pelo solo, sobretudo proveniente da mineralização da matéria orgânica (SILVA NETO, 2016). De acordo com Okumura et

al. (2011), aproximadamente 98% do N no solo se encontram na forma orgânica e apenas 2% se apresentam sob formas inorgânicas de amônio e/ou nitrato.

Fontes alternativas de N para o solo e plantas em substituição ou complementação aos fertilizantes minerais estão recebendo atenção, por apresentarem potencial agrônomo, ambiental e econômico, como é o caso das águas residuárias. Em efluentes de suinocultura, na maioria das vezes, a fração amoniacal perfaz aproximadamente 50% do nitrogênio total, um teor elevado de N prontamente disponível para a cultura do milho (BASSO et al., 2005; SCHERER et al., 2007; GIACOMINI et al., 2009). Efluentes de piscicultura também possuem nutrientes em sua composição; no entanto, em níveis mais baixos de N inorgânico (AZEVEDO, 1998), sendo que parte do N é excretada pelos organismos na forma de amônia, enquanto o restante é eliminado pelas fezes na forma de N orgânico (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2018).

Além do N, outros nutrientes presentes nas águas residuárias, após mineralizados, são disponibilizados para a absorção pelas plantas (BATISTA et al., 2014). O N é absorvido através do sistema radicular das plantas e atua como constituinte de muitos componentes das células vegetais, como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, (constituinte da molécula de clorofila), atuando nos processos de fotossíntese e de divisão e expansão celular, conferindo às plantas maior desenvolvimento vegetativo e, conseqüentemente, produção de fotoassimilados (TAIZ; ZEIGER, 2009).

De acordo com Von Pinho et al. (2009), o N é nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho, seguido em ordem decrescente pelo potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). A absorção mais intensa de nutrientes ocorre durante o período de desenvolvimento vegetativo, quando o número potencial de grãos está sendo definido e, durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (MOREIRA, 2015).

A maior parte do P absorvido durante o ciclo é translocado para os grãos (até 90%), seguido pelo N, S e Mg que também são exportados em maiores quantidades com a colheita dos grãos (75, e 60 e 58%, respectivamente), enquanto o K e Ca são os nutrientes menos translocados (20 e 10%, respectivamente), permanecendo a maior parte nos restos culturais – “palha” (VON PINHO et al., 2009, BENDER et al., 2013, MALAVOLTA, 2006, SILVA, 2016).

Logo, a avaliação da absorção e particionamento dos nutrientes durante o ciclo do milho são importantes para informar a quantidade de nutrientes exigidos pela cultura e a sua eficiência na utilização de tais nutrientes, uma forma adequada de maximizar o potencial produtivo e diminuir perdas no sistema.

Com base no exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito comparativo entre a fertirrigação com água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes diluições no balanço nutricional, acúmulo, extração e exportação de macronutrientes pela cultura do milho.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização e localização da área experimental

O experimento foi realizado na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde-GO, em vasos plásticos, dispostos a céu aberto (Figura 1), nas coordenadas geográficas de 17°48'28" S e 50°53'57" O , com 720 m de altitude ao nível do mar e com clima Aw (tropical), conforme classificação de Köppen e Geiger (1928), com chuva nos meses de outubro a maio, e seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual da região varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).



Figura 1. Localização do experimento na área do IF Goiano – Campus Rio Verde.

A precipitação observada durante os meses de cultivo do milho na safra 2019 foi: junho (0,0 mm); julho (0,0 mm); agosto (0,0 mm); setembro (30,8 mm); outubro (8,4 mm), conforme Figura 2.

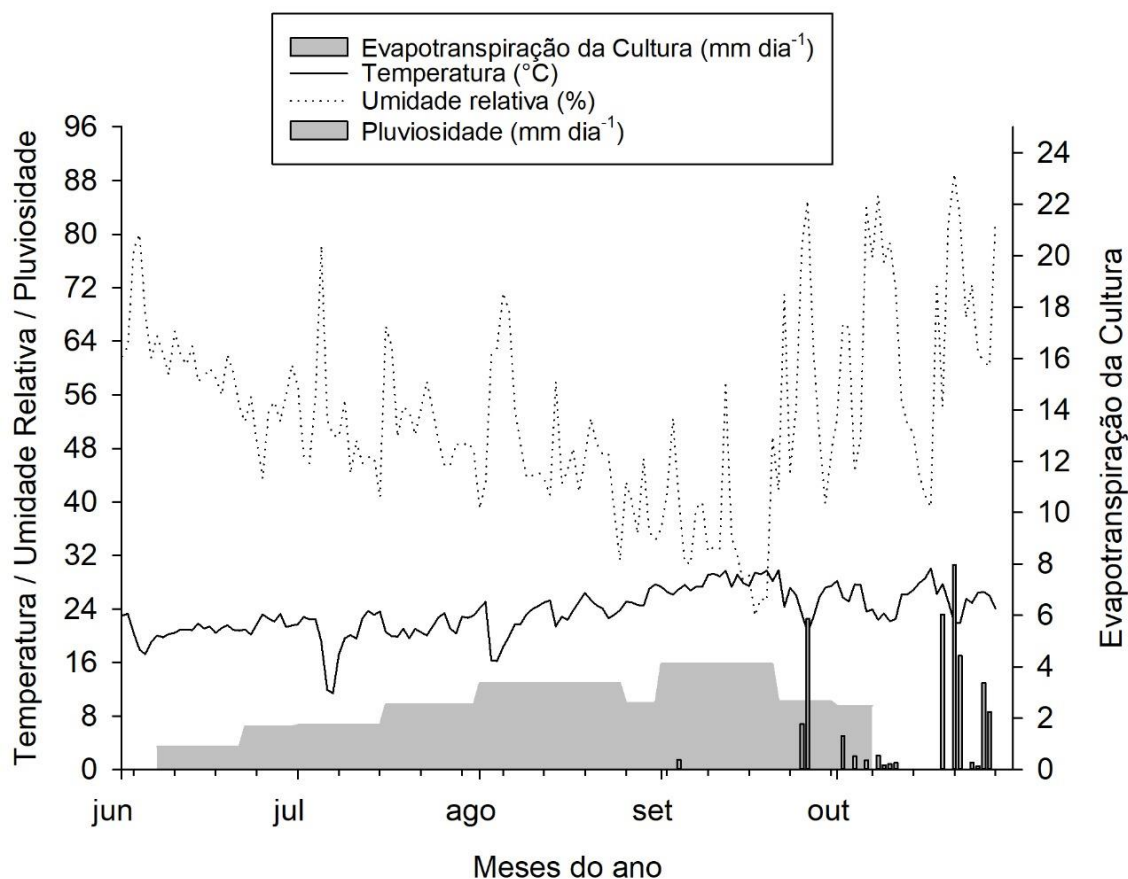


Figura 2. Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2019).

Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO. Pluviômetro instalado na área de cultivo.

Os vasos foram preenchidos com 25 litros de solo coletado numa camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IF Goiano – Campus Rio Verde, classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018), cujas características físico-químicas se encontram na Tabela 1, analisadas conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Características físico-químicas do solo, coletado na camada de 0,00–0,20 m de profundidade, utilizado para o preenchimento dos vasos.

Prof. ¹	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl ₂
--------------------	----	----	-------	----	------	---	---	---	---	-------------------

(m)	----- cmol _c dm ⁻³ -----						----- mg dm ⁻³ -----			pH
0,0-0,2	0,77	0,34	1,11	0,04	2,15	0,05	18	9,9	0,47	5,2
	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	SB	CTC	V% ^c	m% ^d
Prof. (m)	----- Micronutrientes (mg dm ⁻³) -----						cmol _c dm ⁻³		Sat. Bases	Sat. Al
0,0-0,2	0,0	75,56	12,96	4,16	3,93	ns	1,16	3,31	35	3,3
	Textura (g kg ⁻¹)			M.O.	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
Prof. (m)	Argila		Silte	Areia	g dm ⁻³	----- Relação entre bases -----				
0,0-0,2	502	49	449	15,2	2,3	15,4	6,8	23,26	10,27	1,51

¹P (Fósforo): Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco): Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio): KCl 1 mol L⁻¹; S (Enxofre): Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹; M.O. (Matéria orgânica): Método colorimétrico; B (Boro): água quente. Capacidade de troca catiônica (CTC); soma de bases (SB); saturação de bases (V%); saturação de alumínio (m%).

4.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2 × 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária (MATOS E MATOS, 2017) + 0, 25, 50, 75% de seu volume em água de abastecimento, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por quatro vasos com uma planta de milho, totalizando 96 unidades experimentais (Figura 3).

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Bloco 1
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
T3	T4	T1	T2	T7	T8	T5	T6	Bloco 2
T3	T4	T1	T2	T7	T8	T5	T6	
T3	T4	T1	T2	T7	T8	T5	T6	
T3	T4	T1	T2	T7	T8	T5	T6	
T7	T8	T5	T6	T3	T4	T1	T2	Bloco 3
T7	T8	T5	T6	T3	T4	T1	T2	

T7	T8	T5	T6	T3	T4	T1	T2	
T7	T8	T5	T6	T3	T4	T1	T2	

LEGENDA

T1	Água residuária de piscicultura + 75% Água de abastecimento
T2	Água residuária de piscicultura + 50% Água de abastecimento
T3	Água residuária de piscicultura + 25% Água de abastecimento
T4	Água residuária de piscicultura + 0% Água de abastecimento
T5	Água residuária de suinocultura + 75% Água de abastecimento
T6	Água residuária de suinocultura + 50 % Água de abastecimento
T7	Água residuária de suinocultura + 25% Água de abastecimento
T8	Água residuária de suinocultura + 0% Água de abastecimento

Figura 3: Croqui do delineamento experimental.

4.2.3 Caracterização das águas residuárias

As duas fontes de água residuária utilizadas neste estudo foram coletadas no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A água residuária de suinocultura (ARS) foi proveniente do setor de suínos, que continha 32 animais em fase de terminação, e após a coleta foi submetida a tratamento anaeróbio em biodigestor. Já a água residuária de piscicultura foi coletada em tanque de piscicultura para produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*), que possui volume de 1000 L e densidade de 131 peixes em fase juvenil, com aproximadamente 53 g cada.

A caracterização físico-química e bacteriológica das duas fontes de água residuária foi efetuada antes de cada fertirrigação, conforme *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), cujos valores médios estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas da água residuária de suinocultura e piscicultura utilizada para a fertirrigação do milho.

Parâmetro	Água residuária	
	Suinocultura	Piscicultura
pH	8,10	7,67
Turbidez (NTU)	280,00	3,79
Temperatura (°C)	22,97	22,15
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,01	0,43
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	966,94	587,5
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	3,43	4,60
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	5472,22	175,69
Sólidos fixos (mg L ⁻¹)	3822,92	73,29

Sólidos voláteis (mg L ⁻¹)	1649,30	102,40
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	478,92	91,17
Amônia (mg L ⁻¹)	408,08	30,00
Nitrito (mg L ⁻¹)	<0,01	<0,01
Nitrato (mg L ⁻¹)	41,00	37,00
Nitrogênio kjeldahl (mg L ⁻¹)	437,92	54,17
Nitrogênio orgânico (mg L ⁻¹)	29,12	24,17
Fósforo (mg L ⁻¹)	9,19	5
Potássio (mg L ⁻¹)	147,49	21,0
Cálcio (mg L ⁻¹)	26,65	11,9
Magnésio (mg L ⁻¹)	26,65	11,9

4.2.4 Determinação da dose de água residuária de piscicultura e suinocultura

Para determinação da dose de água residuária necessária para a fertirrigação do milho, utilizou-se a metodologia recomendada por Matos e Matos (2017), que considera a demanda de nitrogênio (N) pela planta, a quantidade de N presente no solo adotado e a concentração de N fornecida pelas águas residuárias (Equação 1).

$$DAR = \frac{1000 \times \left[Nabs - \left(Tm1 \times M.O \times ps \times P \times 10^7 \times 0,05 \times \frac{n}{12} \right) \right]}{\left[Tm2 \times \frac{n}{12} \times Norg + (Namon + Nnitrato) \times PR \right]} \quad (1)$$

Em que: DAR: dose de água residuária a ser aplicada (m³ ha⁻¹); Nabs: absorção de N para obtenção da produtividade desejada (kg ha⁻¹) (SOUSA; LOBATO, 2004); Tm1: taxa anual de mineralização da matéria orgânica já existente no solo (adimensional); M.O: conteúdo de matéria orgânica do solo (kg kg⁻¹); ps = massa específica do solo (t m⁻³); P: profundidade do solo considerada (m); n: duração do ciclo da cultura; Tm2: taxa de mineralização do nitrogênio orgânico (adimensional); Norg: nitrogênio orgânico (mg L⁻¹); Namon: nitrogênio amoniacal (mg L⁻¹); Nnitrato: nitrogênio nítrico (mg L⁻¹) e PR: recuperação do N mineral pela cultura (adimensional).

Para atender a demanda de nitrogênio pelo milho, visando uma produtividade de 10 t ha⁻¹, conforme recomendação de Sousa e Lobato (2004), foram necessários 17,09 L de água residuária de piscicultura planta⁻¹ e 2,08 L de água residuária de suinocultura planta⁻¹, parcelados em dois momentos de fertirrigação.

4.2.5 Implantação do experimento

Para a condução deste estudo foram utilizados vasos plásticos de polietileno com capacidade de 25 L. Foi confeccionado no fundo dos vasos um dreno com espessura de 4 cm de brita nº 1. Posteriormente, efetuou-se o preenchimento com 32 kg de solo (densidade do solo = $1,35 \text{ g cm}^{-3}$).

Foi efetuada a correção do pH do solo aplicando-se, 30 dias antes da semeadura, calcário filler calcítico na dose de 2 t ha^{-1} , correspondendo a aplicação de 20 g vaso^{-1} , segundo a metodologia de elevação da saturação por bases para 70%.

Todas as parcelas dos tratamentos foram adubadas com nitrogênio, fósforo e potássio no sulco de semeadura e, em cobertura a lançar apenas com fósforo e potássio, no estágio fenológico do milho V4 (quatro folhas totalmente desenvolvidas), segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004): 30 kg ha^{-1} de N ($2,42 \text{ g vaso}^{-1}$) na forma de nitrato de amônio; 28 g vaso^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples e $3,2 \text{ g vaso}^{-1}$ de K_2O na forma de cloreto de potássio (KCl) na semeadura; e 10 g vaso^{-1} de P_2O_5 e 5 g vaso^{-1} de cloreto de potássio (KCl) na cobertura.

O fornecimento de nitrogênio na cobertura foi realizado via fertirrigação com água residuária de piscicultura e suinocultura (Figura 4), nos estádios fenológicos V4 e V6, conforme a recomendação de Sousa e Lobato (2004) (100 kg ha^{-1} de nitrogênio), seguindo tratamentos descritos, de forma que o volume de água necessário para fertirrigação foi fracionado para não superar a capacidade de campo do solo.





Figura 4. Preparo das diluições da água residuária de suinocultura e piscicultura para a fertirrigação do milho.

Para determinação da capacidade de campo, o vaso já preenchido com solo foi saturado com água, coberto com uma lona para que não houvesse evaporação da água, e após um período de 48 horas foram efetuadas as leituras da umidade do solo com o sensor FDR, permitindo referenciar a umidade da capacidade de campo igual a $0,42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (42%).

Os vasos tiveram suas umidades elevadas até a capacidade de campo, momento em que foram semeadas 10 sementes de milho Híbrido 2A401PW por vaso. Aos 15 dias após a semeadura (DAS), foi efetuado o desbaste das plantas, deixando apenas uma planta por vaso (Figura 5).





Figura 5. Período antes e após o desbaste das plantas de milho.

Foi efetuado o monitoramento diário da umidade do solo através de sensores de umidade FDR (Frequency domain reflectometry), que tiveram suas hastes completamente inseridas no solo a um raio de 0,10 m da borda do vaso e na profundidade de 0,10 m. O manejo de irrigação foi realizado mantendo a umidade do solo próxima a 100% da capacidade de campo.

4.2.6 Variáveis analisadas

4.2.6.1 Estado nutricional da planta

Foram coletadas por ocasião do florescimento do milho, o terço central de seis folhas da base da espiga principal (superior), segundo metodologia descrita em Raij et al. (1996). O material colhido foi levado ao laboratório, lavado em água destilada, seco a 65°C em estufa com circulação forçada de ar por 72 horas, passado em moinho tipo Wiley e realizadas as determinações dos teores (g kg^{-1}) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), segundo metodologia descrita em Malavolta et al. (1997).

4.2.6.2 Teor e acúmulo de macronutrientes nos restos culturais e nos grãos, na ocasião da colheita

Para a determinação destas variáveis, no momento da colheita (110 DAS), as plantas foram divididas em palha (colmo, folhas, pendão, palha da espiga e sabugo) e grãos, e posteriormente acondicionadas em sacos de papel previamente identificados

com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por 72 horas, e em seguida, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley, numa peneira de 10 mesh. Posteriormente, acondicionadas em recipientes herméticos de acrílicos e levadas ao laboratório de análises químicas, para determinação dos teores (g kg⁻¹) dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), segundo metodologia descrita em Malavolta et al. (1997). O acúmulo do nutriente (g planta⁻¹) nos grãos e na palha foi calculado com base nas Equações 2, 3 e 4:

$$AC_{PL} = T_{PL} \times MSPA \quad (2)$$

$$AC_G = T_G \times MSG \quad (3)$$

$$AC_T = AC_{PL} + AC_G \quad (4)$$

Em que: AC_{PL}: acúmulo do nutriente na palha (g planta⁻¹); T_{PA}: teor do nutriente na palha (g kg⁻¹); MSPA: matéria seca da parte aérea (kg planta⁻¹); AC_G: acúmulo do nutriente nos grãos (g planta⁻¹); T_G: teor do nutriente nos grãos (g kg⁻¹); MSG: massa seca de grãos (kg planta⁻¹); AC_T: acúmulo total do nutriente na planta (g planta⁻¹).

4.2.6.3 Extração, exportação e partição dos macronutrientes

Também foram calculados os parâmetros técnicos: Particionamento do nutriente (%) entre palha e grãos (Equação 5), Extração (kg ha⁻¹) do nutriente pela planta de milho (Equação 6) e a exportação (kg ha⁻¹) do nutriente pelos grãos (Equação 7):

$$P_N = \frac{AC_{PL-G} \times 100}{AC_T} \quad (5)$$

$$EXT = \frac{AC_T \times 75.000}{1.000} \quad (6)$$

$$EXP = \frac{AC_G \times 75.000}{1.000} \quad (7)$$

Em que: P_N : particionamento do nutriente na palha e grãos (%); AC_{PA-G} : acúmulo do nutriente na palha ou nos grãos ($g\ planta^{-1}$); 100: Fator de conversão para porcentagem; EXT: extração do nutriente pelo milho ($kg\ ha^{-1}$); 1.000: fator de conversão de g para kg; EXP: exportação do nutriente pelos grãos ($kg\ ha^{-1}$).

4.2.7 Análises Estatísticas

Os dados das variáveis teor e acúmulo de macronutrientes obtidos no momento da colheita foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis diluições (D). Para o fator fontes (F) de água residuária, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

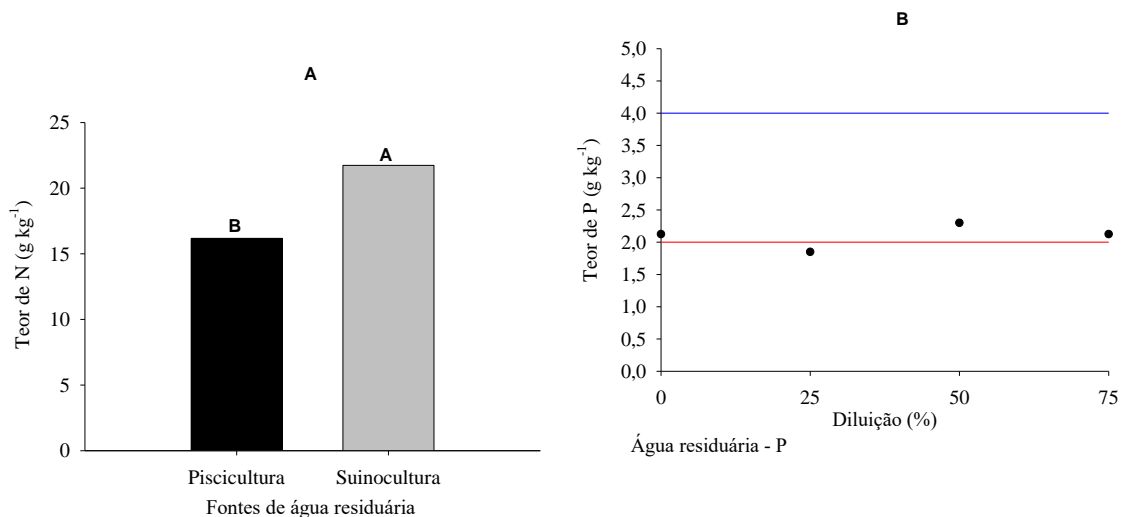
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Estado nutricional: Macronutrientes

Para os teores dos macronutrientes determinados no momento do florescimento do milho, não houve efeito significativo das diluições, assim como de fontes de água residuária sobre os teores de potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S), cujos valores médios para os teores foram iguais a 18,46; 2,19 e 1,26 $g\ kg^{-1}$, respectivamente. Para o K e Mg, estes valores ficaram dentro das faixas consideradas adequadas, proposta por Raij et al. (1996), de 17-35 $g\ kg^{-1}$ para o K, e de 1,5-5,0 $g\ kg^{-1}$ para o Mg, enquanto os valores de S ficaram abaixo da faixa, 1,5-3,0 $g\ kg^{-1}$ para o S.

Os teores de nitrogênio (N) no tecido vegetal foram influenciados pelas fontes de água residuária (Figura 6A), cuja água residuária de suinocultura (ARS) proporcionou teor de N 25,59% superior à fonte água residuária de piscicultura (ARP) (16,17 $g\ kg^{-1}$). Tal fenômeno, provavelmente pode ter relação direta com a disponibilidade de N em cada fonte de água residuária utilizada. Segundo Borges et al. (2006), o aumento no teor de N nas folhas de milho é dependente da disponibilidade de N para as plantas. Soratto et al. (2011), avaliando o efeito da adubação nitrogenada na nutrição e produtividade da cultura do milho, também verificaram que a disponibilidade de N proporciona incremento no teor foliar desse nutriente em plantas de milho.

Ribeiro et al. (2018) enfatizam a importância da adubação nitrogenada na semeadura do milho, sendo suplementada por posterior cobertura nitrogenada no estágio V4 da cultura, como a melhor forma deste nutriente em milho nas mesmas condições do presente estudo.



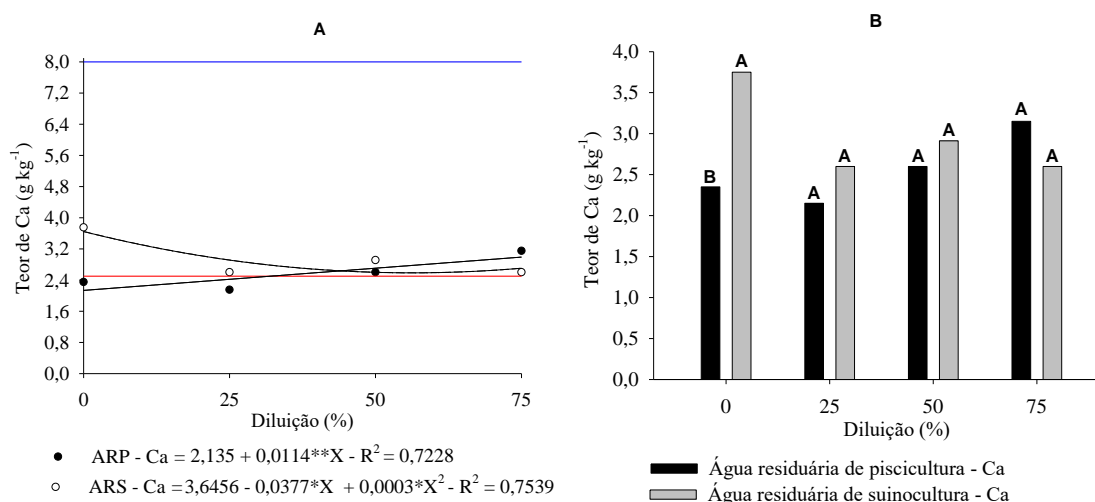
*Faixas de teores consideradas adequadas, conforme Raij et al. (1996) - Linha azul: 4,0 g kg⁻¹; Linha vermelha: 2,0 g kg⁻¹ para o K.

Figura 6. Teor de nitrogênio (N) em função das fontes de água residuária (A) e de fósforo (P) em função das diluições (B), na parte aérea do milho no florescimento, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Para o fósforo (P), a diluição das águas residuária exerceu efeito significativo nos teores desse macronutriente, porém os dados não se adequaram aos modelos polinomiais de primeiro e segundo graus testados (Figura 6B). Os teores de P com a diluição de 25% foram inferiores ao adequado, enquanto nas demais diluições, os teores de P permaneceram dentro da faixa recomendada. O maior valor para o teor de P (2,13 g kg⁻¹) encontrado neste estudo é inferior aos encontrados por Costa et al. (2012), que obtiveram teores desse nutriente na faixa de 2,69 g kg⁻¹. Os autores ainda afirmam que a água residuária não oferece P às plantas em grandes quantidades, apesar de observar valores que indicam uma nutrição adequada à planta.

Os teores de cálcio (Ca) no tecido vegetal sofreram influência significativa da interação diluição x fontes de água residuária (Figura 7). Para o teor de Ca quando utilizada a fonte ARP (Figura 7A), a diluição de 75% promoveu o maior teor no tecido

vegetal, igual a $2,99 \text{ g kg}^{-1}$, sendo, 28,59; 19,06 e 9,53% superior aos valores estimados nas diluições de 0, 25 e 50%, respectivamente. A diluição de 62,8% foi a que proporcionou o menor teor de Ca na fonte ARS, igual a $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 7A). Vale salientar que os valores para a fonte ARS estão dentro da faixa considerada ideal por Raij et al. (1996), que é de $2,5$ a $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca.



*Faixa de teor considerada adequada para o cálcio, conforme Raij et al. (1996) - Linha azul: $8,0 \text{ g kg}^{-1}$; Linha vermelha: $2,5 \text{ g kg}^{-1}$.

Figura 7. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o teor de cálcio (Ca) na parte aérea do milho no florescimento, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Ocorreu diferença significativa entre as fontes apenas na ausência de diluição - diluição de 0% (Figura 7B), cuja fonte ARS proporcionou teor de Ca na planta de milho de 37,33% maior que a fonte ARP, com valores iguais a $3,75$ e $2,35 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

4.3.2 Acúmulo, extração e exportação de macronutrientes

Ocorreu efeito isolado do fator fontes de água residuária no acúmulo de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na palha do milho. Já efeito interativo da diluição (D) x fontes (F) de água residuária foi observado apenas para o acúmulo de fósforo (P) na palha do milho.

A fonte água residuária de suinocultura (ARS) proporcionou maior acúmulo de N, K, Ca e Mg na ordem de 20,80; 19,84; 37,89 e 16,46% ao obtido na fonte ARP na palha do milho (Figura 8), com valores de 1,27; 2,68; 0,41 e 0,4 g planta⁻¹, respectivamente. Segundo Meira et al. (2009), a concentração de N nas folhas se relaciona à produtividade de grãos, e plantas com maiores teores de N na folha se tornam mais aptas para alocar carboidratos para o sistema radicular, tornando-o mais abrangente e capaz de melhor aproveitar o N, refletindo em maiores produtividades.

Malafaia et al. (2016), observaram aumento dos teores dos macronutrientes na folha do milho, evidenciando que a disponibilidade desses nutrientes em cada fonte de água residuária representa um potencial de elevação do acúmulo desses nutrientes na planta de milho.

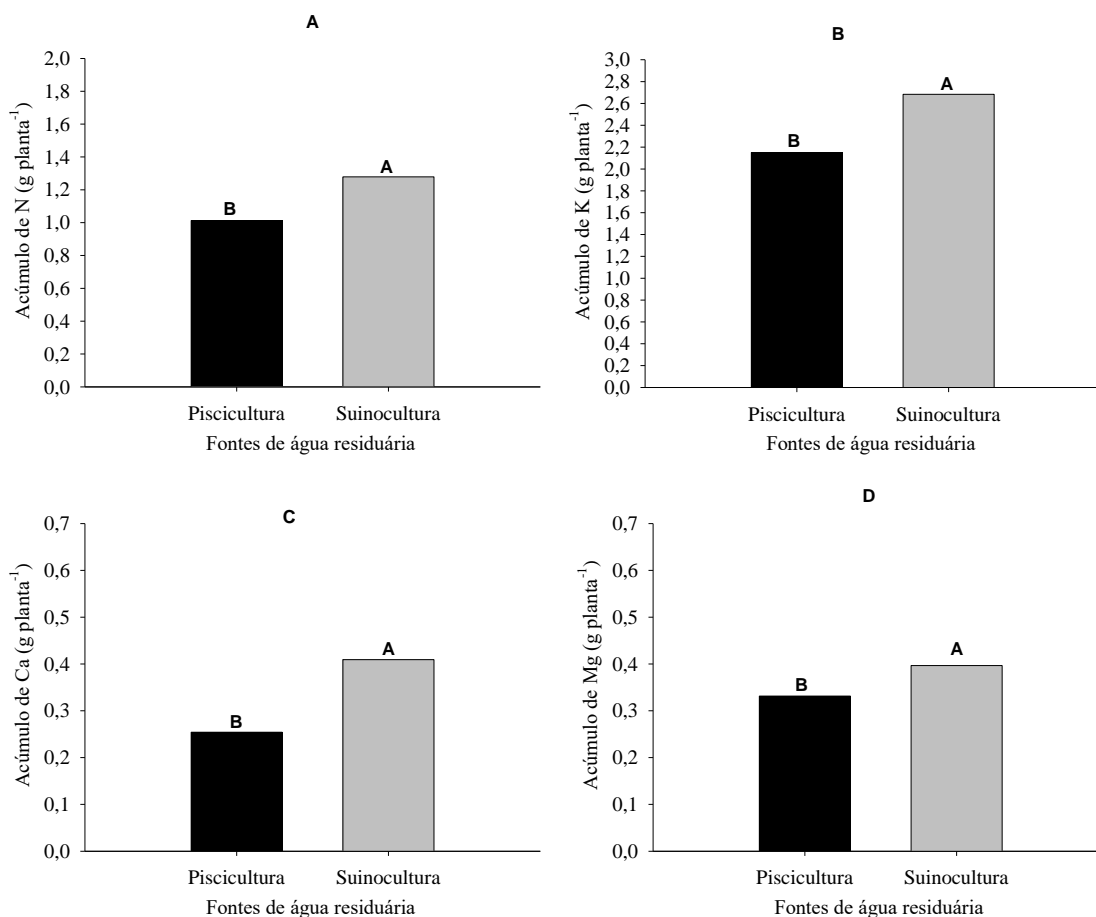


Figura 8. Acúmulo de nitrogênio (N) (A), potássio (K) (B), cálcio (Ca) (C) e magnésio (Mg) (D) na palha do milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Na Figura 9^a, observa-se o acúmulo de fósforo (P) em função das diluições para cada fonte de água residuária utilizada. Para a fonte ARP, independente da diluição empregada, não houve diferença nas concentrações de P na palha do milho, sendo obtida a concentração média de 0,16 g planta⁻¹. Já para a fonte ARS, os dados de acúmulo de P na palha do milho não se adequaram a nenhum dos modelos de regressão testados (Figura 9A). Ocorreu diferença significativa entre as fontes apenas nas diluições de 25% e 75% (Figura 9B), cuja fonte ARP apresentou acúmulo de P na palha do milho 38,38 e 32,20%, maiores comparada à fonte ARS, nas respectivas diluições.

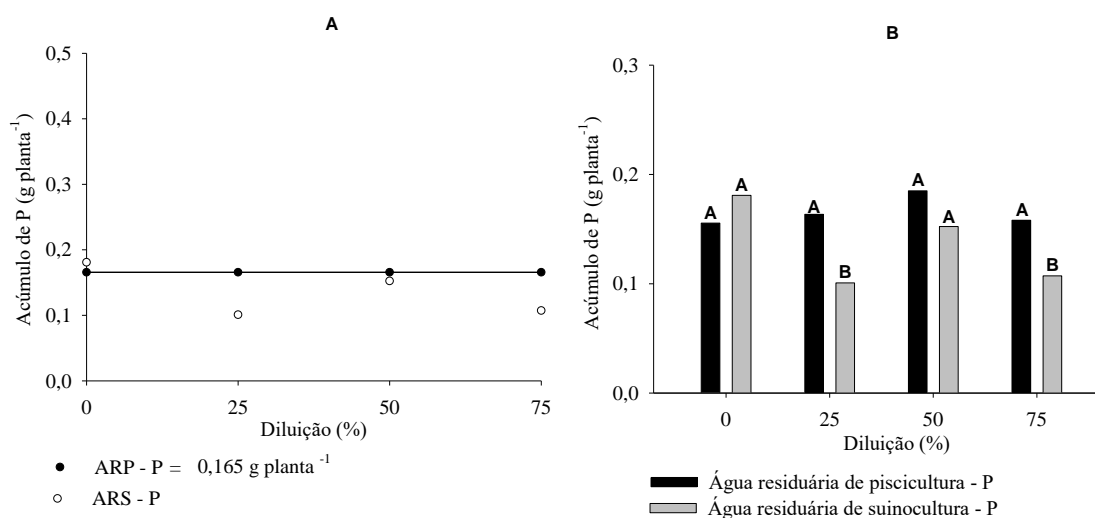


Figura 9. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo de fósforo (P) na palha do milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Para o acúmulo dos macronutrientes nos grãos de milho, ocorreu efeito significativo isolado das fontes de água residuária, para o potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S) (Figura 10). A fonte ARS proporcionou maiores valores de acúmulo de K nos grãos (Figura 10A), de Mg (Figura 10B) e de S (Figura 10C), iguais, respectivamente, a 0,91; 0,22 e 0,11 g planta⁻¹, que correspondem a 37,93; 35,66 e 50% superior aos acúmulos obtidos com o uso da fonte ARP (Figura 10). Estes acúmulos correspondem a exportações pelos grãos de milho de: 68,13 kg ha⁻¹ de K; 16,53 kg ha⁻¹ de Mg e 8,84 kg ha⁻¹ de S.

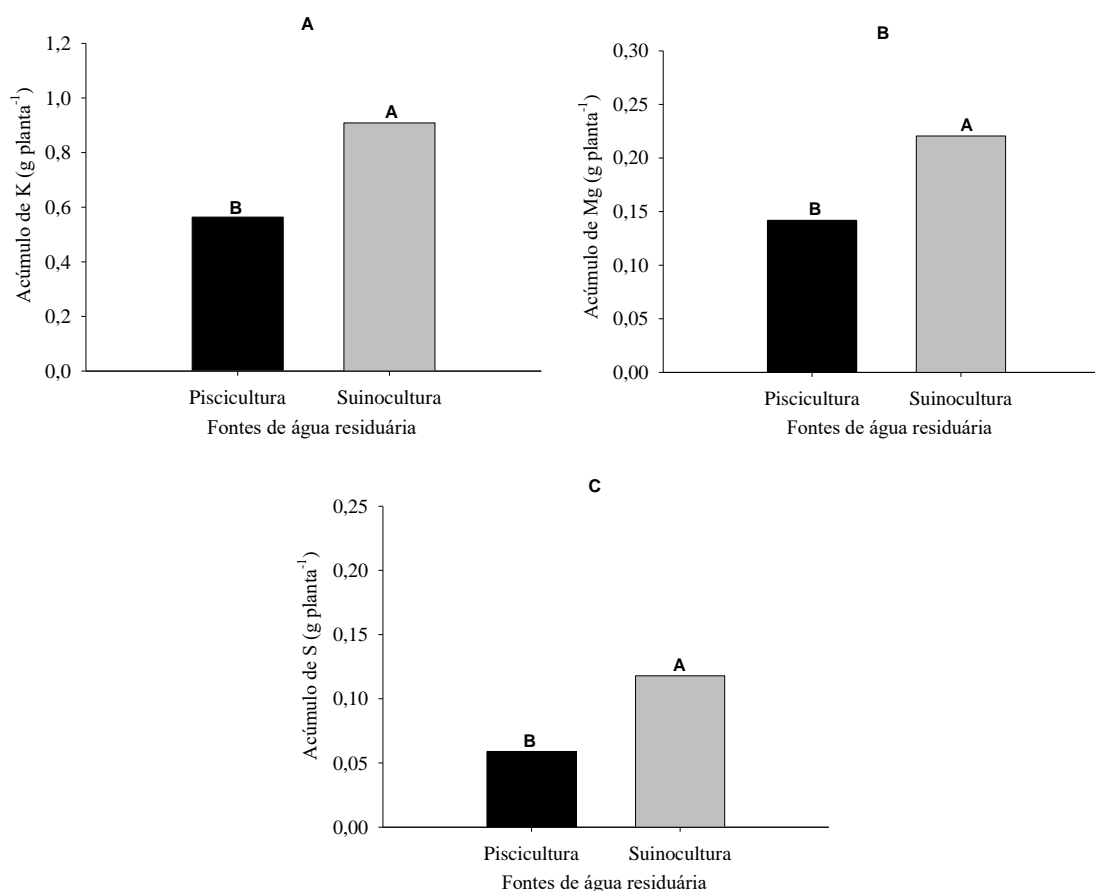


Figura 10. Acúmulo de potássio (K) (A), magnésio (Mg) (B) e enxofre (S) (C) nos grãos de milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

No caso do enxofre, o maior acúmulo nos grãos quando utilizada a ARS (Figura 10C), pode estar relacionada com a disponibilidade de nitrogênio nesta fonte de água residuária em relação à ARP, e pode ter proporcionado maior absorção do S, pelo sinergismo existente entre esses nutrientes (PLESSIS; AGENBAG, 1994), que reflete em maior exportação de enxofre para os grãos, sugerindo que o fornecimento de N em cobertura estimularia a absorção de S.

Na Figura 11^a, observa-se o acúmulo de nitrogênio (N) nos grãos em função das diluições para cada fonte utilizada. Para ARP, independente da diluição não houve diferença no acúmulo de nitrogênio nos grãos do milho, sendo obtido o acúmulo médio de 0,94 g planta⁻¹. Para a ARS, estimou-se aumentos de 0,17 g planta⁻¹ no acúmulo de N para cada aumento de 25% na diluição, em que o maior valor foi constatado na diluição de 75%, igual a 1,85 g planta⁻¹ (138,97 kg ha⁻¹).

Ocorreu diferença significativa entre as fontes apenas nas diluições de 50% e 75% (Figura 11B), cuja fonte ARS proporcionou acúmulo de 52,80 e 56,88%, respectivamente, maior do que a fonte ARP. Oliveira et al. (2019) constataram correlação entre o acúmulo de N, P e K nos grãos, com a produtividade da cultura do milho, de forma que os acúmulos desses nutrientes aumentaram linearmente com o aumento da produtividade, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. É importante destacar que maiores taxas de extração e exportação de nutrientes, geralmente condicionam maiores produtividades desta cultura (SIMÃO et al., 2017).

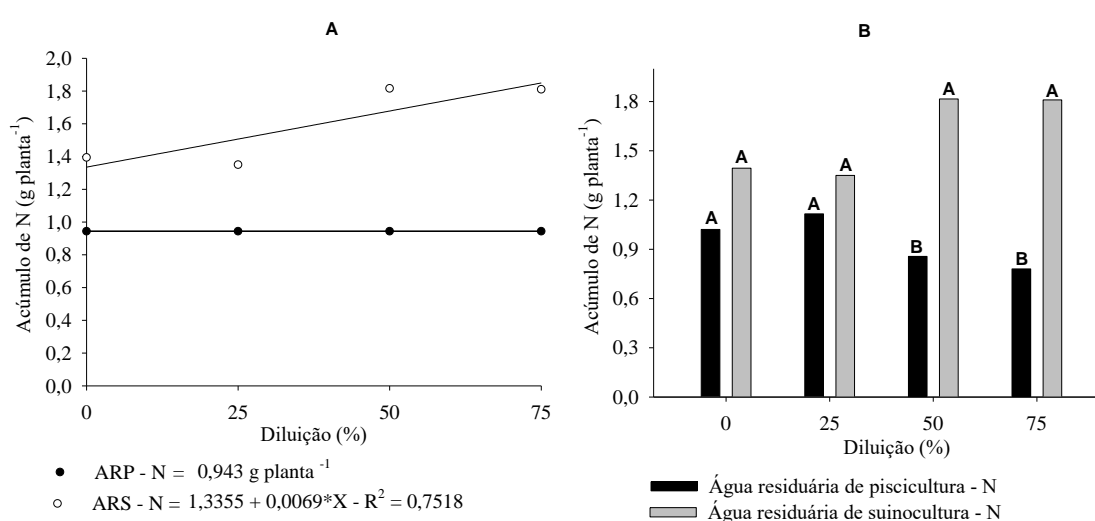


Figura 11. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo de nitrogênio (N) nos grãos de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Para o acúmulo de fósforo nos grãos em função das diluições, verifica-se que para as duas fontes de água residuária (ARP e ARS), independente da diluição não houve diferença no acúmulo de fósforo nos grãos do milho, cujo acúmulo médio obtido foi de 0,41 e 0,66 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 12). Este valor, corresponde à exportação de P pelos grãos de milho igual a 30,36 com uso de ARP e de 49,13 kg ha⁻¹ com uso de ARS. Ocorreu diferença entre as fontes nas diluições de 0%, 50% e 75% (Figura 12B), em que a ARS apresentou acúmulo de P 39,39; 49,94 e 50,90%, respectivamente, maior que a fonte ARP.

Os valores de exportação de P encontrados nos grãos de milhos são inferiores aos compilados por Resende et al. (2012) de publicações mais antigas, e comprova que

houve ganhos na eficiência de utilização do P em função do melhoramento genético. Portanto, as menores exportações de P em relação aos trabalhos anteriores confirmam a maior eficiência de uso de nutrientes por híbridos em sistemas de produção envolvendo milho (SILVA, 2016).

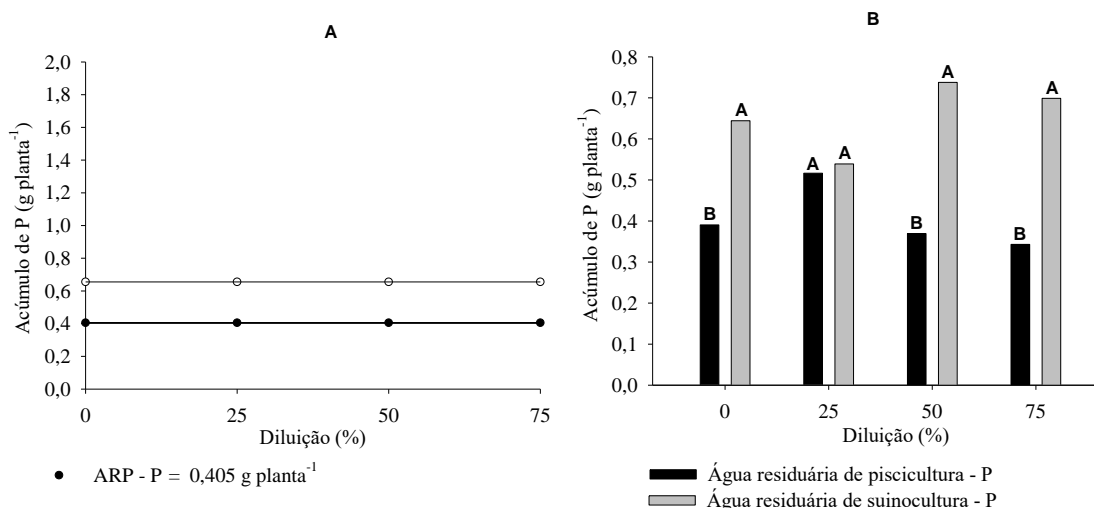


Figura 12. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo de fósforo (P) nos grãos de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Na Figura 13A, nota-se diferença no comportamento do acúmulo de cálcio (Ca) nos grãos de milho, quando se avalia as diluições em cada fonte de água residuária utilizadas. Ambas se adequaram ao modelo de regressão linear, entretanto para a fonte ARP, o aumento na diluição reduziu o acúmulo de Ca na ordem 0,01 g planta⁻¹, sendo que o maior valor foi estimado na ausência de diluição (0%), igual a 0,08 g planta⁻¹ (6,51 kg ha⁻¹). Já para a fonte ARS, o aumento em 25% na diluição promoveu o aumento na ordem de 0,0075 g planta⁻¹ no acúmulo de Ca, cujo maior valor de 1,13 g planta⁻¹ (9,64 kg ha⁻¹), foi estimado na diluição de 75%. Ocorreu diferença entre as fontes nas diluições de 0%, 25%, 50% e 75%, e a ARS proporcionou acúmulo de Ca de 22,33; 25,95; 48,17 e 57,85%, respectivamente, superior à fonte ARP (Figura 13B).

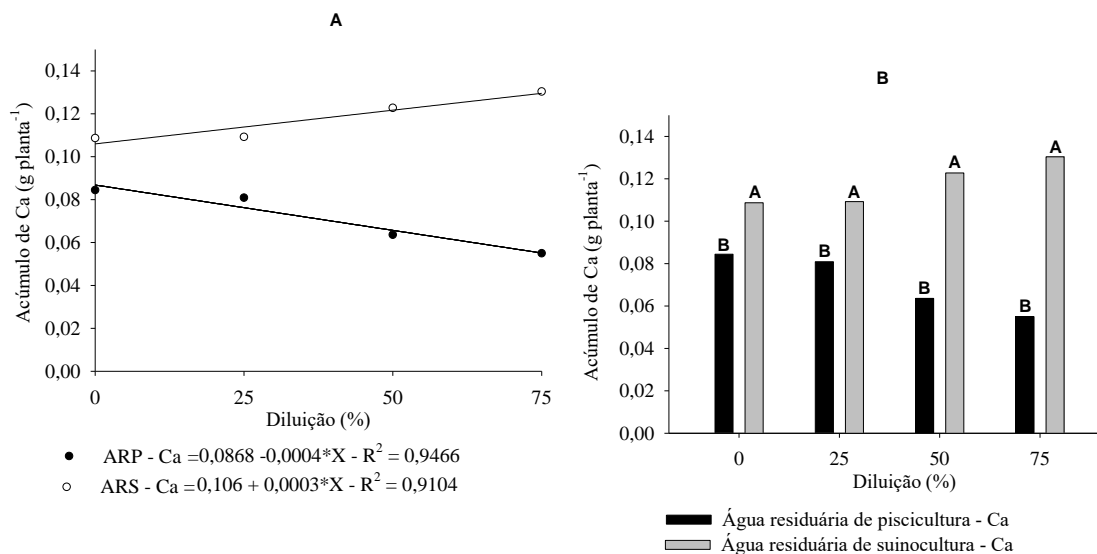


Figura 13. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo de cálcio (Ca) nos grãos de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

A exportação de N, P, Ca, para os grãos desse estudo foram inferiores à encontrada por Bender et al. (2013), que obtiveram exportação desses nutrientes de 166; 90 e 17 kg ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, a extração de K e Mg permaneceram na mesma faixa dos estudos de Bender et al. (2013), sendo de 66 kg ha⁻¹ para o K e 15 kg ha⁻¹ para o Mg.

Para o acúmulo total de K, Ca, Mg e S na planta de milho, ocorreu efeito isolado significativo das fontes, cujos maiores valores desses macronutrientes foram encontrados ao utilizar a fonte ARS, iguais, respectivamente, a 3,59; 0,52; 0,62 e 0,24 g planta⁻¹, concernente a 24,42; 32,31; 23,32 33,92% superior aos obtidos na fonte ARP (Figura 14). Este valor, corresponde à extração de K, Ca, Mg e S pelo milho, respectivamente, igual a 269,42; 39,52; 46,29 e 18,33 kg ha⁻¹.

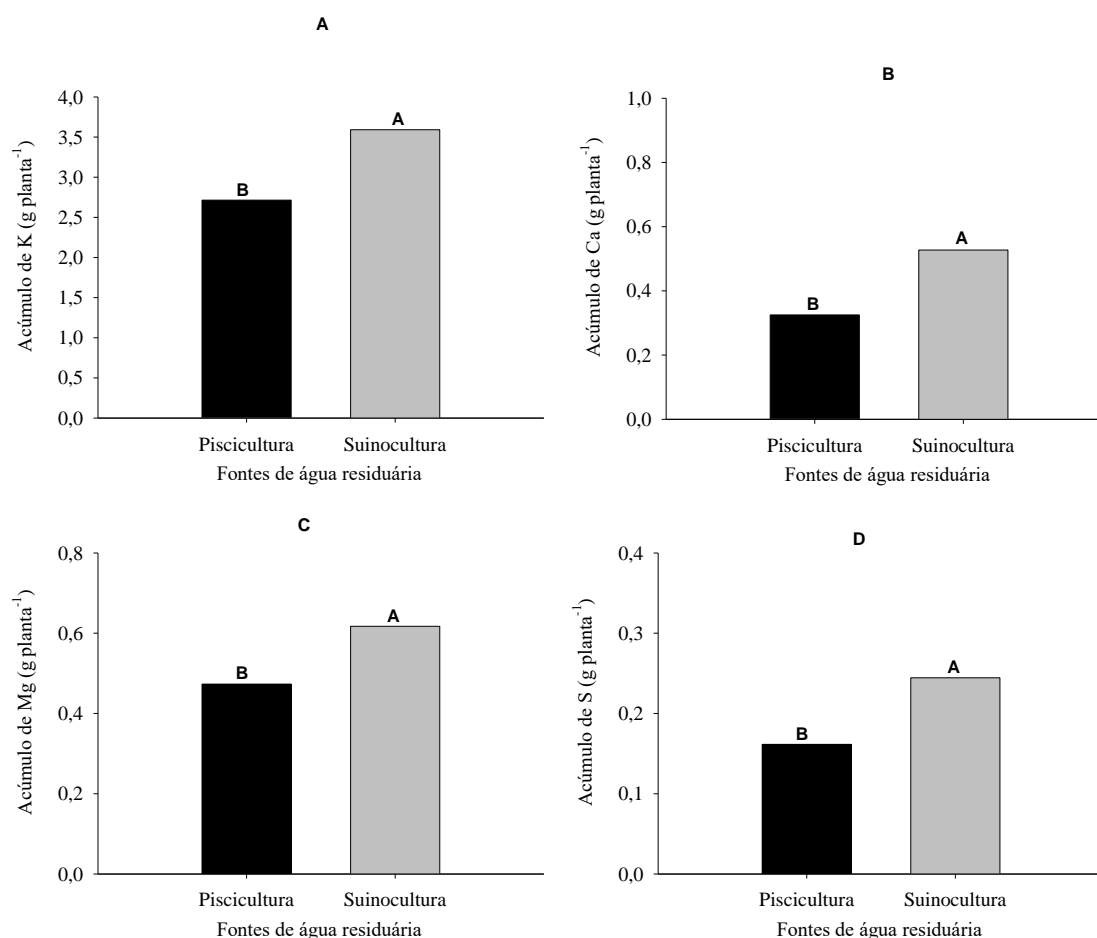


Figura 14. Acúmulo total de potássio (K) (A), cálcio (Ca), Magnésio (Mg) (C) e enxofre (S) (D) na planta de milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Os valores máximos de extração de Mg pelas plantas de milho estão próximos aos encontrados por Cabral Filho (2019), que ao avaliar a fertirrigação do milho com vinhaça e cloreto de potássio, constatou que a extração de Mg foi de 42 kg ha⁻¹.

Da mesma forma que no acúmulo nos grãos, o comportamento do acúmulo total de N e S foram semelhantes, em que, a relação entre seus acúmulos (N:S) na planta, independente da fonte e diluição, foi de 12:1, que situa dentro da faixa indicada por Arnon (1975), de 12:1 a 15:1, garantindo bom potencial de produção de matéria seca e proteína.

Os acúmulos totais de N em função das diluições para cada fonte utilizada, podem ser observados na Figura 15A. Para a ARP, o acúmulo de N permaneceu o mesmo para todas as diluições adotadas, sendo de 1,95 g planta⁻¹ (146,71 kg ha⁻¹). Já os dados obtidos para fonte ARS não se adequaram aos modelos de regressão testados. No

entanto, ocorreu diferença significativa entre as fontes nas diluições de 0%, 25% 50% e 75% (Figura 15B), cuja fonte ARS proporcionou ou acúmulo de N pelo milho de 25,58; 17,59; 41,09 e 39,52%, respectivamente, maior do que a fonte ARP. Resultados de extração superiores àqueles encontrados por Borin et al. (2010), que obtiveram extração total de N pelo milho de 123,05 kg ha⁻¹.

Os resultados do presente estudo são correspondentes aos obtidos por Loria et al. (2007), que estudaram várias águas residuárias tratadas de suinocultura e relataram que os melhores resultados em suficiência de N na cultura do milho foram encontrados com água residuária de suinocultura, após digestão anaeróbia em biodigestor, como usado no presente estudo.

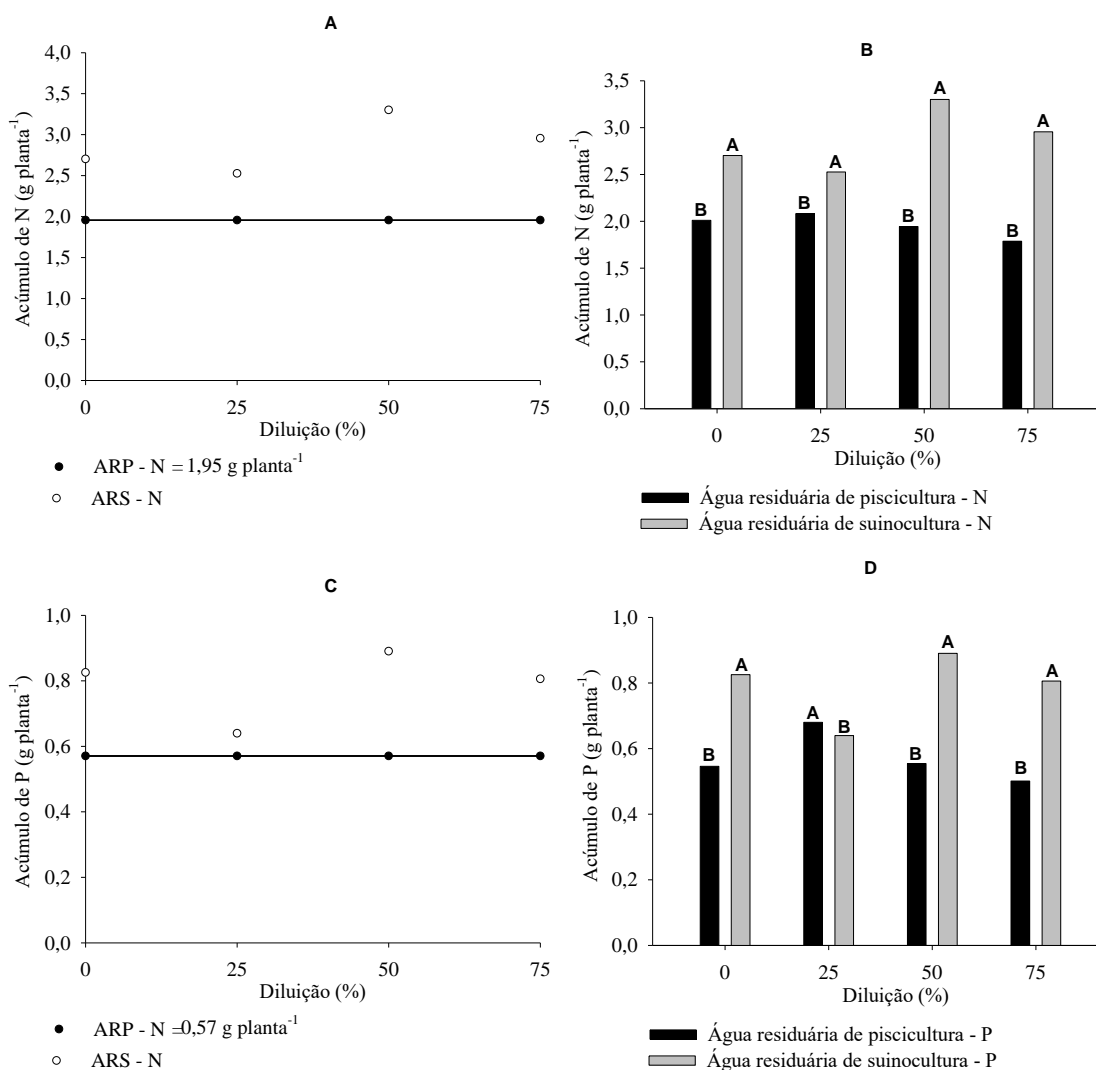


Figura 15. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o acúmulo total de nitrogênio (N) (A e B) e fósforo (P) (C e D) na planta de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Comportamento semelhante ao do N, foi também observado em relação ao acúmulo total de P quanto aos modelos de regressão para as duas fontes de água residuária utilizadas. Para a fonte ARP, independente da diluição, a concentração desse macronutriente permaneceu em $0,57 \text{ g planta}^{-1}$, que corresponde a extração de $42,78 \text{ kg ha}^{-1}$ de P pela planta de milho. Já para a fonte ARS, os dados não se ajustaram aos modelos de regressão testados (Figura 15C). No entanto, ocorreu diferença significativa entre as fontes nas diluições de 0%, 50% e 75% (Figura 15D), cujas plantas cultivadas com a fonte ARS apresentaram acúmulo total de P superior ao uso da fonte ARP, na ordem de 33,83; 37,72 e 37,81%, respectivamente. As quantidades extraídas de P nas plantas de milho foram inferiores às obtidas por Borin et al. (2010), que obtiveram a extração de $70,97 \text{ kg ha}^{-1}$ de P.

A extração de N e P pela planta de milho apresentaram comportamentos semelhantes, que de acordo com Fageria (2001), a resposta de uma cultura ao P é influenciada pela adubação nitrogenada, em que a maior disponibilidade de N pode resultar no aumento de rendimento, graças à presença de P, visto que as interações entre estes e outros elementos já são conhecidas. Tal comportamento é reforçado pelos estudos de Costa et al. (2012), em que a análise foliar revelou que as plantas de milho com maior teor de N também apresentavam maior teor de P.

A extração de P foi inferior à obtida por Menezes et al. (2018), que observaram extrações de P pelo milho, com e sem aplicação de dejetos suínos, de 56 kg ha^{-1} . Já em relação à extração de N e K, o presente estudo apresentou extração superior ao estudo supracitado, e os autores constataram extração na ordem de 117, e 257 kg ha^{-1} , respectivamente.

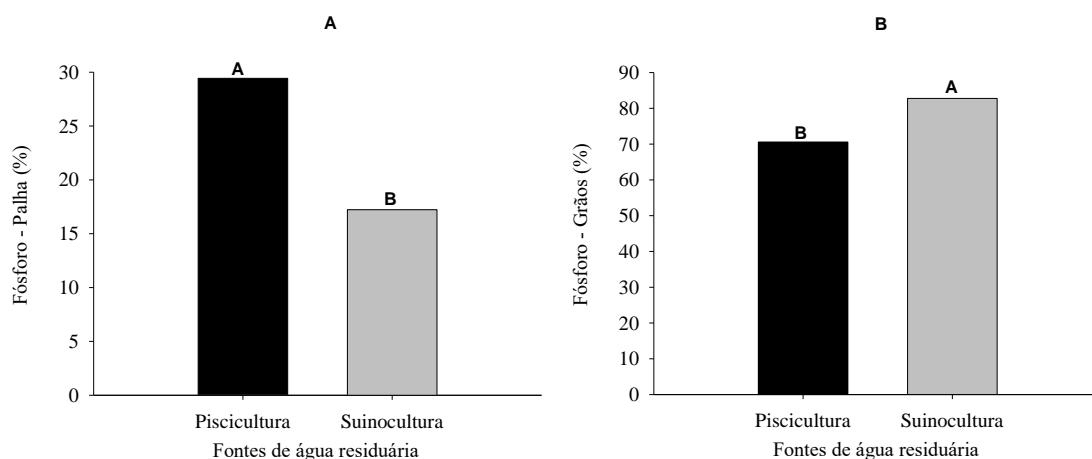
4.3.3 Particionamento dos macronutrientes no tecido vegetal

Houve efeito significativo isolado do fator fontes de água residuária para o particionamento de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e enxofre (S) e, efeito de interação diluição x fontes somente para o nitrogênio (N).

Em relação ao particionamento de P na palha, a fonte ARS proporcionou menor alocação de P quando comparada com a fonte ARP, com valores iguais a 17,22% e 29,43%, respectivamente (Figura 16A). Já nos grãos, ocorreu o inverso, na fonte ARS 82,77% do P foi alocado nos grãos e quando se utilizada a ARP, esse valor foi igual a 70,57% (Figura 16B).

Comportamento semelhante foi observado para o particionamento de K e S, sendo que na palha do milho a ARS proporcionou menor alocação desses nutrientes em relação à fonte de ARP (Figura 16C e Figura 16E), com valores iguais a 79,04% para o K e 63,26% para o S. Já nos grãos, ocorreu o inverso, na fonte ARS 25,31% e 48,88% do K e S, respectivamente, foram alocados nos grãos (Figura 16D e Figura 16F). Portanto, quando utilizada a fonte ARS houve aumento de 4,36 e 12,14%, respectivamente, nos acúmulos de K e de S nos grãos de milho.

O P é um nutriente extraído em menor proporção comparativamente ao N e ao K, porém é fortemente exportado nos grãos (OLIVEIRA et al., 2019). Independente da diluição e fonte de água residuária empregada, 76,7% do P extraído pela planta de milho foi alocado nos grãos, valores estes pouco inferiores aos encontrados por Setiyono et al. (2010), que mensuraram a taxa de 84% de P para os grãos de milho.



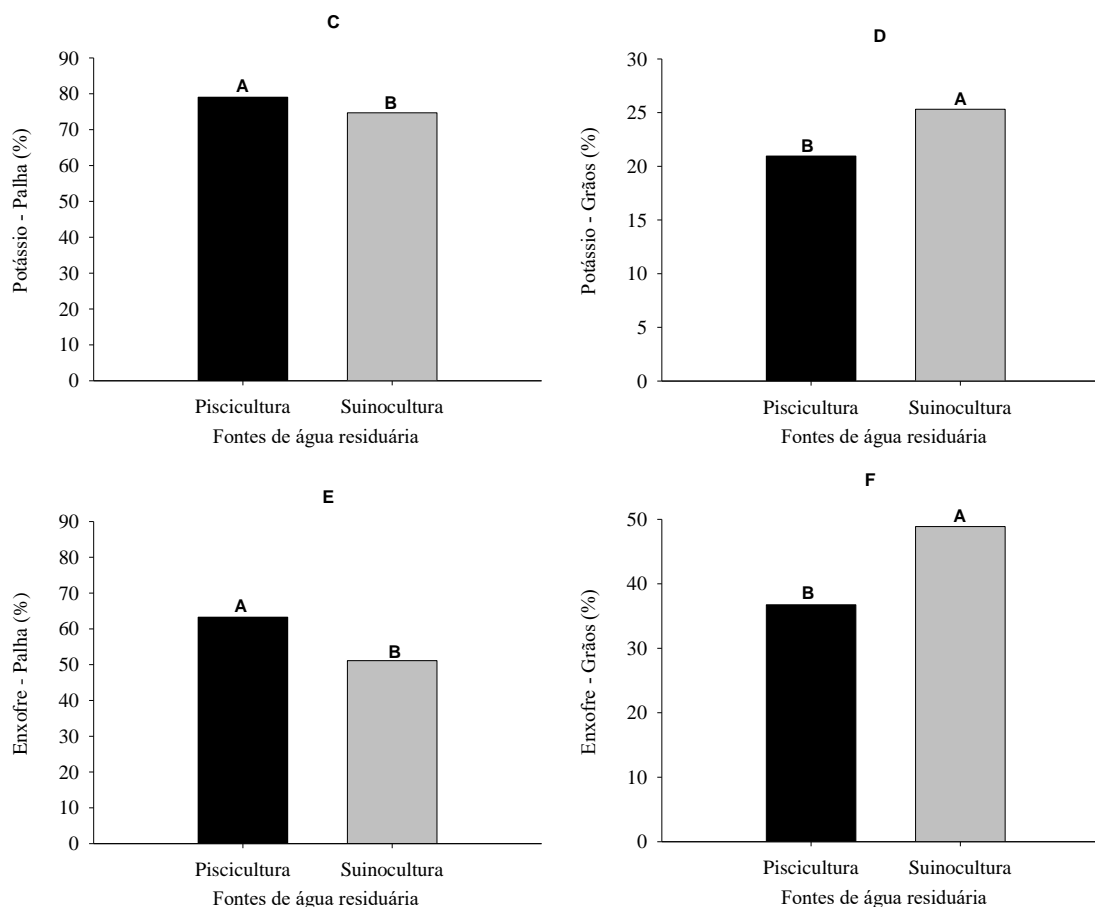


Figura 16. Particionamento do acúmulo de fósforo (P) (A e B), potássio (K) (C e D), e enxofre (S) (E e F) na planta de milho em função das fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS), Rio Verde, Goiás, safra 2019.

O aumento na disponibilidade de P e K na água residuária de suinocultura, possivelmente, favoreceu o aumento na taxa de translocação destes nutrientes para os grãos, a exemplo de o também relatado por Locatelli et al. (2019). Além disso, Souza (2017) reforça que o acúmulo de potássio, tanto nas folhas quanto nos grãos de milho, é influenciado pelo N, de forma que a maior taxa de N disponível contribuiu para o aumento do K na folha e no grão, na ordem de 24 e 64%.

Independente das fontes e diluições empregadas, a maior parte do potássio ficou acumulada na palha (76,86%). Geralmente, no caso do K, a maior parte é acumulada na parte vegetativa e, por isso é restituído ao solo após a colheita com a incorporação dos restos culturais do milho (ZORB et al., 2014). Como o K não faz parte da estrutura de compostos orgânicos nas plantas, acumulando-se no vacúolo, é

facilmente liberado ao solo com a fragmentação dos resíduos e com a lavagem pela água da chuva (ZORB et al., 2014).

Os grãos de milho acumularam entre 37 a 49% do enxofre extraído pelas plantas de milho, valores inferiores aos observados por Silva (2016), que encontrou alocação de 47 a 51% do S contido nas plantas. Diferenças na extração de enxofre entre estudos com a cultura do milho podem ser justificadas pelas distintas adubações, épocas de cultivo, híbridos e clima da região de cultivo (BULL et al., 1993; SIMÃO et al., 2017).

Para o particionamento de N, observa-se na Figura 17A e 17C que ao utilizar a fonte ARP, independente da diluição, o acúmulo de N permanece constante, sendo de 52% de N na palha e de 48% do nutriente acumulado nos grãos. Já para a fonte ARS, houve decréscimo estimado de 3,04% no acúmulo de N na palha a cada 25% de aumento na diluição da água residuária, sendo que ao utilizar a água residuária sem diluição (0%), observou-se o maior acúmulo de N na palha, com valor 49,41%. Esta mesma proporção de diluição de água residuária (0%), foi a que proporcionou o menor acúmulo de N nos grãos, equivalente a 50,59% da quantidade extraída.

Corroborando com este estudo, Silva (2016a) relatou que a cerca de 50% do N total acumulado foi exportado para os grãos. Já Borin et al. (2010), relataram que aproximadamente 52% do N foram redistribuídos para espiga e 48% permaneceram na planta. Silva (2016b) ao final do ciclo do milho também observou que pouco mais de 50% do N na planta foram alocados para os grãos.

De todo modo, esses índices são inferiores aos relatados em literaturas clássicas do Brasil, como os trabalhos de Vasconcellos et al. (1998) e Coelho e França (1995), que apresentaram proporção de N nos grãos entre 65 e 75% do total extraído pela cultura.

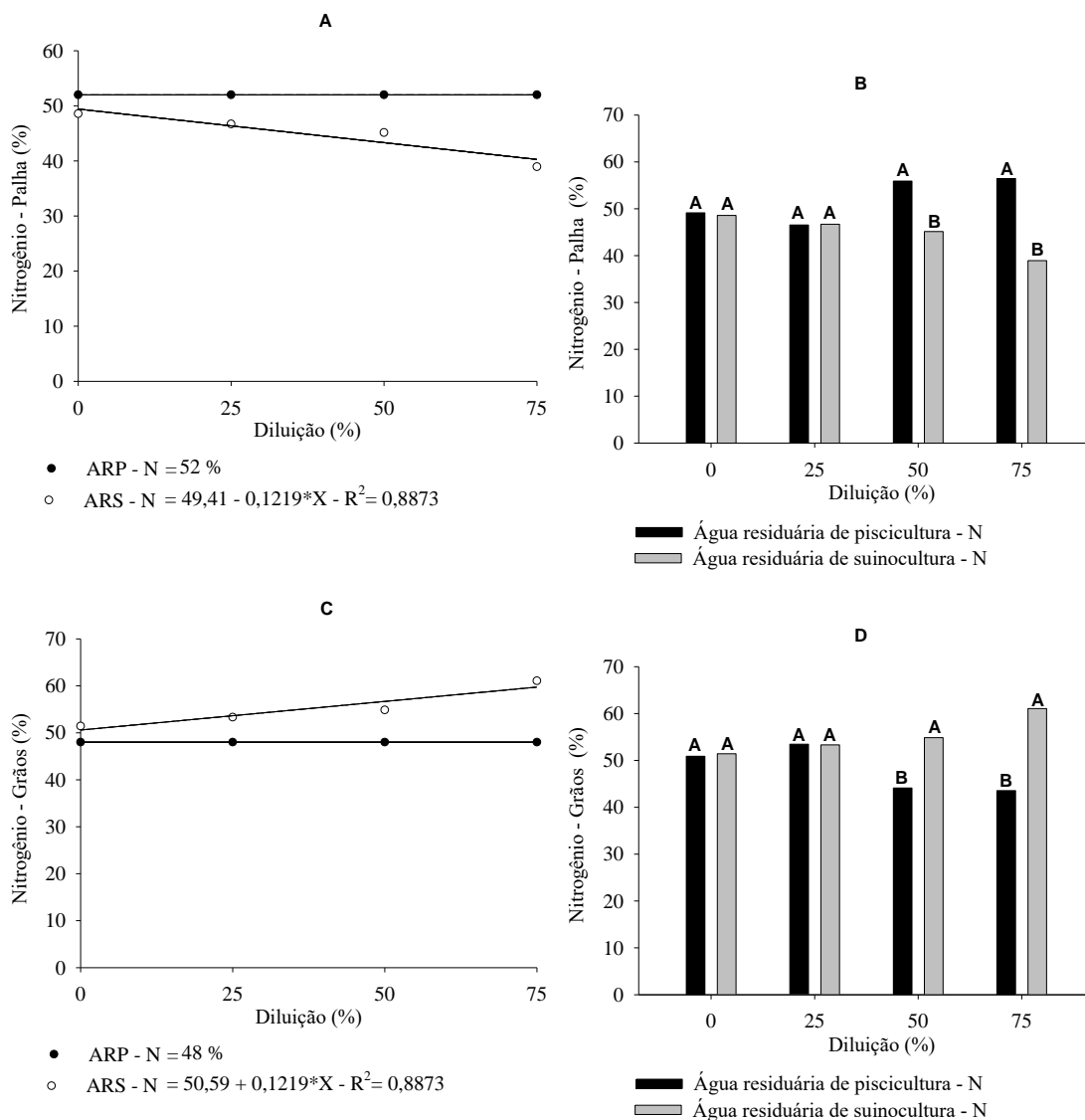


Figura 17. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o particionamento do acúmulo de nitrogênio (N) na palha (A e B) e nos grãos (C e D) de milho, Rio Verde, Goiás, safra 2019.

Com relação às fontes de água residuária, ocorreu diferença estatística apenas nas diluições de 50% e 75%, para o particionamento na parte aérea e nos grãos (Figura 17B e Figura 17D). A fonte ARP proporcionou maior alocação de N na palha, quando comparada à fonte ARS, com valores iguais a 55,90% e 56,44%, para as diluições de 50% e 75%, respectivamente. Já nos grãos, ocorreu o inverso para as diluições citadas, e na fonte ARS 54,85% e 61,05% do N foi alocado nos grãos de milho.

Segundo Silva et al. (2016), considerando o acúmulo total, o N e K são requeridos em maiores quantidades, e P, Ca, Mg e S em quantidades mais baixas, corroborando com os resultados observados neste estudo, em que, a escala de absorção e acúmulo de macronutrientes seguiu ordem decrescente de: $K > N > P > Mg > Ca > S$, correspondendo a faixas de extração médias de: 200-294; 134-247; 38-67; 33-50; 22-41 e 9-24 kg ha⁻¹, respectivamente. De maneira geral, a fertirrigação com água residuária de suinocultura na diluição de 50% apresentou as maiores extrações dos macronutrientes primários (N-P-K), enquanto na diluição de 75% houve menor taxa de extração para estes nutrientes.

O K é altamente extraído, porém a exportação é baixa, e indica a alta capacidade de reciclagem deste nutriente pelo milho (OLIVEIRA et al., 2019). Silva et al. (2016) ainda citam que a maior parte do N e do P são translocados para os grãos, corroborando também com os resultados deste estudo. De acordo com Bull (1993) o magnésio é o quarto nutriente mais absorvido pela planta de milho, e está de acordo com o encontrado neste estudo.

Os resultados do presente estudo evidenciam que as águas residuárias de piscicultura e suinocultura compreendem alternativas interessantes de fornecimento de nutrientes à cultura do milho e outras culturas. Além disso, quando manejadas de forma adequada, podem melhorar a fertilidade do solo, atuando como condicionador do solo, considerando-se o aporte de matéria orgânica. Ao mesmo tempo essa alternativa constitui uma opção para destinação mais adequada aos resíduos, minimizando o lançamento de efluentes nos corpos hídricos, possibilitando a reciclagem de nutrientes por essas fontes de água residuária (suinocultura e piscicultura) provenientes de setores econômicos com expansão acentuada no Brasil, e com prospecção de grande aumento para os próximos anos. Essa alternativa de reúso também constitui uma forma de redução nos custos de produção, sobretudo em pequenas propriedades, além de minimizar a dependência de fertilizantes minerais, que em sua maioria são importados e, portanto, representam grande parcela nos custos de produção das culturas. Assim, faz-se necessário incentivo à adoção dessas práticas, na busca de maior sustentabilidade sob os aspectos social, econômico e ambiental.

4.4 CONCLUSÕES

Independente da fonte de água residuária e da diluição utilizada na fertirrigação, à exceção para o teor de enxofre, o milho apresenta teores dos demais macronutrientes no tecido vegetal adequados, na época do florescimento.

A planta de milho apresenta maior acúmulo, extração e exportação de macronutrientes quando fertirrigado com a água residuária de suinocultura em comparação com a de piscicultura, independente da diluição utilizada.

A escala de acúmulo de macronutrientes pelo milho seguiu a ordem decrescente: K>N>P>Mg>Ca>S, correspondendo às faixas de extração médias de: 200-294; 134-247; 38-67; 33-50; 22-41 e 9-24 kg ha⁻¹.

O maior particionamento de macronutrientes para os grãos de milho é obtido quando utilizado a fonte de água residuária de suinocultura na diluição de 75%.

Considerando-se no aspecto nutricional da planta, a água residuária de suinocultura é a melhor opção para fertilização da cultura do milho, em qualquer uma das diluições, em comparação com a água de piscicultura.

4.5 REFERÊNCIAS

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.

AZEVEDO, C.M.S.B. **Nutrient transfer using ¹⁵N as a tracer in an integrated aquaculture and agriculture system**. Tucson. Tese (Doutorado em wildlife and fisheries) - Universidade do Arizona, 1998.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1234-1242, 2005.

BATISTA, R. O.; MARTINEZ, M. A.; PAIVA, H. N.; BATISTA, R. A.; CECON, P. R. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 127-135, 2014.

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, v.105, n.1, p.161-170, 2013.

BERNARDI, A. C. de C.; OLIVEIRA jr, J. P. de.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. da S.; FREITAS, P. L. de.; CARVALHO, M. da C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BORGES, E. A.; FERNANDES, M. S.; LOSS, A. SILVA, E. E.; SOUZA, S. R. Acúmulo e remobilização de nitrogênio em variedades de milho. **Revista Caatinga**, v.19, n.3, p.278-286, 2006.

BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciência Agro técnica.**, Lavras, v. 34, Edição Especial, p. 1591-1597, 2010.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993.

CABRAL FILHO, F. R. **Desempenho agrônômico e balanço nutricional na planta de milho fertirrigado com vinhaça concentrada e cloreto de potássio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia). Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde, Rio Verde – GO, 2019.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. D. **Seja o Doutor do seu Milho**. Arquivo do agrônomo n°2 Potafos, 1995.

COSTA, M. S.; COSTA, Z. V. B.; ALVES, S. M. C.; NETO, M. F.; MARINHO, J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 12 - 26, 2012.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p.1269-1290, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; SANTOS, G. F. Imobilização do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 41-50, 2009.

HENRY-SILVA, G. G. H.; CAMARGO, A. F. M. Impacto das atividades de aquíicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas – relato de caso. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2018.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LOCATELLI, J. L.; BRATTI, F.; RIBEIRO, R. H.; BESEN, M. R.; TURCATEL, D.; PIVA, J. T. Uso de dejetos líquidos de suínos permite reduzir a adubação mineral na cultura do milho? **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 628-637, 2019.

LORIA, E. R.; SAWYER, J. E.; BARKER, D. W.; LUNDVALL, J. P.; LORIMOR, J. C. Use of anaerobically digested swine manure as a nitrogen source in corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 1119-1129, 2007.

MALAFAIA, G.; ARAÚJO, F. G.; LEANDRO, W. M.; RODRIGUES, A. S. L. Teor de nutrientes em folhas de milho fertilizado com vermicomposto de lodo de curtume e irrigado com água residuária doméstica. **Revista Ambient e Água**, v. 11 n. 4, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MATOS, A.T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. v.1. 371p.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.

MENEZES, J. F. S.; BERTI, M. P. S.; VIEIRA JÚNIOR, V. D.; RIBEIRO, R. L.; BERTI, C. L. F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 3, p.55-59, jul./set. 2018.

MOREIRA, J. C. **Acúmulo de matéria seca e de nutrientes na cultura do milho verde**. Dissertação (Pós-Graduação em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi- Árido, Mossoró, 2015.

MORTATE, R. K.; NASCIMENTO, E. F.; GONÇALVES, E. G. S.; LIMA, M. W. P. Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2018.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.4, n.2, p.226–244, 2011.

OLIVEIRA, T. F.; OLIVEIRA, V. J. B.; CLEMENTE, J. M.; AQUINO, L. A.; REIS, M. R.; FERNANDES, F. L. Extração e exportação de macronutrientes em lavouras de milho de alta produtividade. **Revista Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n.3, p. 837-854, 2019.

PLESSIS, J. P.; AGENBAG, G. A. Reaction of two wheat cultivars to nitrogen and sulphur fertilizer in the Swartland: I. Vegetative growth, nitrogen and sulphur uptake and concentration in the plant. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 11, n. 4, p. 163-169, 1994.

RAIJ, B. Van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico Campinas, 1997. 285 p.

RESENDE, A. V. de; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C. dos; LACERDA, J. J. de J. Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, 2012, 12p.

RIBEIRO, R.H.; BESEN, M.R.; FIOREZE, S.L; PIVA, J.T. Management of nitrogen fertilization in maize cultivated in succession to black oats in a temperate climate. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 2, p. 202-210, 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE P. K. T; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5 ed. ver. amp., 2018.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 123- 131, 2007.

SETIYONO, T. D.; WALTERS, D. T.; CASSMAN, K. G.; WITT, C.; DOBERMANN, A. Estimating maize nutrient uptake requirements. **Field Crops Research**, Canberra, v. 118, n. 2, p. 158-168, 2010.

SILVA, A. D.; MENEZES, C. C. E.; MENEZES, J. F. S.; NASCIMENTO, W. P. Fontes e doses de magnésio na cultura do milho. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v.09, n.03, p.20 - 30, set/dez. 2016a.

SILVA, C. G. M. **Absorção e exportação de macronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de investimento em adubação**. Dissertação (Ciências Agrárias) – Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2016b.

SILVA, E. L. **Adubação potássica na cultura da soja cultivada na região de cerrado maranhense**. Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2016.

SIMÃO, E. P.; RESENDE, A. V.; NETO, M. M. G.; BORGHI, E.; MARTINS, D. C.; VANIN, A. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p. 481-494, 2017.

SORATTO, R. P.; SILVA, A. H.; CARDOSO, S. M.; MENDONÇA, C. G. Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 62-70, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 19 p. 2005.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, C. F. **Desempenho agrônômico e eficiência de utilização de nitrogênio por cultivares de milho**. Tese (Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2017.

SOUZA NETO, M. F. **Manejo da adubação potássica na cultura do milho (*Zea mays*)**. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574 p., 2017.

VASCONCELLOS, C. A.; VIANA, M. C. M.; FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.11, p.1835-1845, 1998.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; ANDRADE, J. L. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.8, n.2, p.157-173, 2009.

ZORB, C.; T SENBAYRAM, M.; PEITERC, E. Potassium in agriculture - Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, Parkville, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

5 CAPÍTULO III

UNIFORMIDADE DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUPERFICIAL EM FUNÇÃO DA FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA E SUINOCULTURA DILUÍDAS

RESUMO

O aproveitamento de águas residuárias de origem animal na fertirrigação possibilita o aporte e reciclagem de nutrientes para a cultura do milho. O sistema de irrigação por gotejamento é recomendado para este tipo de aplicação, porém requer monitoramento adequado da vazão e pressão para garantir uniformidade de distribuição de água e identificar o risco de entupimento dos emissores. Com base no exposto, objetivou-se avaliar o efeito comparativo entre a fertirrigação do milho com água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes diluições no sistema de irrigação por gotejamento superficial. O sistema de irrigação por gotejamento foi dimensionado para a fertirrigação do milho cultivado em vasos plásticos dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2×4 , com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária + 0, 25, 50, 75% de seu volume em água de abastecimento. A coleta e posterior avaliação da uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação foi realizada às 0 e 47 horas de funcionamento do sistema. Utilizou-se a metodologia proposta por Keller e Karmeli modificada para este estudo, em que foram coletados os volumes de água de 48 gotejadores, sendo, 6 por linha à pressão de 1,25 bar no cabeçal de controle. Os volumes de água emitidos pelos gotejadores foram mensurados em provetas, com capacidade de 0,10 L, posteriormente, estes dados foram tabulados e se obteve a vazão média dos gotejadores. Com os dados de vazão, determinou-se o desempenho hidráulico do sistema com base nos cálculos de coeficiente de uniformidade de Christiansen, uniformidade de distribuição, uniformidade estatístico, uniformidade de Hart, uniformidade absoluto, eficiência padrão da HSPA, vazão relativa, coeficiente de variação e grau de entupimento. O desempenho hidráulico do sistema irrigação por gotejamento no tempo inicial é considerado excelente para todos os parâmetros de uniformidade avaliados. Independente da fonte de água residuária utilizada na fertirrigação do milho, o aumento na diluição proporciona o melhor desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento superficial às 47 horas de funcionamento. O uso do sistema de irrigação por gotejamento operando com água residuária de suinocultura e piscicultura não compromete a uniformidade de distribuição de água às plantas.

Palavras-chave: *Zea mays* L., efluentes, irrigação localizada, uniformidade.

UNIFORMITY OF SURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEM AS A RESULT OF FERTIRRIGATION WITH DILUTED PISCICULTURE AND SWINE PRODUCTION WATER

ABSTRACT

The use of animal wastewater in fertigation allows the supply and recycling of nutrients to the corn crop. The drip irrigation system is recommended for this application type, but requires adequate monitoring of the flow and pressure to ensure uniformity of water distribution and to identify the emitters risk of clogging. Based on the above, the objective was to evaluate the comparative effect between the corn fertigation with wastewater from fish farming and pig farming at different dilutions in the hydraulic performance of the surface drip irrigation system. The drip irrigation system was designed for the fertigation of corn grown in plastic pots arranged in the open, at the experimental station of the Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde – GO, Brazil. The experimental design used was in randomized blocks, analyzed in a 2×4 split plot scheme, with three replications. The treatments consisted of two sources of waste water (fish and pig farming) diluted in four proportions of water supply, being: recommended dose of waste water + 0, 25, 50, 75% of its volume in water supply. The collection and subsequent evaluation of the water application uniformity of the irrigation system was performed at 0 and 47 hours of system operation. The methodology proposed by Keller and Karmeli modified for this study was used, in which the volumes of water from 48 drippers were collected, 6 per line at a pressure of 1.25 bar in the control head. The volumes of water emitted by the drippers were measured in beakers, with a capacity of 0.10 L, later, these data were tabulated and the average flow of the drippers was obtained. With the flow data, the hydraulic performance of the system was determined based on calculations of Christiansen's uniformity coefficient, distribution uniformity, statistical uniformity, Hart uniformity, absolute uniformity, HSPA standard efficiency, relative flow, variation coefficient (CV) and degree of clogging. The hydraulic performance of the drip irrigation system in the initial time is considered excellent for all evaluated uniformity parameters. Regardless of the wastewater source used in corn fertigation, the increase in dilution provides the best hydraulic performance of the surface drip irrigation system at 47 hours of operation. The use of the drip irrigation system operating with swine and fish farming wastewater does not compromise the uniformity of water distribution to plants.

Keywords: *Zea Mays* L., effluents, localized irrigation, uniformity.

5.1 INTRODUÇÃO

O milho é um produto fundamental para a agricultura brasileira, cultivado em todas as regiões do país, em mais de dois milhões de estabelecimentos agropecuários (CONTINI et al., 2019). Em função da sua composição química e valor nutricional, busca-se constantemente elevar o potencial produtivo desta cultura. Entretanto, existem vários fatores que podem influenciar no rendimento de grãos do milho, como o

potencial genético da semente, condições edáficas e climáticas, manejo adotado (BÁRBARO et al., 2008), bem como as condições nutricionais fornecidas.

A disponibilidade de nitrogênio (N) é um dos fatores mais importantes, pois é o nutriente absorvido em maior quantidade pelas plantas de milho e o que exerce efeito mais pronunciado na produtividade (SCHERER, 2010). Nesse contexto, a utilização de água residuária surge como uma fonte alternativa de adubação nitrogenada, pois apresenta nutrientes, principalmente nitrogênio e potássio, em sua composição, atuando na redução das doses de fertilizantes minerais necessárias para a cultura (ABREU, 2019).

Além de possibilitar melhorias de produtividade, graças ao fornecimento de nutrientes, o aproveitamento de águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas constitui uma opção de descarte adequado desses resíduos, contribuindo para a redução da poluição ambiental provocada pelo lançamento desses efluentes em corpos hídricos. Atividades do setor agroindustrial, como suinocultura e piscicultura, produzem diariamente quantidade significativa de efluentes com elevada carga de nutrientes e matéria orgânica (SILVA, 2019; GOMES, 2016) que podem comprometer a qualidade da água.

O sistema de irrigação por gotejamento é recomendado para aplicação de águas residuárias pela otimização de aplicação do efluente e baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo (LOPES et al., 2015), destacando-se entre os demais métodos por sua eficiência e uniformidade. A irrigação por gotejamento é caracterizada pela aplicação de pequenos volumes de água, em alta frequência e diretamente na zona radicular das culturas, mantendo o solo próximo à capacidade de campo e evitando a perda de água por evaporação e percolação profunda (FRIZZONE et al., 2012).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, Silva et al. (2015) apontam que existe tendência de expansão de áreas irrigadas por gotejamento em substituição a outros sistemas de irrigação em algumas regiões do Brasil. Por causa de suas vantagens, o uso do sistema de gotejamento tem ganhado aumento expressivo em grandes culturas, como é o caso da cana-de-açúcar (DELLABIGLIA, 2016; SILVA et al., 2019; FISCHER FILHO, 2018), sorgo (SOUSA et al., 2017; SILVA, 2018) e milho (BEZERRA et al., 2019; FREITAS, 2019; VAZ, 2019; OLIVEIRA, 2018; BARBOSA et al., 2019). Apesar da elevada eficiência, a principal limitação desse sistema para uso

em fertirrigação com água residuária é a sensibilidade de obstrução dos emissores por contaminantes físicos, biológicos e químicos presentes nestas águas (DOSORETZ et al., 2011; SILVA et al., 2013).

As águas residuárias apresentam em sua composição alta carga orgânica, elevada quantidade de sólidos suspensos e variação no pH (MACAN et al., 2017), que podem prejudicar os emissores. Além disso, a formação de depósitos gelatinosos resultantes da interação entre partículas orgânicas tem sido um dos fatores centrais no processo de entupimento de gotejadores, aplicando-se águas residuárias (BATISTA et al., 2013), que prejudicam o funcionamento geral do sistema de irrigação, e afeta suas características de operação e interfere na uniformidade de distribuição de água (CUNHA et al., 2006; BATISTA et al., 2013).

Para evidenciar a real influência da utilização de águas residuárias no uniformidade e grau de entupimento do sistema de irrigação por gotejamento superficial pode-se utilizar coeficientes, como o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH), Coeficiente de Uniformidade Absoluto (CUA), Coeficiente de variação (CV), Eficiência padrão da HSPA (UDH), além do conhecimento de critérios como a vazão relativa e grau de entupimento do sistema de irrigação.

De acordo com Mantovani et al. (2009) a avaliação da irrigação é uma etapa fundamental para definir a eficiência de uso da água pelo sistema de irrigação, perdas durante a aplicação e necessidade de manutenção do sistema em função do entupimento que altera a uniformidade de distribuição de água.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a fertirrigação do milho com água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes no sistema de irrigação por gotejamento superficial.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização e localização da área experimental

O sistema de irrigação por gotejamento superficial foi dimensionado para a fertirrigação do milho cultivado em vasos plásticos dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. A área se

encontra a 720 m de altitude e nas coordenadas geográficas de 17°48'28" S e 50°53'57" O. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018), coletado numa camada de 0,0-0,20 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IF Goiano – Campus Rio Verde (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-químicas do solo, coletado na camada de 0,00–0,20 m de profundidade, utilizado para o preenchimento dos vasos.

Prof. ¹ (m)	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl ₂
	----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----				pH
0,0-0,2	0,77	0,34	1,11	0,04	2,15	0,05	18	9,9	0,47	5,2
Prof. (m)	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	SB	CTC	V% ^c	m% ^d
	----- Micronutrientes (mg dm ⁻³) -----					cmol _c dm ⁻³			Sat. Bases	Sat. Al
0,0-0,2	0,0	75,56	12,96	4,16	3,93	ns	1,16	3,31	35	3,3
Prof. (m)	Textura (g kg ⁻¹)			M.O.	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
	Argila	Silte	Areia	g dm ⁻³	----- Relação entre bases -----					
0,0-0,2	502	49	449	15,2	2,3	15,4	6,8	23,26	10,27	1,51

¹P (Fósforo): Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco): Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio): KCl 1 mol L⁻¹; S (Enxofre): Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹; M.O. (Matéria orgânica): Método colorimétrico; B (Boro): água quente. Capacidade de troca catiônica (CTC); soma de bases (SB); saturação de bases (V%); saturação de alumínio (m%).

5.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2×4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária (MATOS E MATOS, 2017) + 0, 25, 50, 75% de seu volume em água de abastecimento,

totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por quatro vasos com uma planta, totalizando 96 unidades experimentais.

A dose de água residuária aplicada na cobertura do milho via fertirrigação para suprir a demanda de nitrogênio pela cultura foi calculada de acordo com Matos e Matos (2017). Visando a produtividade de 10 t ha⁻¹ (SOUSA; LOBATO, 2004), realizou-se a aplicação de 17,09 L de água residuária de piscicultura planta⁻¹ e 2,08 L de água residuária de suinocultura planta⁻¹, parcelados em dois momentos de fertirrigação, sendo nos estádios fenológicos V4 e V6 do milho.

5.2.3 Caracterização das águas residuárias

A água residuária de suinocultura (ARS) foi proveniente da granja de suínos do IF Goiano – Campus Rio Verde, que continha 32 suínos em fase de terminação. Após a coleta, a ARS foi submetida a tratamento anaeróbio em biodigestor até a estabilização da matéria orgânica. A água residuária de piscicultura (ARP) foi obtida em tanque de piscicultura para produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*), com volume de 1000 litros e densidade de 131 peixes em fase juvenil, com aproximadamente 53 g cada.

Antes de cada fertirrigação foi efetuada a caracterização físico-química e bacteriológica das duas fontes de água residuária conforme as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), cujos valores médios estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas da água residuária de suinocultura e piscicultura utilizada para a fertirrigação do milho.

Parâmetro	Água residuária	
	Suinocultura	Piscicultura
pH	8,10	7,67
Turbidez (NTU)	280,00	3,79
Temperatura (°C)	22,97	22,15
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,01	0,43
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	966,94	587,5
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	3,43	4,60
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	5472,22	175,69
Sólidos fixos (mg L ⁻¹)	3822,92	73,29
Sólidos voláteis (mg L ⁻¹)	1649,30	102,40
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	478,92	91,17
Amônia (mg L ⁻¹)	408,08	30,00
Nitrito (mg L ⁻¹)	<0,01	<0,01

Nitrato (mg L ⁻¹)	41,00	37,00
Nitrogênio kjeldahl (mg L ⁻¹)	437,92	54,17
Nitrogênio orgânico (mg L ⁻¹)	29,12	24,17
Fósforo (mg L ⁻¹)	9,19	5
Potássio (mg L ⁻¹)	147,49	21,0
Cálcio (mg L ⁻¹)	26,65	11,9
Magnésio (mg L ⁻¹)	26,65	11,9

5.2.4 Caracterização do sistema de irrigação

O sistema de irrigação por gotejamento superficial (Figura 1) foi dotado de gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 4,0 L h⁻¹, inseridos em mangueira de polietileno de baixa densidade de 16 mm, com espaçamento de 0,5 m e pressurizados por conjunto motor-bomba de 1/4 cv. Com o auxílio de um registro de gaveta, a pressão de serviço foi mantida em 1,25 bar e monitorada com o uso de um manômetro digital 0-200 psi.



Figura 1. Sucção, bombeamento e recalque (A) e, linha principal e de gotejamento (B) do sistema de irrigação.

5.2.5 Avaliação da uniformidade e grau de entupimento do sistema de irrigação

A coleta e posterior avaliação da uniformidade das vazões do sistema de irrigação foi realizada inicialmente (0 horas) e ao final do ciclo de cultivo do milho (47 horas de funcionamento do sistema). Para tanto, utilizou-se a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975) modificada para este estudo, em que foram coletados os volumes de água de 48 gotejadores, sendo, 6 por linha. O sistema foi pressurizado e em seguida, posicionou-se os recipientes de coleta (capacidade de 0,35 L) sob os respectivos gotejadores com defasagem de 5 segundos, retirada sequencial dos recipientes após 3 min com defasagem de 5 segundos. Os volumes de água emitidos pelos gotejadores foram medidos em provetas, com capacidade de 0,10 L,

posteriormente, estes dados foram tabulados e se obteve a vazão média dos gotejadores conforme a equação 1.

$$q=60 \left(\frac{M}{1000 t} \right) \quad (1)$$

Em que: q: vazão do gotejador (L h⁻¹); M: massa de água coletada (g); t: tempo de coleta (min).

Depois de tabulados os dados de vazão foram efetuados os cálculos de Uniformidade de Christiansen (CUC) (CHRISTIANSEN, 1942) e de Distribuição (CUD) (CRIDDLE et al., 1956), Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH) (HART, 1961), Coeficiente de Uniformidade Absoluto (CUA), Eficiência padrão da HSPA (UDH), vazão relativa (Q_r), coeficiente de variação (CV) e grau de entupimento (GE) destacados nas equações 2 a 10.

$$CUC=100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$CUD=100 \left(\frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

$$CUE=100 \left(1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (4)$$

$$CUH = \left(1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{S}{Q_{m\acute{e}dia}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

$$CUA= 9,37365 + CUD \times 0,88840 \quad (6)$$

$$UDH=100 \left(1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (7)$$

$$Q_r = \left(\frac{Q_{x,y}}{Q_i} \right) \quad (8)$$

$$CV_q=100 \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (9)$$

$$GE = \left(1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}} \right) \times 100 \quad (10)$$

Em que: CUC: coeficiente de uniformidade de Christiansen (%); X_i : vazão de cada gotejador ($L h^{-1}$); \bar{X} : vazão média dos gotejadores ($L h^{-1}$); n: número de gotejadores observados; CUD: coeficiente de uniformidade de distribuição (%); $X_{25\%}$: média de 25% do total de gotejadores, com as menores vazões ($L h^{-1}$); CUE: Coeficiente de uniformidade estatístico (%); S: desvio padrão dos dados de vazão ($L h^{-1}$); CUH: Coeficiente de Uniformidade de Hart (%); $Q_{média}$: média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea ($L h^{-1}$); CUA: Coeficiente de uniformidade absoluto (%); UDH: Eficiência padrão da HSPA (%); Q_r : vazão relativa (%); $Q_{x,y}$: vazão de um emissor x num dia y de irrigação ($L h^{-1}$); Q_i : vazão desse emissor no primeiro dia de irrigação ($L h^{-1}$); CV: coeficiente de variação (%); GE: grau de entupimento (%); q_{usado} : vazão do gotejador usado ($L h^{-1}$); q_{novo} : vazão do gotejador novo ($L h^{-1}$).

5.2.6 Análises Estatísticas

Os dados de desempenho hidráulico do sistema de irrigação foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis diluições (D). Para o fator fontes (F) de água residuária, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No tempo de operação inicial (0 horas) do sistema de irrigação por gotejamento, não houve diferença estatística entre as fontes (F) e diluição (D) de água residuária para os todos os coeficientes avaliados, e demonstra a uniformidade do sistema para os tratamentos empregados.

Para este tempo de funcionamento, obteve-se os valores médios para os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), uniformidade estatístico (CUE), distribuição (CUD), uniformidade absoluto (CUA) e eficiência padrão da HSPA (UDH) iguais a 94,01; 92,52; 92,30; 92,20 e 90,5%, respectivamente. Segundo classificação de desempenho proposta por Merriam e Keller (1978) e Bernardo e Mantovani (2009), o sistema é classificado como excelente (>90%). Os resultados do presente estudo estão em conformidade com o trabalho de fertirrigação com água residuária realizado por

Cunha et al. (2006), que verificaram valores médios do CUC e CUD de 94,77 e 92,42% no tempo de funcionamento de 0 horas.

Para o coeficiente de uniformidade de Hart (CUH), vazão relativa (Qr), coeficiente de variação (CV) e grau de entupimento (GE), no tempo de operação inicial, as médias obtidas foram de 78,57; 8,44; 94,40 e 6,86%, respectivamente. A ASAE (2003) recomenda que o coeficiente de variação dos gotejadores seja de no máximo 10%, e indica boa qualidade dos emissores. Nota-se que a média do GE se manteve abaixo de 8% e segundo Dalri et al. (2014), o GE inferior a 40% sugere que não há grave entupimento dos emissores.

Após 47 horas de operação do sistema de irrigação por gotejamento, verificou-se efeito da interação F x D para os coeficientes CUD, CUA, Qr e GE. Ocorreu efeito significativo dos fatores isolados F e D para os coeficientes CUC, CUE, CUH, UDH e CV.

Nota-se diferença no comportamento do CUD, quando se avalia as diluições em cada fonte de água residuária. Para a fonte água residuária de piscicultura (ARP), o CUD se adequou a equação polinomial de segundo grau, cuja diluição de 57% proporcionou o maior valor de CUD, estimado em 94,82%. Já para a água residuária de suinocultura (ARS), os dados se adequaram a equação polinomial de primeiro grau, e a cada acréscimo de 25% na diluição houve incremento de 2,7% no CUD, sendo que a diluição de 75% proporcionou o maior valor de CUD, estimado em 95,41% (Figura 3A).

Independente das fontes de água residuária aplicadas, verifica-se que os maiores valores do CUD do sistema de irrigação por gotejamento se encontram classificados como excelente (>90%) segundo metodologia proposta por Keller e Karmeli (1974) e Bralts (1986). Semelhantemente a este estudo, Hermes et al. (2015) também observaram que o coeficiente de uniformidade de distribuição do sistema de irrigação para a maioria dos gotejadores abastecidos com água residuária diluída foi classificado como excelente.

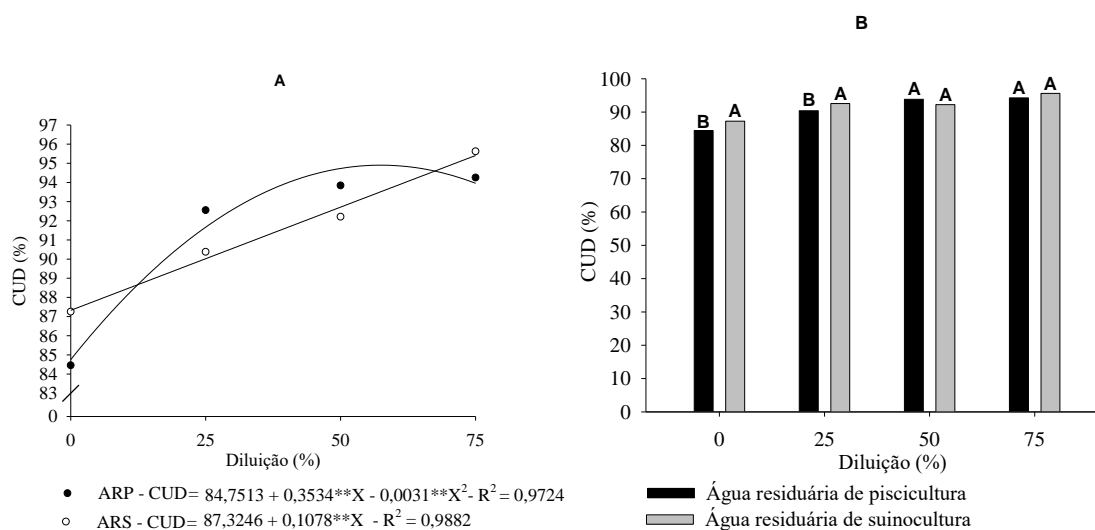


Figura 2. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) do sistema de irrigação por gotejamento, Rio Verde, Goiás.

Ocorreu diferença significativa quando comparada as fontes utilizadas apenas na ausência de diluição e na diluição de 25% (Figura 3B), em que a fonte ARS proporcionou aumento de 2,8% e 2,17%, respectivamente, no valor de CUD. O coeficiente de uniformidade de distribuição da água é um dos principais parâmetros utilizados, pois expressa a qualidade da irrigação, sendo decisivo na operação desses sistemas de irrigação (OLIVEIRA e VILLAS BÔAS, 2008). Os resultados deste estudo para o CUD (>90%) refletem as boas condições de funcionamento e conservação do sistema operando com água residuária de piscicultura e suinocultura.

Observou-se comportamento semelhante no CUA com relação aos modelos de regressão, cuja diluição de 60% estimou o maior CUA, igual a 92,31% quando utilizada a fonte ARP (Figura 4A). Já para a fonte ARS, o aumento da diluição estimou maiores valores de CUA na ordem de 2,96% de acréscimo neste coeficiente a cada 25% no aumento da diluição, sendo o maior valor (96,35%) obtido na diluição de 75%. Marques et al. (2018) relataram que a diluição da água residuária em água não contaminada é uma técnica de baixo custo e de fácil execução para a minimizar o entupimento de gotejadores e, conseqüentemente, aumentar a uniformidade de aplicação de água. Os maiores valores do coeficiente de uniformidade absoluta deste estudo são classificados, de acordo com Bralts (1986), como excelente.

Ocorreu diferença estatística quando comparada as fontes utilizadas apenas na D de 75% (Figura 4B), em que a fonte ARS apresentou o CUA 4,52% superior quando contrastada com a fonte ARP. O CUA deve ser usado dentre os coeficientes como padrão para possíveis comparações e avaliações de desvios de uniformidade, além de servir de referência na tomada de decisão quando na presença de resultados dúbios de interpretação (CUNHA et al., 2013).

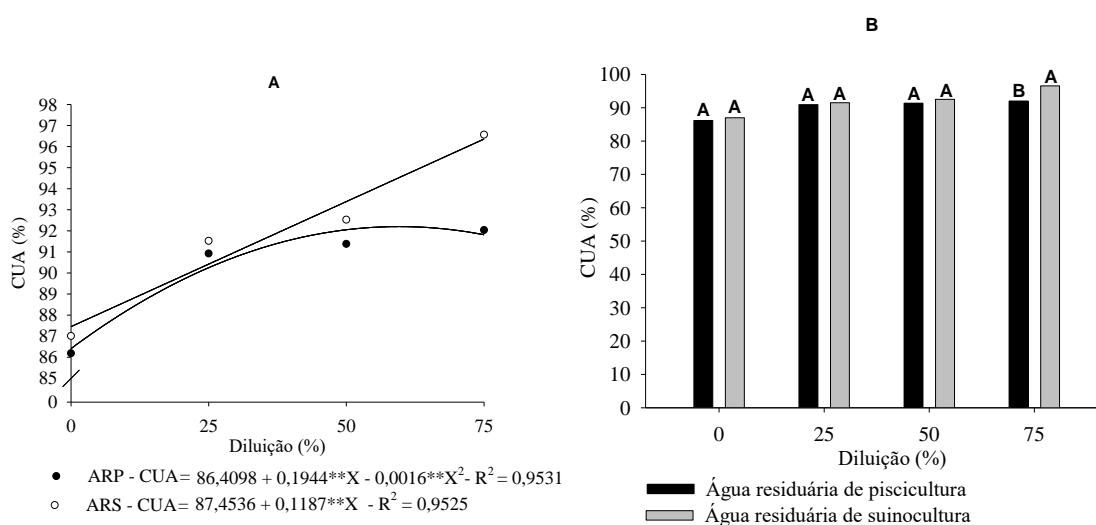


Figura 3. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o coeficiente de uniformidade absoluto (CUA) do sistema de irrigação por gotejamento, Rio Verde, Goiás.

Para a Q_r , a cada aumento de 25% na diluição ocorreu incrementos na ordem de 1,40 e 0,17% para as fontes ARP e ARS, respectivamente, em que a diluição de 75% apresentou valores estimados de 87,63 e 102,28%, respectivamente (Figura 5A). Esse comportamento pode ser resultado da remoção de sólidos do interior dos gotejadores nos maiores volumes de água fornecidos ao sistema, acarretando, assim, na atenuação do entupimento e no aumento da vazão relativa (BATISTA et al., 2014). Leite (1995) e Costa (2000) constataram que as oscilações na vazão relativa correspondem às variações do grau de entupimento, de forma que a desobstrução aleatória dos emissores reflete diretamente no aumento de vazão de gotejadores.

Ocorreu diferença significativa quando comparada as fontes utilizadas nas diluições de 0%, 25%, 50% e 75% (Figura 5B), em que a fonte ARS proporcionou aumento de 8,75; 8,75; 12,25 e 13%, respectivamente, na Q_r dos gotejadores quando

contrastada com a fonte ARP. Batista et al. (2013) verificaram que a água residuária de suinocultura proporciona baixo risco de obstrução de gotejadores.

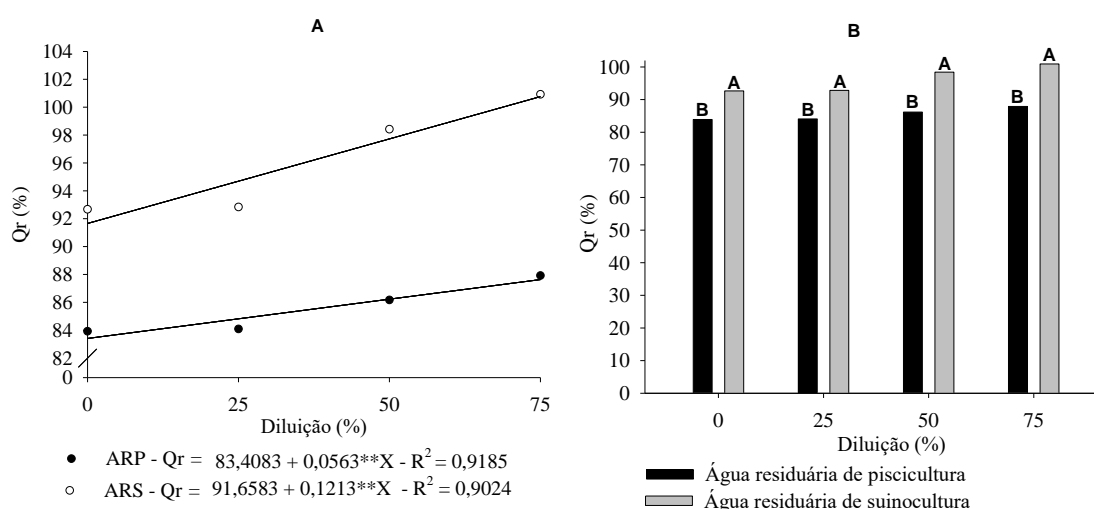


Figura 4. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para a vazão relativa (Q_r) do sistema de irrigação por gotejamento, Rio Verde, Goiás.

No sistema avaliado, o GE se adequou ao modelo de regressão linear decrescente, de forma que a cada aumento de 25% na diluição houve a redução de 1,31 e 2,82% para a ARP e ARS, respectivamente. Já diluição de 75% foi a que promoveu o GE menos acentuado, estimados em 18,48 e 6,26% para a ARP e ARS, respectivamente (Figura 6A). Maiores proporções de água de abastecimento em água residuária podem promover a remoção do biofilme desenvolvido pelas colônias de bactérias e dos sólidos que promovem o entupimento dos emissores (FERNANDES et al., 2014). O entupimento de emissores é o principal problema dos sistemas de irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial, e acarreta a redução do crescimento das plantas e perdas econômicas (ALMEIDA, 2019).

Ocorreu diferença significativa quando comparada as fontes utilizadas nas diluições de 0%, 25%, 50% e 75% (Figura 6B), em que a fonte ARP proporcionou maior GE dos emissores na ordem de 8,14; 8,14; 11,4 e 12,09%, respectivamente, quando contrastada com a fonte ARS. A redução do entupimento em gotejadores abastecidos com água residuária de suinocultura pode ser atribuída para a baixa concentração de oxigênio dissolvido (Tabela 2 - Material e Métodos) neste efluente.

Isto, provavelmente, diminui a produção de subprodutos da atividade microbiana e, conseqüentemente, a formação de biofilme que, segundo Carmo et al., 2016, é o principal obstáculo da irrigação localizada.

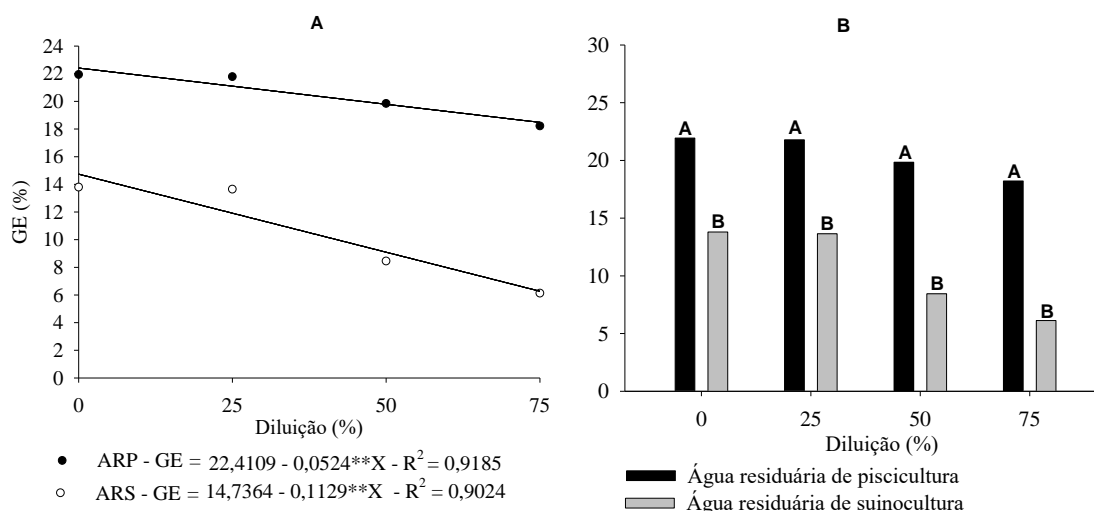


Figura 5. Desdobramento da interação diluição x fontes de água residuária (piscicultura – ARP e suinocultura – ARS) para o grau de entupimento (GE) do sistema de irrigação por gotejamento, Rio Verde, Goiás.

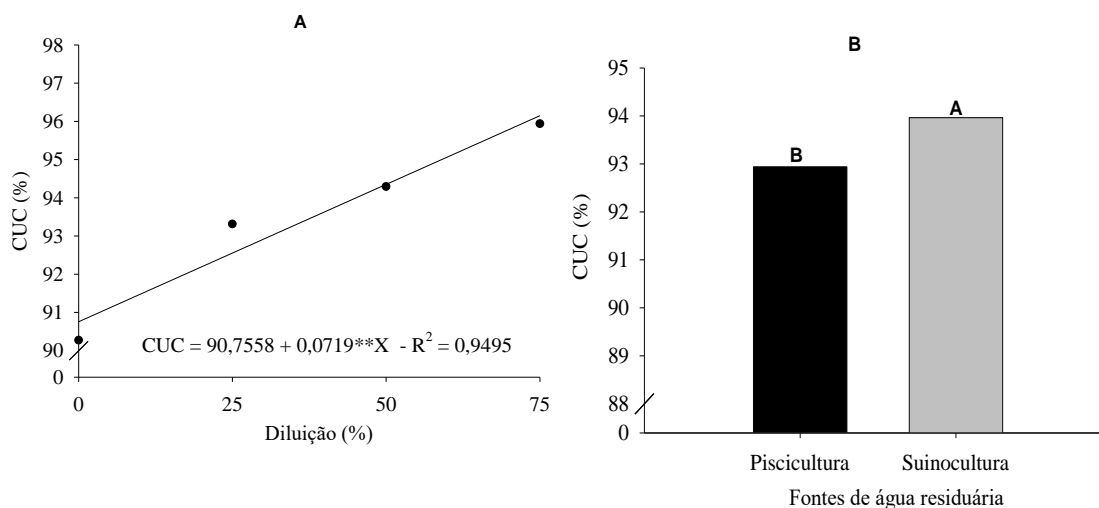
O CUC em função das diluições se adequou ao modelo de equação polinomial de primeiro grau, em que o maior valor deste coeficiente foi obtido na diluição de 75%, igual a 96,14% (Figura 7A). Fernandes et al. (2017), também avaliaram o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento operando com diluições de água residuária e observaram que houve acréscimo linear no CUC conforme o decréscimo da porcentagem de água residuária na lâmina total de irrigação. O aumento do CUC dos gotejadores pode ser decorrente de saída de material gelatinoso de obstrução dos gotejadores (CUNHA et al., 2006). Juchen et al. (2013) ao avaliar um sistema de fertirrigação por gotejamento com a aplicação de águas residuárias, verificaram coeficientes de uniformidade (CUC) entre 89 e 97%.

As fontes de água residuária exerceram influência no CUC, sendo que a ARS (93,96 %) proporcionou CUC dos gotejadores 1,03% superior ao obtido com uso da fonte ARP (92,93%) (Figura 7B). Conforme os valores de CUC deste estudo, o sistema de irrigação por gotejamento apresenta classificação excelente (>90%), considerando-se a proposta de ASAE (1996) e Mantovani (2001) e, corrobora com resultados obtidos

por Sales e Sánchez-Román (2019) ao encontrarem CUC com classificação excelente para gotejadores operando com água residuária.

Para CUE (Figura 7C), a cada acréscimo de 25% na diluição houve incremento de 2,37% no valor deste coeficiente, de modo que a diluição de 75% promoveu o maior CUE estimado em 94,76%, valor classificado de acordo com Mantovani (2001) como excelente. Estes valores corroboram com o encontrado por Nunes (2018), que constatou o CUE do sistema de gotejamento classificado como excelente para a fertirrigação utilizando biofertilizante diluído.

Contrastando as fontes aplicadas, a ARS proporcionou CUE na média de 91,72%, sendo 1,03% superior ao obtido com uso da fonte ARP (90,69%) (Figura 7D). Macan et al. (2017) verificaram que para um tempo de funcionamento próximo das 50 horas, o uso intercalado de efluentes agroindustriais com água de abastecimento conseguiu manter os valores de coeficiente de uniformidade estatística acima de 90%, indicando que o uso do sistema de irrigação por gotejamento, durante esse tempo de condução do experimento, não comprometeu a distribuição de água às plantas. Neste aspecto, Batista et al. (2013) utilizando efluente de suinocultura obtiveram após 40 horas de funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento o CUE de 89,73%.



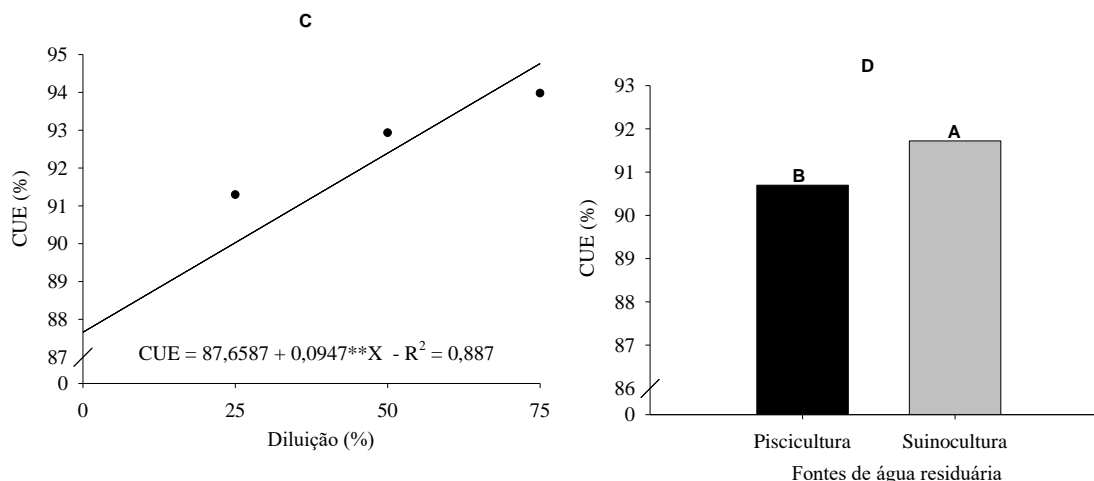


Figura 6. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) em função das diluições (A) e fontes de água residuária (B) e, coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) do sistema de irrigação por gotejamento em função das diluições (C) e fontes de água residuária (D), Rio Verde, Goiás.

Observou-se comportamento semelhante no CUH com relação aos modelos de regressão, cuja diluição de 75% estimou o maior valor (81,33%) deste coeficiente, sendo este 9,36% superior ao obtido na ausência de diluição (71,97%) (Figura 8A). De acordo com classificação de Bralts (1986) o maior valor de CUH obtido neste estudo está classificado como bom (80-90%). Corroborando com os resultados obtidos por Gomes et al. (2017) ao constatarem que o maior CUH no sistema de gotejamento foi de aproximadamente 88%.

Silva et al. (2017) ao aplicarem fertirrigação em sistema de irrigação por gotejamento superficial encontraram CUH na faixa de 86 a 90%. Cunha et al (2009), ao compararem as equações para cálculo de uniformidade de aplicação de água, encontraram valores de CUH inferiores em relação aos outros coeficientes estudados. Os autores apontam a possibilidade dessa redução dos valores estar atribuída às variáveis utilizadas na equação, que leva em consideração poucas características do sistema. Com relação às fontes de água residuária aplicadas no presente estudo, a ARS apresentou valor de CUH dos gotejadores 1,78% superior à fonte ARP (Figura 8B).

Para o UDH (Figura 8C), o aumento de 25% na diluição proporcionou incremento de 3,00% nos valores deste coeficiente, de forma que o maior valor foi obtido na diluição de 75% estimado em 93,34%, valor próximo aos de CUD (94-95%). Segundo Rocha et al. (1999), quando a lâmina aplicada pelos emissores tem uma

distribuição normal, o CUD é igual à UDH. Cunha et al. (2014) destacam que o UDH é interessante para avaliar a uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento, por ser mais restrito e por apresentar ampla variação de vazões (condições adversas).

Comparando-se as fontes de água residuária, a fonte ARS (89,48%) apresentou valor de UDH 1,3% superior à fonte ARP (88,18%) (Figura 8D). As reduções foram ocasionadas, provavelmente, pela presença de sais dissolvidos na ARP, que apresenta valor de condutividade elétrica superior à ARS (Tabela 2 – Material e Métodos), sendo que a maior quantidade de sais acarreta na redução da vazão e na uniformidade de distribuição dos gotejadores (FIGRO et al., 2006).

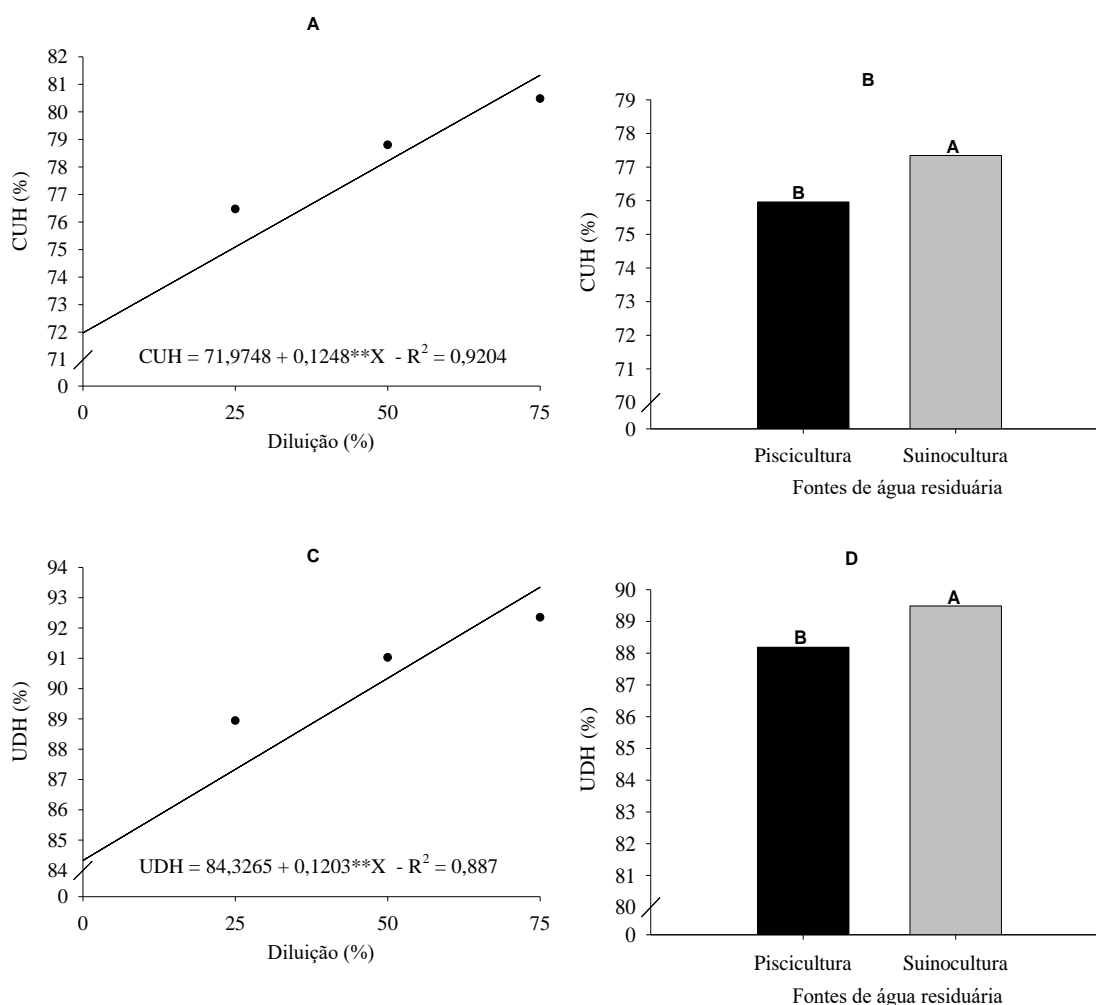


Figura 7. Coeficiente de uniformidade de Hart (CUH) em função das diluições (A) e fontes de água residuária (B) e, eficiência padrão da HSPA (UDH) do sistema de irrigação por gotejamento em função das diluições (C) e fontes de água residuária (D), Rio Verde, Goiás.

Os gotejadores apresentaram CV decrescente a cada aumento de 25% na diluição na ordem de 2,36%, sendo que o menor valor de CV foi encontrado na diluição de 75%, estimado em 5,24% (Figura 9A). Valores de CV inferiores ou próximos a 10% indicam boa qualidade nos emissores do sistema de irrigação (CARARO, 2004). Os valores de coeficiente de variação encontrados no presente estudo foram próximos aos observados por Mulu e Alamirew (2012), em que a variação de vazão foi de no máximo 9%.

As fontes tiveram influência no valor de CV (Figura 9B), cuja fonte ARP (9,30%) apresentou variação 1,03% superior à fonte ARS (8,27%). Os maiores CV podem ter relação com a menor qualidade do efluente aplicado, principalmente com relação a alta presença de sais representada pela condutividade elétrica. Neste estudo, a ARP possui condutividade elétrica superior à ARS (TABELA 1 - Material e Metodos). Frigo et al. (2006) relatam em seus trabalhos que altos valores de condutividade elétrica nas águas residuárias podem ser fator determinante para o entupimento de gotejadores. Nunes (2018) também reforçam essa hipótese ao destacar que quanto maior o valor da condutividade elétrica maior é a obstrução dos emissores.

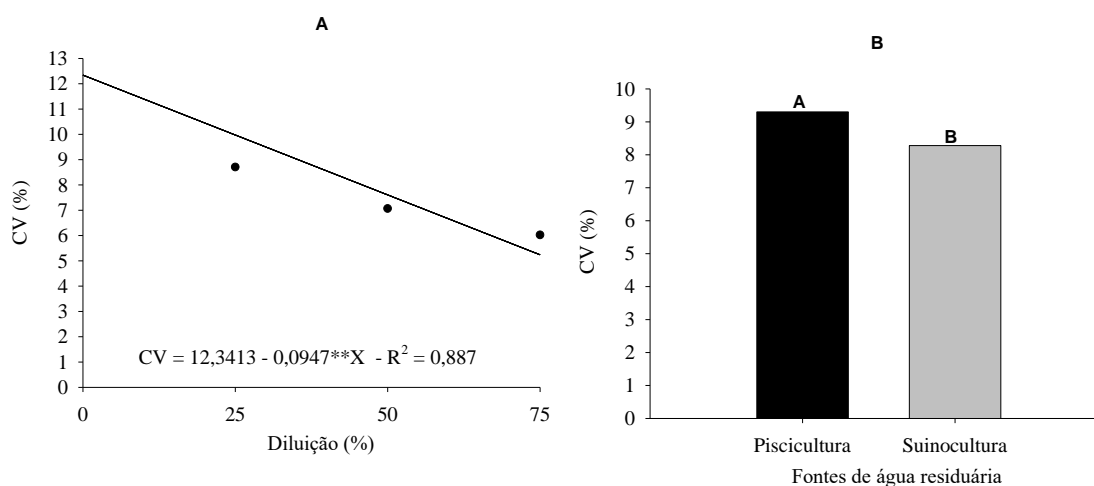


Figura 8. Coeficientes de variação (CV) do sistema de irrigação por gotejamento em função das diluições (A) e fontes de água residuária (B), Rio Verde, Goiás.

A análise conjunta dos coeficientes de uniformidade é essencial para avaliar o desempenho de quaisquer sistemas de irrigação (SANTOS et al., 2013; RODRIGUES et al., 2013). A avaliação do sistema de irrigação evita que haja problemas como

subestimação ou superestimação do valor médio da vazão, da variação (CV) e da uniformidade, garantindo conhecimento mais profundo do sistema, reduzindo desperdícios e gastos (CUNHA et al., 2013; CUNHA et al., 2014).

Os resultados obtidos para todos os coeficientes avaliados, demonstram que a água de abastecimento utilizada para a irrigação durante todo o ciclo de cultivo do milho promoveu a limpeza dos emissores que utilizaram água residuária (MACAN, 2017). Isto demonstra que o uso do sistema de irrigação por gotejamento durante o tempo de condução do experimento, não comprometeu a distribuição de água às plantas.

5.4 CONCLUSÕES

O sistema irrigação por gotejamento no tempo inicial é considerado excelente para todos os parâmetros de uniformidade avaliados.

Independente da fonte de água residuária, as maiores diluições proporcionam maiores coeficientes de uniformidade de Christiansen, uniformidade estatístico, uniformidade de Hart, uniformidade de distribuição, uniformidade absoluto, eficiência padrão de HSPA e vazão relativa.

Independente da fonte de água residuária, as maiores diluições proporcionam menores coeficiente de variação e grau de entupimento.

Com uso de água residuária de suinocultura, o sistema de irrigação por gotejamento apresenta elevado coeficiente de uniformidade de Christiansen, uniformidade estatístico, uniformidade de Hart e eficiência padrão de HSPA, às 47 horas de operação.

O maior coeficiente de variação e grau de entupimento dos gotejadores são obtidos quando utilizada a fonte água residuária de piscicultura.

A uniformidade do sistema de gotejamento operando com água residuária é classificada como excelente de acordo com os coeficientes de uniformidade de distribuição, uniformidade absoluto, uniformidade de Christiansen e uniformidade estatístico. Em relação ao coeficiente de uniformidade de Hart o sistema é classificado como bom.

O uso do sistema de irrigação por gotejamento operando com água residuária de suinocultura e piscicultura, durante 47 horas de funcionamento, não compromete a uniformidade de distribuição de água às plantas.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P. A. S. **Irrigação por sulcos com efluente de fossa séptica biodigestor como fonte de nitrogênio na cultura do milho.** Dissertação (Agronomia: Irrigação e drenagem) – Unesp, Botucatu, 2019.

ALMEIDA, A. M. **Crescimento da grama bermuda discovery™ irrigada por gotejamento subsuperficial, sob tensões de água no solo.** Dissertação (Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo. Botucatu -SP, 2019.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** 21ª ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. ASAE EP 405. Design and installation of microirrigation systems. In: **ASAE Standards**. St. Joseph: ASAE, 2003.

ASAE. **ASAE Standards engineering practices data.** 43.ed. Saint Joseph: ASAE, 864p, 1996.

BÁRBARO, I.M; BRANCALIÃO, S.R.; TICELLI, M. **É possível a fixação biológica de nitrogênio no milho?**. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/fixacao/index.htm>. Acesso em: 26/11/2019.

BARBOSA, J. P. F.; FARIAS, L. R. A.; SILVA, P.; LIMA, L. L. C.; BRITO, D. R.; BRITO, D. B. Ocorrência de *Helicoverpa zea* (*Lepidoptera: Noctuidae*) em híbridos de milho (*Zea mays* L.) submetidos a diferentes níveis de irrigação. **Diversitas Journal**, v. 4, n.1, p. 24-30, 2019.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, A. D. F. M.; OLIVEIRA Mesquita, F. Desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária da suinocultura. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 75-88, 2014.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. D.; OLIVEIRA, A. D. F.; AZEVEDO, C. A.; MEDEIROS, S. D. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 698-705, 2013.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B.; MESQUITA, F. O.; SILVA, K, B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura. **Water Resources and Irrigation Management**, v.2, n.1, p.19-25, 2013.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. **Manual de irrigação**, edição: 8ª. Editora: UFV, 2ª reimpressão. Viçosa, MG, 625p, 2009.

BEZERRA, I. R. S.; BARBOSA, J. P. F.; SANTOS, R. L. V.; LEITE, R. A.; BRITO, D. R.; BRITO, D. B. Efeito de diferentes lâminas de irrigação por gotejamento nos danos de *Spodoptera frugiperda* (*Lepidoptera: Noctuidae*) em híbridos de milho (*Zea mays* L.). **Revista Ambientale**, v. 11, n. 2, 2019.

BRALTS, V.F. **Field performance and evaluation**. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. (Ed.) Trickle irrigation for crop production. Amsterdam: Elsevier, p.216-240, 1986.

CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. Tese (Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARMO, F. F.; DUTRA, I.; BATISTA, A. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, M. G. Dimensionamento hidráulico e avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixo custo. **Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 4, p. 302-313, 2016.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124 p. Bulletin, 670.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. MENDES, S. M. **Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos**. In: EMBRAPA – Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2), 2019.

COSTA, C.C. da. **Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000.

CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKLEY, D. G. Methods for Evaluating Irrigation Systems. Washington DC: Soil Conservation Service – USDA, 1956. 24 p. **Agricultural Handbook**, 82.

CUNHA, F. F. MATOS, A. T.; BATISTA, R. O. MONACO, P. A. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, 2006.

CUNHA, F. F.; RAMOS, M. M.; VICENTE, M. R.; BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; ALENCAR, C. A. B.; SILVA, R. C. G. Comparação de equações para cálculo da uniformidade de aplicação de água para diferentes sistemas de irrigação. **Revista Engenharia Na Agricultura-Reveng**, v. 17, n. 5, p. 404-417, 2009.

CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 7, n. 4, p. 248-257, 2013.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 8, n. 6, p. 444-454, 2014.

DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; CRUZ, F. L.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de emissores enterrados sob a cultura da cana-de-açúcar

após três anos de cultivo em condições fertirrigadas. **Irriga**, Botucatu-SP, Edição especial 1, p.62-71, 2014.

DELLABIGLIA, W. J. **Disponibilidade hídrica e utilização do nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. Dissertação (Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

DOSORETZ, C.; TARCHITZKY, J.; KATZ, I.; KENIG, E.; CHEN, Y. Development and effects of a fouling layer in distribution and irrigation systems applying treated wastewater effluents. In: LEVY, G.; FINE, P.; BAR-TAL, A. (Ed.). **Use of treated sewage water in agriculture: impacts on crops and soil environment**. Oxford: BlackwellPublishing, 2011.

FERNANDES, F. G. B. C.; BATISTA, R. O.; FERREIRA, D. J. L.; SILVA, S. L.; PEREIRA, J. O.; CUNHA, J. L. O. Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento operando com diluições de água residuária doméstica tratada. **Revista Espacios**. v.38, n.43, p.10-22, 2017.

FERNANDES, R. K. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, S. K. C.; OLIVEIRA, J. F.; PAIVA, L. A. L. Vazão de gotejadores aplicando água residuária da castanha de caju. **Irriga**. v. 19, n. 4, p. 585- 597, 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FISCHER FILHO, J. A. **Resposta de cultivares de cana-de-açúcar a lâminas de irrigação via gotejamento subsuperficial**. Tese (Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

FREITAS, R. H. **Uso da cama de frango aplicada na forma parcelada em adubação de cobertura no cultivo do milho verde irrigado por gotejamento**. Instituto Federal Goiano – *Campus* Urutaí, 2019.

FRIGO, E. P.; SAMPAIO, S. C.; FREITAS, P. L.; NÓBREGA, L. H.; SANTOS, R. F.; MALLMANN, L. S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, v. 11, n. 3, p. 305-318, 2006.

FRIZZONE, J.A.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R.; FARIA, M.A. **Microirrigação: Gotejamento e Microaspersão**. Maringá, PR: Eduem, 356 p. 2012.

GOMES, L. F.; RODRIGUES, C. R.; CUNHA, F. N.; MORAIS, W. A.; ALVES, D. K. M.; MANSO, R. T. Eficiência e desempenho de gotejadores aplicando macro e micronutrientes. IV **INOVAGRI International Meeting**, 2017.

GOMES, L. M. **Tratamento de efluente da piscicultura utilizando os processos fenton e eletroquímico: eficiência e toxicidade**. Tese (Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

HART, W. E. **Overhead irrigation pattern parameters**. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, 1961, 42, 7, 354-355.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; RODRIGUES, L. N.; MELO, E. L.; GONÇALVES, M. P.; LINS, M. A.; BERGER, J. S. Process capacity index in drip irrigation with cassava wastewater processing. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 1427-1433, 2015.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **BDMEP: Dados históricos**. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 27 de novembro de 2019.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; VILAS BOAS, M. A. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuária agroindustriais. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 243 - 256, 2013.

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 Sprinkler Manufacturing, 1975. 133p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LEITE, J. A. O. **Avaliação da susceptibilidade de tubo gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1995.

LOPES, M. C. S.; SILVA, K. B.; SILVA, K. M. P.; BATISTA, R. O. Formação de biofilme em gotejadores que operam com águas residuárias. **TERRA – Saúde Ambiental e Soberania Alimentar**, v.2, 1481p., 2015.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. Madrid: Mundi – Prensa, 1992.

MACAN, N. P. F.; GOMES, T. M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G. Desempenho da irrigação por gotejamento com o uso de efluente de laticínio tratado por processo biológico; **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 575-590, 2017.

MANTOVANI, E. C. **Avalia**. Manual do usuário. Viçosa, DEA/UFV–PNP&D/café EMBRAPA, 100p, 2002.

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

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 2. ed., atual e ampliado. Viçosa, MG: UFV, p. 355, 2009.

MARQUES, B. C. D.; BATISTA, R. O.; SANTIAGO, R. C.; PORTELA, J. C.; CUNHA, M. E.; CUNHA, R. R. Uniformidade da distribuição de efluente em unidades gotejadoras aplicando diluições da água residuária de laticínios. **Revista Irriga**. v. 23, n. 3, p.592-608, 2018.

MATOS, A.T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. v.1. 371p.

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

MULU, A.; ALAMIREW, T. Evaluating coefficient of uniformity for center pivot sprinkler irrigation. **Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences**, v. 1, n. 1, p.17-21, 2012.

NUNES, T. Z. **Controle de qualidade de irrigação e fertirrigação por gotejamento em horta urbana**. Dissertação (Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, 2018.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BÔAS R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n.1, p.95-103, 2008.

OLIVEIRA, Z. B. Rendimento de grãos de milho irrigado por gotejamento subterrâneo e estimativa da irrigação com dados da previsão do tempo. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 1, p. 40-51, 2018.

ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T. Uniformidade de distribuição água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p. 154-160, 1999.

RODRIGUES, R. R.; COLA, M. P. A.; NAZÁRIO, A. A.; AZEVEDO, J. M. G. DE; REIS, E. F. DOS. Eficiência e uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Ambiência Guarapuava (PR)**, v. 9, n. 2, p.323-334, 2013.

SALES, M. A. L., SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento sob diferentes concentrações de água residuária tratada por radiação solar. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 13, n. 4, p. 301-311, 2019.

SANTOS, C. S. DOS.; SANTOS, D. P. DOS; SILVA, P. F. DA.; ALVES, E. DA S.; SANTOS, M. A. L. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Verde**, v. 8, n. 3, 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE P. K. T; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5 ed. ver. amp., 2018.

SCHERER, E. E. Calagem e adubação da cultura do milho. In: FILHO, J. A. W.; ELIAS, H. T. **A cultura do milho em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, Cap. 4, p. 163-206, 2010.

SILVA, E. M. P.; JÚNIOR, A. S. A.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade de colmos e eficiência do uso da água em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 162-176, 2019.

SILVA, I. O. F.; SANTOS, L. N. S.; CUNHA, F. N.; MORAES, G. S.; CUNHA, E. S.; CABRAL FILHO, F. R. Eficiência de aplicação dos emissores usando fontes de nitrogênio para fertirrigação. **IV INOVAGRI International Meeting**, 2017.

SILVA, K.; SILVE JÚNIOR, B.; BATISTA, M.J.; OLIVEIRA, R.; SANTOS, D. B., BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa – MG, v. 60, n. 3. P. 339-346, 2013.

SILVA, M. L. G. **Uso do sólido de suínos de forma parcelada como fonte de nitrogênio (N) em adubação de cobertura no cultivo do milho verde irrigado por gotejamento**. Instituto Federal Goiano – *Campus* Urutaí, Urutaí, 2019.

SILVA, P. C. **Características agrônômicas e tecnológicas de variedades de sorgo sacarino e propriedades do solo em função de lâminas de irrigação por gotejamento**. Tese (Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

SILVA, S.; DANTAS NETO, J.; TEODORO, I. SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, M. A. L. Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.9, p.849–856, 2015.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUSA, P. G. R.; VIANA, T. V. A; CARVALHO, C. M.; SOUSA, A. M.; COSTA, C. P. M.; AZEVEDO, B. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, nº.4, p. 1528 - 1537, 2017.

VAZ, N. C. A. **Uso da ureia de forma parcelada como fonte de nitrogênio (N) em adubação de cobertura no cultivo do milho verde irrigado por gotejamento**. Instituto Federal Goiano – *Campus* Urutaí, 2019.