



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA NO
CULTIVO DE *CYNODON* SPP. CV. TIFTON 85**

ANA CLÁUDIA OLIVEIRA SÉRVULO

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
MARÇO DE 2024



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA NO
CULTIVO DE *CYNODON* SPP. CV. TIFTON 85**

ANA CLÁUDIA OLIVEIRA SÉRVULO

**ORIENTADOR: PROF. DR. DELVIO SANDRI
CO-ORIENTADORA: PROF^a DR^a. MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS**

**TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA
PUBLICAÇÃO: 001/2024**

**BRASÍLIA/DF
MARÇO DE 2024**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA NO
CULTIVO DE *CYNODON* SPP. CV. TIFTON 85**

ANA CLÁUDIA OLIVEIRA SÉRVULO

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO
DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA**

APROVADA POR:

DELVIO SANDRI (Orientador), Dr. FAV/Universidade de Brasília

CÍCERO CÉLIO FIGUEIREDO, Prof. Dr. FAV/Universidade de Brasília

MICHAEL SILVEIRA THEBALDI, Prof. Dr. Universidade Federal de Lavras

SÉRGIO OLIVEIRA PINTO DE QUEIROZ, Prof. Dr. Universidade Estadual da Bahia

BRASÍLIA/DF, 21 DE MARÇO DE 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Sérvulo, Ana Cláudia Oliveira

Reúso de água residuária da bovinocultura no cultivo de *Cynodon* spp. cv. Tifton 85. / Ana Cláudia Oliveira Sérvulo; Orientação de Delvio Sandri. – Brasília, 2024.

200 p.: il.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2024.

1. Fertilidade do solo. 2. Pastagem. 3. Bromatologia. 4. Lixiviação de nutrientes. 5. Contaminação da forragem. I. Sandri, D. II. Título.

CDD ou CDU

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SÉRVULO, A. C. O. **Reúso de água residuária da bovinocultura no cultivo de *Cynodon* spp. cv. Tifton 85.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2024, 188 p., Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Ana Cláudia Oliveira Sérvulo

TÍTULO DA TESE: Reúso de água residuária da bovinocultura no cultivo de *Cynodon* spp. cv. Tifton 85

GRAU: Doutorado ANO: 2024

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Ana Cláudia Oliveira Sérvulo

CPF:732.841.571-15

Endereço. QE30 Conjunto B, Guará II – Brasília/DF

Tel.:

Email: anaclaudioservulo@hotmail.com

Dedico este trabalho aos meus pais Francisco e Isa Maria, e à minha avó Celina, cujos esforços somados para minha criação e formação me trouxeram até aqui.

Dedico também à Ciência!

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Delvio Sandri pela participação ativa neste projeto, pela colaboração desde a concepção até a execução, pelas orientações técnicas e, principalmente, pela humanidade no convívio durante esta jornada.

Aos meus pais Franciso e Isa Maria, por terem me dado à vida, suporte financeiro, cuidado, ensinamentos, críticas, e a felicidade do convívio familiar que foram fundamentais para o enfrentamento deste desafio.

À minha querida avó Celina e ao meu companheiro Wélliton, por todo cuidado e dedicação empregada para manter o meu bem-estar, minha motivação e foco.

Ao Grupo Kiwi Pecuária e ao Sr. Mário Zinato, proprietário da Fazenda Toca da Raposa, pela gentil disponibilização de recursos financeiros, áreas experimentais e insumos, para a realização deste trabalho.

Aos professores do PPGA-UnB, aqui representados pela minha co-orientadora Prof^a titular Maria Lucrecia Gerosa Ramos e pelo Prof^o Dr. Cícero Célio de Figueiredo, pela imensa colaboração na execução da tese e pelas orientações.

Ao Técnico de laboratório Manuel Oliveira, em nome de todos os técnicos da FAV, pela disponibilidade em ajudar sempre que foi preciso, pela simpatia e pelo bom humor.

Aos colegas do PPGA-UnB, Jóisman, Rodrigo, Alyson e Jesus Manuel, pela amizade e companheirismo.

Aos colaboradores da graduação, da UnB e da Universidade Estadual de Goiás, Humberto, Letícia, Kelly, Danilo, Gabriel e João Paulo.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da UnB, pela oportunidade de cursar o doutorado e pelo apoio institucional.

E para todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização da tese, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
ANEXOS.....	XII
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	XIII
RESUMO GERAL	XVII
GENERAL ABSTRACT.....	XVIII
1. INTRODUÇÃO GERAL	19
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
3. OBJETIVOS E HIPÓTESES	27
3.1. OBJETIVO GERAL.....	27
3.2. CAPÍTULO I – OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESES.....	27
3.2.1. Objetivos específicos.....	27
3.2.2. Hipóteses.....	27
3.3. CAPÍTULO II – OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESES	28
3.3.1. Objetivos específicos.....	28
3.3.2. Hipóteses.....	28
CAPÍTULO I. REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA: INDICADORES DE FERTILIDADE DO SOLO, E INDICADORES MORFOLÓGICOS E BROMATOLÓGICOS DE <i>CYNODON</i> SPP. CV. TIFTON 85	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT	31
1. INTRODUÇÃO.....	33
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37

2.1.	ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA PRODUZIDA NA CASA DE ORDENHA.....	37
2.2.	TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA ...	39
2.3.	IMPACTOS DO REÚSO NA QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO	40
2.3.1.	Considerações gerais.....	40
2.3.2.	Física do solo.....	41
2.3.3.	Sódio.....	43
2.3.4.	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	45
2.3.5.	Acúmulo e lixiviação de nutrientes.....	46
2.3.6.	Matéria orgânica do solo.....	49
2.4.	CAPIM BERMUDA TIFTON 85.....	51
2.4.1.	Caracterização do Tifton 85.....	51
2.4.2.	Produtividade e qualidade bromatológica da forrageira.....	52
2.4.3.	Sazonalidade da produção e resposta à irrigação.....	54
2.5.	TIFTON 85 SOB ADUBAÇÃO CONVENCIONAL E REÚSO.....	55
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3.1.	LOCAL DO EXPERIMENTO.....	59
3.2.	HISTÓRICO DE MANEJO DOS ANIMAIS E DA PASTAGEM.....	61
3.3.	ORIGEM DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA (ARB) E ÁGUA DE CÓRREGO (AC) APLICADAS NA PASTAGEM.....	62
3.4.	CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO.....	64
3.5.	SISTEMA HIDRÁULICO PARA APLICAÇÃO DA ARB E AC NA PASTAGEM	68
3.6.	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	69
3.6.1.	Curva de retenção de água do solo.....	69
3.6.2.	Densidade do solo e porosidade total em profundidade.....	73

3.7.	TEOR INICIAL DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E ACIDEZ ATIVA	
		74
3.8.	ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ARB E AC	
		74
3.9.	VARIÁVEIS ANALISADAS	76
3.9.1.	Atributos do Tifton 85.....	76
3.9.2.	Atributos químicos do solo.....	79
3.10.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	80
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
4.1.	INDICADORES DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE BROMATOLÓGICA DO TIFTON 85	81
4.2.	INDICADORES DE FERTILIDADE DO SOLO NA CAMADA ARÁVEL (0-0,20 M)	92
4.2.1.	pH, CTC e saturação por bases.....	92
4.2.2.	Macronutrientes secundários e matéria orgânica	94
4.2.3.	Micronutrientes	97
4.3.	CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT).....	100
4.4.	NITROGÊNIO TOTAL, RELAÇÃO C/N, FÓSFORO DISPONÍVEL, POTÁSSIO TROCÁVEL, SÓDIO TROCÁVEL	103
4.4.1.	Nitrogênio total (NT)	103
4.4.2.	Relação C/N.....	105
4.4.3.	Fósforo disponível.....	106
4.4.4.	Potássio trocável	108
4.4.5.	Sódio trocável.....	110
4.5.	ESTOQUES DE C, N, P E K NO SOLO	115
4.6.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	120
5.	CONCLUSÕES.....	123

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
CAPÍTULO II - REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA: SOBREVIVÊNCIA DE COLIFORMES TOTAIS E <i>ESCHERICHIA COLI</i> NA PARTE AÉREA DE <i>CYNODON</i> SPP. CV. TIFTON 85	133
RESUMO	133
ABSTRACT.....	134
1. INTRODUÇÃO	135
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	139
2.1. RELEVÂNCIA DA CONTAMINAÇÃO DE PASTAGEM POR MICRORGANISMOS FECAIS PROVENIENTES DO REÚSO.....	139
2.2. ESTRATÉGIAS SANITÁRIAS GERAIS ADOTADAS PARA O REÚSO 140	
2.3. CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AO DESENVOLVIMENTO DE MICRORGANISMOS FECAIS EM PASTAGENS	142
2.4. ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO REÚSO EM PASTAGENS	144
2.5. MODELOS DE DECAIMENTO DE MICRORGANISMOS EM AMBIENTES	147
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	151
3.1. LOCAL EXPERIMENTO	151
3.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO	152
3.3. ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA E ÁGUA DE POÇO UTILIZADAS PARA AS APLICAÇÕES.....	154
3.4. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	157
3.5. VARIÁVEIS AVALIADAS.....	158
3.5.1. Microrganismos na forragem	158

3.5.2. Produtividade.....	159
3.6. DECAIMENTO DE MICRORGANISMOS.....	160
3.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	160
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	163
4.1. CONTAGEM DE COLIFORMES TOTAIS E DE <i>E. COLI</i> NO TIFTON 85 163	
4.2. AJUSTE DO MODELO DE DECAIMENTO POPULACIONAL.....	169
4.3. RECOMENDAÇÃO DE PRAZO ENTRE A ÚLTIMA IRRIGAÇÃO COM REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA E O ACESSO DOS ANIMAIS NO PASTO.....	173
5. CONCLUSÕES.....	177
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179
ANEXOS.....	183

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela I. 2.1. Características físico-químicas da água residuária de bovinocultura (ARB) gerada em casa de ordenha.....	38
Tabela I. 2.2. Caracterização física e bromatológica, em percentagem, do capim Bermuda Tifton 85 sob diferentes tipos de manejo.....	52
Tabela I. 3.1. Características físico-químicas do solo da área no início do experimento em diferentes profundidades.....	60
Tabela I. 3.2. Histórico de aplicação de produtos químicos ao solo da área experimental na Fazenda Capoeira.	62
Tabela I. 3.3. Descrição dos tratamentos contemplando tipo de água de irrigação e adubação mineral nitrogenada.	66
Tabela I. 3.4. Quantidade da ARB, Ac e ARB+Ac aplicadas por aspersão convencional no capim Tifton 85.	67
Tabela I. 3.5. Água disponível no solo (AD) obtida indiretamente pela média da tensão de água no solo nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m e água disponível após a aplicação de ARB, Ac ou Ac+ARB ao longo do experimento.	72
Tabela I. 3.6. Propriedades físicas do solo no início do experimento*.	73
Tabela I. 3.7. Atributos físicos, químicos e microbiológicos e métodos de análise de água. ..	75

Tabela I. 3.8. Média das variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade de água* .	75
Tabela I. 3.9. Carga média total de nutrientes aplicada (kg ha^{-1}) a partir dos diferentes níveis de aplicação de água residuária de bovinocultura.	76
Tabela I. 4.1. Indicadores de produtividade e qualidade bromatológica da forragem de Tifton 85 submetida a aplicações de água residuária da bovinocultura, água do córrego e adubação nitrogenada.	82
Tabela I. 4.2. Correlação linear entre os indicadores de produtividade e qualidade bromatológica do Tifton 85.	88
Tabela I. 4.3. Indicadores de fertilidade do Latossolo Vermelho-Amarelo na camada de 0-0,20 m antes e depois do cultivo de Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno no Cerrado.	92
Tabela I. 4.4. Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Matéria orgânica do solo (MOS) na camada de 0-0,20 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo antes e depois do cultivo de Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e/ou água de córrego durante o inverno no Cerrado.	95
Tabela I. 4.5. Teores de Fe^{3+} , Zn e Mn na camada de 0-0,20 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo antes e depois do cultivo de Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego e adubação nitrogenada durante o inverno no Cerrado.	98
Tabela I. 4.6. Carbono orgânico total (g kg^{-1}) de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e/ou água de córrego durante o inverno no Cerrado para as camadas de solo de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.	100
Tabela I. 4.7. Nitrogênio total (g kg^{-1}) do Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno, no Cerrado, nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.	104
Tabela I. 4.8. Teor de fósforo (P) (mg kg^{-1}) do Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura (ARB) e água de córrego (Ac) durante o inverno, no Cerrado, nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.	107
Tabela I. 4.9. Teor de potássio extraível (mg dm^{-3}) do Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno, no Cerrado, nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.	108
Tabela I. 4.10. Teor de sódio trocável (mg dm^{-3}) nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m e percentual de sódio trocável ($\text{PST}_{0-0,20}$, %) da camada de 0-0,10 m em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e/ou água de córrego e adubação nitrogenada durante o inverno no Cerrado.	111
Tabela I. 4.11. Matriz de correlação de Pearson dos estoques de C, N, P _{disp} e K _{troc} , na profundidade 0-0,40 m, em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e/ou água de córrego e adubação nitrogenada durante o inverno no Cerrado.	115
Tabela I. 4.12. Estoques de carbono, nitrogênio, fósforo e potássio da camada de solo de 0-0,40 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno, no Bioma Cerrado.	116

CAPÍTULO II

Tabela II. 3.1 Valores dos atributos químicos do Latossolo Vermelho-amarelo eutrófico na camada de 0-0,20 m utilizado para o cultivo de Tifton 85 em vasos.	151
Tabela II. 3.2. Tratamentos em função do tipo de água de irrigação (água residuária da bovinocultura (ARB) e água de poço (AP).	153
Tabela II. 3.3. Atributos analisados na ARB e Ap, símbolo, unidade e métodos de análise.	156
Tabela II. 3.4. Características químicas e microbiológicas médias da água de poço (Ap) e da água residuária de bovinocultura (ARB) utilizadas na irrigação do capim Tifton 85.	157
Tabela II. 4.1. Produção de fitomassa do Tifton 85 cultivado em vasos e irrigado com diferentes tipos de água.	163
Tabela II. 4.2. Coliformes totais (NMP g ⁻¹) no Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de poço ao 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias após a última irrigação.	164
Tabela II. 4.3. Taxa de decaimento de coliformes totais (NMP g ⁻¹ dia ⁻¹) no Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de poço ao 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias após a última irrigação.	165
Tabela II. 4.4. Densidade de <i>Escherichia coli</i> (NMP g ⁻¹) no Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de poço ao 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias após a última irrigação.	167
Tabela II. 4.5. Taxa de decaimento de <i>Escherichia coli</i> (Log ₁₀ NMP g ⁻¹ d ⁻¹) no Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de poço ao 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias após a última irrigação.	168
Tabela II. 4.6. Parâmetros para a regressão linear, em escala de Log ₁₀ N _i /N ₀ , e modelo de decaimento populacional dos Coliformes totais e da <i>Escherichia coli</i> , em NMP g ⁻¹ , no Tifton 85 irrigado com reúso de água residuária de bovinocultura.	170

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura I. 3.1. Localização da Fazenda Capoeira. Ortofotomapa WMS do Google Satellite.	59
Figura I. 3.2. Temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin) e evapotranspiração de referência acumulada (ET _o) do experimento no período de 29 de maio e 16 de setembro de 2020 (Fazenda Capoeira, Gameleira de Goiás/GO).	61
Figura I. 3.3. Visualização da casa de ordenha, sistema de tratamento da ARB, reservatórios de ARB e Ac, local do experimento e sistema de hidráulico de condução da ARB e Ac.	64
Figura I. 3.4. Disposição dos tratamentos e do sistema hidráulico para a irrigação na área experimental.	66
Figura I. 4.1. Análise de Cluster Aglomerativa Hierárquica (CAH), para o número de classes igual a 2, de acordo com os tratamentos e as variáveis respostas do Tifton 85 (MM, FDN, FDA, PMS, NNI, PB, H, IAF).	89
Figura I. 4.2. Análise de componentes principais (ACP) de acordo com os tratamentos aplicados (I-0, I-45, II-0, II-45, III-0, III-45) e as variáveis respostas do Tifton 85 (MM, FDN, FDA, PMS, NNI, PB, H, IAF).	90

Figura I. 4.3. Componentes principais para as variáveis-chave de estoques de C, N, P e K na camada de solo de 0-0,40 m em solo cultivado com Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno, no Bioma Cerrado. 118

CAPÍTULO II

Figura II. 3.1. Condições meteorológicas diárias registradas entre 27 de agosto a 8 de setembro de 2021: (a) temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa do ar (URA); e (b) radiação solar global (Rs global) acumulada e velocidade do vento medida a 2 m de altura (U2), nos dias após a irrigação (DAI) da determinação da quantidade de coliforme total e *E. coli*. 152

Figura II. 3.2. Esquema com a disposição dos vasos e aspersores dentro da área irrigada ... 153

Figura II. 3.3. Croqui com a disposição dos tratamentos utilizando água do poço e água residuária de bovinocultura. 157

Figura II. 4.1. Regressão linear do decaimento dos Coliformes totais (a) e da *Escherichia coli* (b), em escala $\text{Log}_{10} (N_i/N_0)$, para *i* dias após a irrigação com água residuária de bovinocultura (ARB), com lâmina de 75% da ETp (ARB75), ou combinada com água de poço (ARB+AP). 170

ANEXOS

CAPÍTULO I

ANEXO I.1 – Relatório fotográfico do experimento realizado para aplicação de água residuária de bovinocultura e água de córrego (Ac) em pastagem Tifton 85 (Fazenda Capoeira, em Gameleira de Goiás/GO).

ANEXO I.2 – Análises físico-química e bacteriológica da água residuária de bovinocultura (ARB) e da água de córrego (Ac) utilizadas no experimento realizado para aplicação de água residuária de bovinocultura e água de córrego (Ac) em pastagem Tifton 85 (Fazenda Capoeira, em Gameleira de Goiás/GO).

CAPÍTULO II

ANEXO II.1 – Relatório fotográfico do experimento realizado para aplicação de água residuária de bovinocultura e água de poço artesiano (AP) em pastagem Tifton 85 cultivado em vasos (Fazenda Toca da Raposa, em Planaltina/DF).

ANEXO II.2 – Variáveis meteorológicas da área experimental do experimento de aplicação de água residuária de bovinocultura e água de poço artesiano (Ap) em pastagem Tifton 85 cultivado em vasos (Fazenda Toca da Raposa, em Planaltina/DF).

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade
θ_r	Umidade residual	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
θ_s	Umidade de saturação	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
Ψ_m	Potencial matricial do solo	kPa
Ac	Água de córrego	-
Aca	Área de coleta da amostra	m^2
ADF	Acid detergent fiber	%MS
AFesp	Área foliar específica	%MS
Ap	Água de poço	-
APHA	American Public Health Association	-
ARB	Água residuária da bovinocultura	-
ARS	Água residuária da suinocultura	-
A_{Total}	Alcalinidade total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$
C	Carbono	-
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio	adimensional
Ca	Cálcio	-
CaCO_3	Carbonato de cálcio	-
CAD	Capacidade de água disponível do solo	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$
CE	Condutividade elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$
CH_4	Metano	-
Cl^-	Cloro	-
CO_2	Dióxido de carbono	-
COT	Teor de carbono orgânico total no solo	g kg^{-1}
CP	Crude protein	%MS
CT	Coliformes totais	NMP 100 mL^{-1} ou NMP 100 g^{-1}
CTC	Capacidade de troca catiônica	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Cu	Cobre	-
CUC	Coefficiente de uniformidade de Christiansen	%
CV	Coefficiente de variação	%
DAI	Dias após a irrigação/Days after irrigation	-
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio	$\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$
DF	Distrito Federal	-
digIV	Digestibilidade in vitro	%MS
DN	Diâmetro nominal	mm
dp	Densidade de partículas do solo	g cm^{-3}
DQO	Demanda química de oxigênio	$\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$
ds	Densidade do solo	g cm^{-3}
e	Base do logaritmo natural/neperiano	2,71828
e	Espessura da camada do solo	m
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>	NMP 100 mL^{-1} ou NMP 100 g^{-1}

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade
EED	Efluente de esgoto doméstico	-
est. T	Estatística T	-
ET ₀	Evapotranspiração de referência	mm
ETARB	Estação de tratamento da água residuária da bovinocultura	-
ET _p	Evapotranspiração potencial da cultura	mm
F/(C+P)	Relação Folha/Colmo+Panícula	adimensional
F/C	Relação Folha/Colmo	adimensional
FDA	Fibras insolúveis em detergente ácido	%MS
FDN	Fibras insolúveis em detergente neutro	%MS
Fe	Ferro	-
fR	Fator de retardamento	adimensional
GO	Estado de Goiás	-
H	Altura da planta	m
H ⁺	Íon hidrogênio	-
H ₂ O	Água	-
IAF	Índice de área foliar	m ² m ⁻²
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	-
INCT-CA	Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia – Ciência Animal	-
k	Constante de decaimento populacional	adimensional
K	Potássio	-
K ₂ O	Óxido de potássio	-
K _c	Coeficiente de cultivo	adimensional
K _{exchangeable}	Soil exchangeable potassium	mg dm ⁻³
K _{troc}	Teor de potássio trocável no solo	mg dm ⁻³
Log ₁₀	Logaritmo na base 10	
LVA	Latossolo Vermelho-Amarelo	
m	Declinação da equação cinética de primeira ordem	
Mg	Magnésio	mg dm ⁻³
MM	Matéria mineral/Mineral matter	%MS
Mn	Manganês	
MO	Matéria orgânica	
MOS	Matéria orgânica do solo	
MS	Matéria seca	
m _{seco}	Massa de solo seco	g
N	Nitrogênio	-
N ₀	Número inicial de bactérias na superfície	Unidades
Na	Sódio/Sodium	
Na _{exchangeable}	Soil exchangeable sodium	mg dm ⁻³
Na _{troc}	Teor de sódio trocável no solo	mg dm ⁻³
N _c	Concentração crítica de nitrogênio na planta	
NDF	Neutral detergent fiber	%MS

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade
N _i	Número de bactérias na superfície no tempo t	unidades
NNI	Índice de nutrição de nitrogênio/Nitrogen nutrition index	adimensional
NO ₂	Nitrito	-
NO ₃	Nitrato	-
ns	Não significativo	-
NT	Teor de nitrogênio total no solo	mg dm ⁻³
O ₂	Oxigênio	-
P	Fósforo	-
p	Probabilidade estatística da hipótese H ₀ ser falsa	-
P ₂ O ₅	Íon fosfato	-
P _{available}	Available phosphorous	mg dm ⁻³
PB	Proteína bruta	%MS
PBS	Phosphate buffered saline (solução tampão salina)	-
PC	Componente principal	-
PCA	Principal components analysis	-
P _{disp}	Teor de fósforo disponível total no solo	mg dm ⁻³
PEAD	Polietileno de alta densidade	-
pH	Potencial hidrogeniônico	adimensional
PMF	Produtividade de massa fresca	t ha ⁻¹
PMS	Produtividade de massa seca	t ha ⁻¹
PST	Porcentagem de sódio trocável	%
PT	Porosidade total do solo	%
PVC	Policloreto de vinila	-
R ²	Coefficiente de determinação	adimensional
RAS	Razão de adsorção de sódio	(mmol L ⁻¹) ^{-0,5}
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada	-
SV	Sólidos voláteis	%
SW	Stream water	-
t	Tempo de observação da população de bactérias	-
T ₉₀	Tempo de mortalidade aparente	-
TAF	Taxa de assimilação fotossintética	-
TC	Total coliforms	MPN 100 mL ⁻¹ ou MPN 100g ⁻¹
TFSA	Terra fina seca ao ar	-
Tmax	Temperatura máxima do ar	°C
Tmed	Temperatura média do ar	°C
Tmin	Temperatura mínima do ar	°C
TN	Total nitrogen	mg dm ⁻³
TOC	Total organic carbon	mg dm ⁻³
Turb	Turbidez	UNT
U	Umidade gravimétrica do solo	g g ⁻¹

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade
U.A.	Unidade animal	animais
U2	Velocidade do vento a 2,0 m de altura	$m s^{-1}$
Ubu	Umidade do material em base úmida	$g g^{-1}$
UR	Umidade relativa do ar	%
V%	Saturação por bases	%
V _{álcool}	Volume de álcool gasto na determinação da dp	mL
vs	versus	-
V _T	Volume total do solo	cm^3
WLF	Wastewater from livestock farming	-
WMS	Web map service	-
WW	Well water	-
Zn	Zinco	-
Δ	Variação	-
θ	Umidade volumétrica	$cm^3 cm^{-3}$
θ_{CC}	Umidade do solo na capacidade de campo	$cm^3 cm^{-3}$
θ_{PMP}	Umidade do solo no ponto de murcha permanente	$cm^3 cm^{-3}$

RESUMO GERAL

A bovinocultura de leite gera água residuária (ARB) proveniente da limpeza de instalações e equipamentos de ordenha, e cuja composição impede o seu lançamento, sem o devido tratamento, em corpos receptores. O seu reúso é uma alternativa de disposição que aporta nutrientes ao solo, para o desenvolvimento vegetal, e reduz a necessidade de captação de águas superficiais para a irrigação. Porém, requer uma avaliação das propriedades do solo e da resposta da planta devido à carga de nutrientes aplicada e da contaminação por microrganismos patogênicos. O objetivo com este trabalho foi avaliar o reúso com ARB sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, produção de fitomassa, composição bromatológica e quantificação de coliformes totais (CT) e *E. coli* no Tifton 85, em condições de campo e cultivo em vasos. O Capítulo I apresenta o experimento de reúso com ARB tratada em lagoas de estabilização, aplicada por aspersão, durante um ciclo de rebrota do Tifton 85 (29/05/20 a 12/09/20), em Gameleira de Goiás/GO. O estudo envolveu a irrigação com ARB e/ou Água de córrego (Ac), e a adubação nitrogenada (0 e 45 kg N ha⁻¹), num delineamento experimental fatorial em blocos casualizados. Aos 106 dias após a rebrota foram determinados os atributos morfológicos e bromatológicos da forrageira. As propriedades químicas do solo foram determinadas para 4 camadas do perfil, entre 0,0 e 0,60 m de profundidade. O Capítulo II apresenta o experimento de reúso com ARB submetida ao tratamento preliminar, aplicada por aspersão no Tifton 85, cultivado em vasos, dispostos em ambiente aberto, em Planaltina/DF. O estudo envolveu a irrigação com ARB e/ou Água de poço (Ap), num delineamento experimental em faixas. O turno de rega foi de 3 dias ao longo de 30 dias e, então, a irrigação por aspersão foi interrompida para a determinação da persistência microbiológica na parte aérea da planta. Nos 0, 2, 4, 6, 10 e 12 DAI (dias após a irrigação) (27/08/21 a 08/09/21), amostrou-se a parte aérea, e ajustou-se o modelo de decaimento de primeira ordem aos dados de CT e *E. coli*. No 12º DAI foi determinada a produtividade da forrageira. O reúso da ARB afeta direta e positivamente a produtividade (de 2,50 para 5,12 t ha⁻¹) e qualidade bromatológica da forrageira (PB de 12,35% para 14,58%) comparado com a Ac. O reúso com ARB mantém a MOS, entretanto, fornece potássio e sódio em quantidades superiores à capacidade de absorção do Tifton 85 durante a rebrota no inverno, resultando no seu acúmulo até os 0,60 m de profundidade. A contaminação da parte aérea do Tifton 85 e as taxas de decaimento da *E. coli* foram semelhantes entre as simulações de reúso. O modelo de decaimento mostrou uma mortalidade aparente média da *E. coli* atingida ao partir dos 2,55 DAI. O reúso da ARB no inverno pode ser praticado desde que monitorada a lixiviação de K e Na do solo. Em relação ao risco de contaminação microbiológica das vacas, o pastejo deve ser evitado por pelo menos 3 dias após a irrigação com ARB.

Palavras-chave: Fertilidade do solo. Pastagem. Bromatologia. Lixiviação de nutrientes. Contaminação da forragem.

GENERAL ABSTRACT

The dairy cattle farming generates a wastewater (WLF) from the cleaning of milking facilities and equipment, whose composition prevent its disposal into receiving bodies. The WLF reuse is a disposal alternative that provides nutrients to the soil for plant development and reduces the water catchment for irrigation. However, it requires an assessment of soil and plant properties because of the applied nutrient load and contamination by pathogenic microorganisms. The objective with this work was to evaluate the reuse with WLF on the chemical attributes of a dystrophic Oxisol, biomass production, bromatological composition and quantification of total coliforms and *E. coli* in Tifton 85 under pasture and pot cultivation. Chapter I presents the experience with reuse of WLF following stabilization ponds on a spray field, during one regrowth cycle of Tifton 85 (from 05/29/20 to 09/12/20), in Gameleira de Goiás/GO. The study involved the irrigation with WLF and/or Stream water (SW), combined with mineral nitrogen fertilization (0 and 45 kg N ha⁻¹), in a randomized bloc design. The morphological and bromatological parameters of the forage were determined at 106 days post-regrowth. The soil chemical properties were evaluated on soil profile, from 0,0 to 0,60 m depth. Chapter II presents the experience with reuse of WLF following preliminary treatment, applied by spraying in Tifton 85 grown in open-air pots, in Planaltina/DF. The study involved the irrigation with WLF and/or Well water (WW), in a split-block experimental design. The pots were irrigated by spray in three days intervals over 30 days, then the sprinkler irrigation was interrupted so that the persistence of microorganisms in the shoot biomass could be determined. In 0, 2, 4, 6, 10 and 12 days after irrigation (DAI) (from 27/08/21 to 08/09/21) the shoot was sampled to estimate the population of TC and *E. coli*, and the first order model was fitted to microbial population data. In 12° DAI was determined plant productivity. The WLF reuse affects directly and positively the forage productivity (from 2.50 to 5.12 t ha⁻¹) and bromatological quality (CP from 12.35% to 14.58%) compared to SW. The WLF reuse maintains the SOM, however, it provides potassium and sodium in larger quantities than Tifton 85 can absorb during regrowth in winter, resulting in their accumulation to 0.60 m depth. The shoot contamination and decay rates of *E. coli* were similar between the reuse simulations. The first order decay model showed that one Log₁₀ reduction of *E. coli* is reached, on average, from 2.55 DAI. The reuse of WLF in winter should be practiced on condition that the potassium and sodium leaching in soil is monitored. Regarding the risk of microbial contamination of animals, grazing must be avoided for at least 3 days after irrigation with WLF.

Key-words: Soil fertility. Pasture. Bromatology. Nutrient leaching. Grazing contamination.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Na criação de vacas leiteiras gera-se um volume importante de água residuária (ARB) nas operações de limpeza das instalações de ordenha e trato. Salienta-se que, de acordo com a Resolução do Conama nº 430 (Brasil, 2011), a criação de gado de leite é uma atividade potencialmente poluidora, e, para o seu licenciamento, é imperativa a adequada gestão das águas residuárias geradas no processo produtivo. Sabe-se que a viabilidade do tratamento de uma água residuária depende das características e da concentração das impurezas que a constituem. No caso das águas residuárias geradas na pecuária (bovinocultura, suinocultura, piscicultura etc.), a grande concentração de matéria orgânica é o fator que inviabiliza o seu tratamento através de métodos mais sofisticados, que possibilitem a sua disposição em corpos hídricos (Von Sperling, 1995).

No entanto, devido à própria matéria orgânica e aos outros nutrientes em sua constituição, o aproveitamento destas águas para a reposição da água e dos nutrientes do solo, em cultivos, se apresenta como uma solução simples para minimizar o passivo ambiental da bovinocultura leiteira. O reúso com ARB, portanto, tem sido adotado como uma ferramenta de gestão dos resíduos da atividade, que proporciona, em segundo plano, a manutenção da fertilidade do solo e possibilita reduzir o custo com a alimentação animal.

O custo para a produção da matéria prima para a ração e silagem, e para o cultivo de forrageiras, tem sido cada vez mais elevado, inclusive, tendo provocado um recuo da atividade leiteira no Brasil entre os anos de 2021 e 2022 (Rentero, 2023). O preço para a aquisição de fertilizantes tem sido uma das contribuições mais importantes para este custo elevado, a exemplo do ano de 2022, em que o custo para a aquisição de ureia e cloreto de potássio foi mais elevado em relação ao ano anterior em 110% e 115%, respectivamente, devido à eventos globais que ocorreram neste período, como as guerras e o aumento do preço do petróleo

(CEPEA, 2023). Portanto, justifica-se o reúso com ARB para o cultivo de forrageiras e outras culturas base para a alimentação dos animais, uma vez que este proporciona alguma independência da aquisição de fertilizantes, sobretudo em relação aos fertilizantes potássicos.

O benefício agrônômico com o reúso está estabelecido para diversas culturas agrícolas, tais como: biofertilizante de bovinocultura na produção de milho (Maciel *et al.*, 2019), água residuária de bovinocultura em pastagem de *Brachiaria* (Teixeira *et al.*, 2017), água residuária da suinocultura em algodoeiro (Medeiros *et al.*, 2011) e efluente doméstico tratado em pastagem (Cameron & Di, 2019). A sua viabilidade está mais bem condicionada à aplicação numa cultura com passível aproveitamento na cadeia produtiva, sendo habitualmente realizado o reúso na produção de culturas que, seja *in natura* ou após o processamento, apresentem um grau de contaminação microbiológica e composição nutricional aceitáveis para o seu consumo.

Os resíduos gerados na criação de animais, incorporados à água residuária, podem promover uma alteração na composição química e microbiológica do solo, das águas superficiais e subterrâneas, além de incorporar microrganismos patogênicos ao solo e à biomassa vegetal. Em decorrência disso, importante é utilizar combinações apropriadas entre a água residuária, o tipo de solo local e a cultura, respeitando os critérios agrônômicos e ambientais estabelecidos na legislação ou literatura especializada (Erthal *et al.*, 2010a) e comprovada a partir de pesquisas científicas.

No que se refere aos nutrientes, a sua mobilidade, as características físico-hídricas do solo, o manejo da fertilidade, o regime de precipitação pluvial, o manejo da irrigação e o potencial de extração da espécie vegetal são fatores que compõem o risco de contaminação do solo e de efeito fitotóxico. Segundo Quian *et al.* (2018), para viabilizar o reúso deve-se avaliar a composição da água residuária principalmente quanto ao nível limite de nitrogênio e fósforo recomendado para a cultura, e à carga de sódio aplicada, devido à possibilidade de lixiviação de íons pelo perfil do solo.

A fim de agregar valor ao reúso com ARB, é interessante a sua associação às culturas exploradas para a alimentação animal. No que se refere às forrageiras para pastagem, o Tifton 85 (*Cynodon* spp.) apresenta-se como uma opção viável, pois possui um elevado valor nutricional, e bastante produtivo e muito bem adaptado para o reúso (Oliveira *et al.*, 2019). Atualmente, o Tifton 85 é uma forrageira explorada principalmente para a fenação e para o cultivo de pastagem em sistemas intensivos de produção.

O Tifton 85 é uma espécie com metabolismo C4 e, portanto, a sua eficiência na produção de biomassa é influenciada diretamente pela sazonalidade climática, principalmente o fotoperíodo. Esta dependência é uma desvantagem para a sua exploração nas condições edafoclimáticas do Cerrado brasileiro, quando comparado com outras espécies forrageiras. E, no contexto do reúso no cultivo do Tifton 85, é necessário se compreender como se processam o crescimento vegetal e as alterações a nível de fertilidade do solo num período em que a espécie expressa o seu mais baixo desempenho. A redução da produção de pasto na estação seca resulta diretamente numa produção sazonal de leite nos sistemas de produção que têm como base o pastejo (Rentero, 2023).

A hipótese de que o reúso com ARB com o Tifton 85 possa ser feita com baixo risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas, quando aplicado em Latossolos, é embasada pelos resultados positivos de produtividade de forrageira e qualidade química do solo obtidos, por exemplo, no emprego da ARB para o cultivo de pastagem do gênero *Brachiaria* (Teixeira *et al.*, 2017). No entanto, nas fazendas de criação de gado leiteiro do Estado de Goiás, o reúso com ARB em pastagem, de maneira geral, não seguem as taxas de aplicação mais adequadas e nem se observa, com o devido rigor, quanto ao período adequado para o reingresso dos animais nestas áreas.

No que se refere ao pastejo efetuado pelas vacas em lactação, a contaminação microbiológica da parte aérea da planta compromete a sanidade do pastejo, pois o contato com

a forrageira contaminada por microrganismos patogênicos, como do grupo coliformes, desencadeia quadros superagudos de mastite clínica, e compromete, em consequência, a qualidade do leite (Ramos *et al.*, 2017). E, assim como para os efeitos sobre a fertilidade do solo e produção de forragem, a sazonalidade climática do Cerrado brasileiro, sobretudo caracterizada com um clima tropical, com inverno seco, interfere sobre a sobrevivência de microrganismos patogênicos no ambiente de uma maneira que ainda não foi plenamente elucidada.

Portanto, o reúso da ARB em pastagens para vacas em lactação, para a região do Estado de Goiás, necessita de subsídios técnicos que considerem aspectos plurais, relativos ao solo, à planta e à segurança sanitária, além das compensações ambientais teóricas. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo obter informações para subsidiar o uso ambientalmente seguro da ARB para a irrigação de pastagens, visando melhorar a qualidade da forrageira e do solo e reduzir a contaminação da pastagem por microrganismos patogênicos.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 430 de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, n. 92, p. 89, Brasília. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em: 06/01/2020.

CAMERON, K. C.; DI, H. J. A new method to treat farm dairy effluent to produce clarified water for recycling and to reduce environmental risks from the land application of effluent. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 2290-2302, 2019.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA. Custo Leite (abril, 2023). Informativo Trimestral. 4 p., 2023.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais, e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.458-466, 2010b.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? Curitiba: **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 17, p. 9-18, 2007.

MACIEL, A. M.; SILVA, J. B. G.; NASCIMENTO, A. M.; DE PAULA, V. R.; OTENIO, M.H. Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um planossolo. Maringá: **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, n.1, p.151-171, 2019.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; PÉREZ-MARIN, A. M.; SOARES, F. A. L.; FERNANDES, P. D. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 1047-1055.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O.; NASCIMETO, E. C. S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação

orgânica. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 14, n. 7, p. 747-754, 2010.

NOGUEIRA, S. F.; PAULA, A. M.; PEREIRA, B. F.; SALEMI, L. F.; FONSECA, D. F.; MONTES, C. R.; VICTORIA, R. L. Water type and irrigation time effects on microbial metabolismo of a soil cultivated with Bermuda-grass Tifton 85. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 3, p. 477-486, 2011.

OLIVEIRA, J. F.; FIA, R.; FIA, F. R. L.; RODRIGUES, F. N.; OLIVEIRA, L. F. C.; L FILHO, L. C. A. Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodonsp.*). **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n. 1, p. 155-165, 2019.

ONWUKA, F.; NWACHOKO, N.; ANOSIKE, E. Determination of Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) and some Cations (Na⁺, Ca⁺ and Mg²⁺) in a Crude Oil Polluted Soil and possible Phytoremediation by *Cynodon dactylon* L (Bermuda grass). **Journal of Environment and Earth Science**, v. 2, n. 6, 2012.

QIAN, X.; SHEN, G.; WANG, Z.; SHANG, X.; HONG, Z. Effect of swine liquid manure application in paddy field on water quality, soil fertility and crop yields. **Paddy Water Environment**, v. 16, p. 15-22, 2018.

RAMOS, F. S.; GRANDE, A.; OLIVEIRA, B. S. A.; POLL, P. S. E. M. Importância do diagnóstico da mastite subclínica e seus impactos econômicos em propriedades leiteiras – Revisão. **Faculdade de Ciências da Saúde de Unaí**, 44, 2017.

RENTERO, N. Projeção de tendências para o leite aqui e lá fora. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: **Anuário do Leite 2023**, p. 22-25, 2023.

TEIXEIRA, F. O. P.; BOTELHO, S. A.; MELO, L. A.; FIA, R.; TEIXEIRA, G. A. P. Efeito da disposição de efluentes da bovinocultura no solo e na biomassa vegetal. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n.4, p. 326-355, 2017.

WANG, X.M.; DI, H. J.; CAMERON, K.; LI, B. Effect of treated farm dairy effluent on *E. coli*, phosphorous and nitrogen leaching and greenhouse gas emissions: a field lysimeter study. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 2303-2312, 2019.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESES

3.1. OBJETIVO GERAL

- Avaliar a aplicação de água residuária gerada nas instalações de ordenha de bovinos sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo; e sobre o crescimento, composição bromatológica e contaminação microbiológica do Tifton-85 em condições de pastagem a campo e cultivado em vasos.

3.2. CAPÍTULO I – OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESES

3.2.1. Objetivos específicos

- Avaliar crescimento, produção de matéria seca e qualidade bromatológica (proteína bruta, matéria mineral, fibras em detergente neutro e fibras em detergente ácido) da pastagem de Tifton 85, irrigada com diferentes doses ARB e de água de um córrego, com e sem a complementação da adubação nitrogenada;
- Determinar as propriedades químicas em diferentes camadas de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico;
- Quantificar os nutrientes remanescentes no perfil do solo após um ciclo de rebrota do Tifton 85, irrigado com ARB, com e sem a complementação da adubação nitrogenada, no inverno.

3.2.2. Hipóteses

- As diferentes quantidades de ARB na composição da água de irrigação, utilizadas para a irrigação da pastagem de Tifton 85, ao longo de um ciclo de rebrota, no inverno, aporta nutrientes em diferentes quantidades no perfil de um Latossolo

Vermelho-Amarelo distrófico, especialmente carbono, nitrogênio, fósforo, potássio e sódio;

- As alterações químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, que decorrem do reúso com ARB ao longo de um ciclo de rebrota da pastagem de Tifton-85, no inverno, podem promover maior produção de matéria seca e nível de proteína bruta, e menor nível de fibras em detergente neutro;
- A adubação nitrogenada, na dose de 45 kg N ha⁻¹, associada à irrigação com ARB e/ou água de córrego, pode promover maior produção de matéria seca e nível de proteína bruta, e menor nível de fibras em detergente neutro.

3.3. CAPÍTULO II – OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESES

3.3.1. Objetivos específicos

- Modelar a cinética de persistência de coliformes totais e *E. coli* na parte aérea do Tifton-85 após a irrigação com ARB, relacionando-a com o tempo decorrido, durante o inverno;
- Avaliar a produção de matéria seca do Tifton 85 cultivado em vasos, irrigado com ARB ou água de poço.

3.3.2. Hipóteses

- A irrigação com água de poço, a seguir a uma série de irrigações com ARB, pode reduzir a carga microbiológica da parte aérea do Tifton 85;
- A irrigação com ARB, utilizando uma lâmina inferior à evapotranspiração da cultura, pode reduzir a carga microbiológica da parte aérea do Tifton 85;

- O tempo decorrido após a interrupção da irrigação é uma variável capaz de descrever a cinética de decaimento microbiológico na parte aérea do capim Tifton-85 irrigado com ARB e água de poço.

**CAPÍTULO I. REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA:
INDICADORES DE FERTILIDADE DO SOLO, E INDICADORES
MORFOLÓGICOS E BROMATOLÓGICOS DE *CYNODON* SPP. CV. TIFTON 85**

RESUMO

O reúso de água residuária da bovinocultura (ARB) para a irrigação de pastagens é uma prática agrícola usual. Entretanto, sua implementação sustentável no Cerrado brasileiro necessita de mais informações acerca dos seus impactos sobre os indicadores agrônômicos e ambientais para estas condições edafoclimáticas. O objetivo com este estudo foi avaliar a utilização da ARB tratada por lagoas de estabilização e adubação mineral nitrogenada em uma área de pastagem sobre os atributos morfológicos, bromatológicos e de produtividade do Tifton 85 e sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo no período de 29/05 a 12/09/2020 (inverno) em Gameleira de Goiás-GO. O estudo envolveu a utilização de três tipos de água aplicadas por aspersão convencional (Água de córrego (Ac) apenas, ARB+Ac na proporção de 1:1 e ARB apenas) combinada com a adubação nitrogenada mineral (0 e 45 kg N ha⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 3 × 2, com quatro repetições, distribuídos em 24 parcelas de 36 m² cada uma. A adubação mineral foi aplicada em dose única (ureia), a lanço, no início do período de rebrota, enquanto a irrigação foi realizada semanalmente, totalizando 244 mm. Aos 106 dias após a rebrota foram medidas a produtividade, altura, F/C, IAF, PB, FDA, FDN e MM, além de estimado o NNI da forragem de Tifton 85. No solo foram medidos os teores de NT, COT, P_{disp}, K_{troc} e Na_{troc} nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Foram determinados os estoques de COT, NT, P_{disp} e K_{troc} e a relação C/N do solo até a profundidade de 0,40 m, bem como a análise convencional da fertilidade do solo na camada de 0-0,20 m. A adubação nitrogenada mineral de 45 kg N ha⁻¹ não influenciou as variáveis avaliadas. Em média, o reúso da ARB elevou a produtividade do Tifton 85 de 2,50 para 5,12 t ha⁻¹ e a PB de 12,35% para 14,58% em comparação à Ac. O reúso da ARB com ou sem diluição proporcionou produtividade, qualidade nutricional e acúmulo de nitrogênio do capim Tifton 85 superiores (p < 0,01) em relação à irrigação apenas com Ac. O reúso da ARB com diluição 1:1 e sem adubação mineral se mostrou adequado ao suprimento das necessidades nutricionais do Tifton 85 durante o inverno no Cerrado. A ARB, sem diluição, favoreceu a manutenção da MOS. Entretanto, o reúso elevou os níveis de K_{troc} e Na_{troc} no perfil do solo até a profundidade de 0,60 m e contribuiu para a acidificação do solo. No que se refere a ARB proveniente de lagoas de estabilização, o seu reúso durante o inverno é recomendado em conjunto com outras práticas de manejo da fertilidade do solo, como correção do pH, adubação nitrogenada e fosfatada, e monitoramento dos teores de K_{troc} e Na_{troc}.

Palavras-chave: Pastagem. Produção de forragem. Química do solo. Resíduo orgânico.

ABSTRACT

The utilization of wastewater from livestock farming (WLF) to irrigate pastures represents a common agricultural practice. However, the sustainable implementation of WLF reuse in Brazilian Cerrado region requires further information on its agronomic and environmental impacts on its edafoclimatic conditions. The objective of this study is to assess the reutilization of WLF treated by stabilization ponds and the nitrogen fertilization on a pasture field on the morphological, bromatological, and productivity attributes of Tifton 85 and on the chemical

attributes of an Oxisol from 05/29/20 to 09/12/20 (winter) in Gameleira de Goiás/GO. The study involved the application of different types of water via sprinkler (Stream Water (SW) solely, WLF+SW at a 1:1 ratio, WLF solely) combined with mineral nitrogen fertilization (0 and 45 kg N ha⁻¹). The experimental design adopted a randomized block arrangement employing a 3 × 2 factorial scheme with four replications, distributed across plots of 36 m² each. A single dose of mineral fertilizer (urea) was administered at the commencement of the regrowth period while the irrigation was applied on a weekly basis, totaling 244 mm. At 106 days post-regrowth, parameters including forage productivity, height, LSR, LAI, NNI, CP, ADF, NDF, and MM contents were determined from Tifton 85 forage. The following soil properties were evaluated at depths of 0-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.40 and 0.40-0.60 m: TN, TOC, P_{available}, K_{exchangeable} and Na_{exchangeable}. At 0-0.40 m were estimated the C/N ratio and the stocks of TOC, TN, P_{available} and K_{exchangeable}. And the standard fertility was analysed at depth of 0-0.20 m. Mineral fertilization at the prescribed dosage (45 kg N ha⁻¹) did not exert any discernible impact on the parameters under investigation. On average, the reuse of WLF raised the Tifton 85 productivity from 2.50 to 5.12 t ha⁻¹ and the CP from 12.35% to 14.58% comparing to stream water. The reuse of WLF demonstrated superior outcomes (p < 0.01) in terms of pasture productivity, nutritional quality, and nitrogen accumulation compared to irrigation solely with stream water. The reuse of diluted WLF (1:1) without fertilization proved adequate to sustain Tifton 85 pastures during the winter season in the Brazilian Cerrado region. The WLF, without dilution, favored the maintenance of the TOC. However, the reuse raised K_{exchangeable} and Na_{exchangeable} up to 0.60 m depth and contributed to soil acidification. Regarding of the WLF treated by stabilization ponds, its reuse during winter is recommended in conjunction with other soil fertility management practices, such as pH correction, fosfate and nitrogen fertilizer, and monitoring the contents of K_{exchangeable} and Na_{exchangeable}.

Key-words: Pasture. Forage production. Soil chemistry. Organic residue.

1. INTRODUÇÃO

Na bovinocultura leiteira, as vacas em lactação precisam do alimento volumoso em quantidade e de boa qualidade para expressar o seu potencial genético, sendo as fontes mais comuns o feno, a pastagem e a silagem. O sistema de exploração intensivo requer constância na oferta de alimento, sendo que a sazonalidade climática do Cerrado brasileiro é limitante para a produção de pastagens sem o recurso da irrigação (Rentero, 2023).

Neste contexto, o reúso das águas residuárias (ARB) no próprio processo produtivo, mais especificamente para a produção de alimento volumoso, é motivado pelo seu volume e frequência de geração. A composição bruta da ARB é bastante variável e depende de fatores relacionados ao manejo animal, à gestão das instalações e às condições ambientais, sendo, em geral, um subproduto com alta carga de matéria orgânica e potássio (Silva *et al.*, 2017a). O reúso com ARB em pastagens é uma prática comum ao redor do mundo e, recentemente, tem sido estudada mais especificamente sob a perspectiva do seu impacto ambiental (Cameron & Di, 2019).

O teor de nutrientes e a salinidade da água residuária são utilizados como referência para a definição da taxa de aplicação. A avaliação das formulações das taxas de aplicação para o reúso é importante para maximizar a eficiência geral desta prática. Neste contexto, é ideal que o reúso atenda aos requerimentos nutricionais e hídricos da espécie forrageira, aos objetivos de custos operacionais, e à segurança ambiental.

Para cumprir aos requisitos de segurança ambiental, existe a necessidade de monitoramento das características físicas e químicas do solo, uma vez que a reatividade de uma água residuária é capaz de provocar alterações na concentração de nutrientes no perfil do solo, com a possível criação de um ambiente adverso para o desenvolvimento vegetal (Gomes *et al.*, 2004; Erthal *et al.*, 2010b). Caso a ARB utilizada na irrigação apresente elevadas concentrações de sais e nutrientes face à capacidade de adsorção do solo, de modo a favorecer a lixiviação, as

alterações provocadas pelo reúso podem ainda promover a contaminação das águas subterrâneas.

Quanto aos custos operacionais, é conveniente que a cultura irrigada apresente alta eficiência na absorção de nutrientes, seja compatível com a água residuária, e seja, de alguma forma, aproveitada no processo produtivo da bovinocultura leiteira. O Tifton 85 é uma forrageira bastante utilizada como fonte de alimento volumoso na atividade, sobretudo nos sistemas intensivos, em razão da sua elevada produtividade e qualidade nutricional (Monção *et al.*, 2016). Sob a perspectiva do reúso, a espécie apresenta desempenho superior a outras espécies de capim Bermuda e tolerância para cultivo em solos contaminados com resíduos orgânicos e sódio (Spearman *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2020; Teixeira *et al.*, 2021). Além disso, a associação do Tifton 85 ao reúso promove alterações benéficas e importantes, sob o ponto de vista da nutrição animal (Spearman *et al.*, 2020).

Assim como nos cultivos convencionais, o manejo da forrageira com o reúso influencia na sua qualidade nutricional no que se refere à manutenção da proteína bruta e digestibilidade, tanto em razão do fornecimento de nutrientes, quanto do próprio suprimento hídrico. Portanto, a mensuração da amplitude dessa influência é de grande interesse zootécnico (Sanches *et al.*, 2017).

A investigação quanto a influência do reúso com ARB sobre a fertilidade do solo e a produção da forragem de Tifton 85 é fundamental, visto ser esta uma prática comum e realizada com pouco ou sem nenhum critério técnico, pela maioria dos produtores de leite da região do Cerrado. Ao fornecer informações baseadas na produtividade da pastagem e na sanidade ambiental, será possível auxiliá-los na tomada de decisão na gestão dos resíduos da atividade. Neste contexto, buscou-se definir a pesquisa que envolvesse as técnicas já utilizadas na Fazenda onde foi realizado o experimento, quanto à forma de aplicação da ARB e da adubação nitrogenada.

Diante do exposto, uma pastagem de Tifton 85, cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo, foi submetida ao reúso com ARB, durante o inverno. O objetivo com este trabalho foi avaliar as características morfológicas e bromatológicas da pastagem, e as características químicas do solo, no intuito de identificar o potencial produtivo da forrageira, e o acúmulo de nutrientes e sódio no solo, após um ciclo de rebrota.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA PRODUZIDA NA CASA DE ORDENHA

Da limpeza das instalações de ordenha e manejo na bovinocultura leiteira, o chamado *flushing*, é gerado uma quantidade considerável de ARB. Considerando a produção de leite bovino do ano de 2022 para o Estado de Goiás e Distrito Federal, igual a 3,03 bilhões de L de leite (IBGE, 2023), é possível estimar pela metodologia descrita por Carvalho *et al.* (2011) e Palhares *et al.* (2018) que foram gerados neste mesmo ano o total de 21,82 bilhões de L de ARB. O reúso da ARB em pastagens é uma prática comumente utilizada no mundo todo, adotada como uma alternativa ao destino da ARB em corpos hídricos. Entretanto, recentemente a disposição final da ARB via reúso tem sido alvo de estudos, sobretudo sob o viés do seu impacto ambiental (Zhang *et al.*, 2017; Cameron & Di, 2019).

Proporcionalmente ao peso do animal, existe semelhança entre o volume de dejetos produzidos pelos bovinos de leite, suínos e frango de corte. Porém, resultados obtidos por ASAE (2003) mostram que o dejetos bovino apresenta menor concentração de fósforo total, nitrogênio total, amônio, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), em relação a outras espécies animais. O resíduo de origem bovina, incluindo a ARB, contém teores consistentes de carbono orgânico e macronutrientes, além de concentrações de micronutrientes (Fe, Cu, Zn e Cl) (Shlegel *et al.*, 2017).

Na sua forma bruta, a ARB destaca-se pelo elevado teor de DQO, K e Na em relação aos outros tipos de água residuária (Erthal *et al.*, 2010a; Silva *et al.*, 2017a). A ARB pode apresentar DQO de 91 vezes e DBO de 5 vezes maior que o esgoto doméstico tratado (Fonseca *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2017a).

Na

Tabela I. 2.1 apresenta-se a caracterização da ARB para diversos contextos de tratamento.

Tabela I. 2.1. Características físico-químicas da água residuária de bovinocultura (ARB) gerada em casa de ordenha.

Parâmetro (mg L ⁻¹)	Autores						
	Erthal <i>et al.</i> (2010) ¹	Silva <i>et al.</i> (2017a) ¹	Schierano <i>et al.</i> (2017) ²	Cameron & Di (2019) ¹	Wang <i>et al.</i> (2019) ³	Wang <i>et al.</i> (2019) ⁴	Maciel <i>et al.</i> (2019) ⁵
Turbidez ^A	-	-	-	2214	7035	4969	-
Sólidos totais	7.492	24.179	208	3.173	-	-	3.200
DBO	-	3.522	-	953	-	-	227
DQO	16.539	26.875	271	-	-	-	2.004
C-total	1.346,6	-	-	-	2.933	2.600	-
N-total	697,21	696,20	62,80	200,0	5030	473,0	87,2
N-NH ₄ ⁺	-	588,79	48,8	56,0	84,0	129,0	22,1
N-NO ₃	-	1,07	24,0	-	4,90	4,77	42,6
N-org	-	15,27	-	-	-	-	22,5
P-total	131,80	81,15	14,60	35,27	89,0	65,0	-
K	361,98	123,13	-	198,0	-	-	0,2
Ca	123,25	210,10	-	134,44	-	-	-
Mg	32,44	137,55	-	40,90	-	-	-
Na	90,84	75,00	-	55,99	-	-	-
Zn	2,94	1,00	-	1,31	-	-	-
Cu	1,32	6,25	-	0,16	-	-	-
pH	7,84	6,48	8,18	7,89	-	-	8,81
CE ^B	4,26	2,91	3,88	-	-	-	-
RAS ^C	1,03	1,39	-	-	-	-	-
<i>E.coli</i> ^D	-	-	-	247.718	19.300	30.000	-

^A NTU; ^B dS m⁻¹; ^C (mmol_c L)^{-0,5}; ^D NMP.100 mL⁻¹; 1 – bruto; 2 – lagoas de estabilização; 3 – floculação com sulfato poliférrico; 4 – mistura de efluente tratado e efluente clarificado com adição de cloreto de amônia; 5 – efluente da biodigestão.

2.2. TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA

Como a ARB bruta apresenta limitações físicas e químicas para sua aplicação direta via sistema de irrigação, a viabilização desta prática requer a adoção de processos de tratamento preliminares. A depender de cada situação, pode ser adotado desde uma simples diluição da ARB até tratamentos mais sofisticados, tendo como objetivo a redução do teor de sólidos totais e de elementos contaminantes, além da estabilização de compostos fitotóxicos ou muito móveis no solo.

A associação de etapas de tratamento da ARB aumenta a eficiência de remoção de alguns atributos como fósforo e microrganismos. As etapas que promovem a precipitação de sais, inativação de microrganismos e a remoção de sólidos, são importantes para o condicionamento do efluente de ARB a ser aplicado no solo (Wang *et al.*, 2019) e reduzem os riscos de poluição do solo e das águas subterrâneas, além de fitotoxidez.

As lagoas de estabilização são largamente utilizadas no tratamento da ARB desde a década de 1970 devido à sua capacidade de reduzir da carga de DBO e sólidos suspensos; todavia, a ARB tratada ainda pode apresentar alta concentração de nutrientes, indicadores de contaminação fecal e biomassa de algas (Von Sperling, 1995). Craggs *et al.* (2004) propuseram a modificação na estrutura das lagoas de estabilização para aumentar o circuito linear percorrido pelo efluente, reter mais sólidos em suspensão e sedimentação de algas. Este sistema mostrou-se mais eficiente que as lagoas de estabilização convencionais no tratamento da ARB, reduzindo a DBO para valores de até 43 mg L⁻¹ e o teor de sólidos em suspensão para até 87 mg L⁻¹.

Outra adaptação no tratamento de ARB com lagoas foi sugerida por Cameron & Di (2019) com a inclusão de uma etapa química de floculação (sulfato poliférrico) para a clarificação do efluente, que resultou na remoção acima de 90% da turbidez, do fósforo e da *E. coli*. A ARB submetida a este tratamento foi aplicada por Wang *et al.* (2019) em área de pastagem sendo que

foram notados menores teores de *E. coli* (69% a 98% menor) e de fósforo (85% a 90% menor) no extrato lixiviado do solo em relação ao solo submetido à aplicação da ARB não tratada.

O uso de leitos cultivados foi recentemente introduzido para tratamento da ARB e tem sido testado, sobretudo com macrófitas e outras espécies fitorremediadoras. Um exemplo bem-sucedido de leito cultivado com Taboa (*Typha domingensis*) foi capaz de remover de DQO (78-80%), sólidos em suspensão (55%), e nitrogênio total (85,1%) utilizando uma mistura de zeólita e cascalho como substrato (Schierano *et al.*, 2017).

Por fim, no que se refere ao aproveitamento energético dos resíduos de origem bovina, o esterco é um excelente substrato para a digestão anaeróbica, como resultado obtém-se um efluente com função semelhante à adubação inorgânica e sem efeitos deletérios ao solo (Maciel *et al.*, 2019). Entretanto, o desempenho da ARB na geração de biogás é modesto, com produção cerca de 50% menor que do esterco suíno (25,9 mL CH₄ g SV⁻¹ d⁻¹ e 55 mL CH₄ g SV⁻¹ d⁻¹, respectivamente) (Li *et al.*, 2015). Isso se dá porque a ARB contém bastante água, gordura do leite e algumas proteínas (Maciel *et al.*, 2019), conseqüentemente, a biodigestão da ARB tem sido adotada somente em propriedades do Centro-Oeste brasileiro que trabalham com rebanhos maiores ou produção de leite com alto rendimento.

2.3. IMPACTOS DO REÚSO NA QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO

2.3.1. Considerações gerais

Os teores de nitrogênio, elementos fitotóxicos, metais pesados e salinidade, são utilizados como base na dosagem de água residuária/efluente com a finalidade de reúso, de modo a determinar seu potencial poluidor e potencial de aproveitamento pela espécie de cobertura do solo (Erthal *et al.*, 2010b). Para a segurança na fertirrigação, pode ser necessário o tratamento da água residuária previamente à aplicação no solo e a dosagem adequada inclusive para o tipo de solo e condições meteorológicas (Qian *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019).

Hawke & Summers (2006) relataram que por muito tempo os estudos relacionados ao reúso de diversas águas residuárias na irrigação, assumiram que o solo era capaz de tratar a água residuária e garantir o suprimento nutricional para as plantas sem pôr em risco a qualidade das águas subterrâneas. Os efeitos sobre propriedades físicas do solo como condutividade hidráulica e integridade estrutural do solo eram desprezados. Entretanto, atualmente sabe-se que a segurança do reúso demanda o monitoramento do solo a fim de detectar tanto na superfície quanto em profundidade a presença de possíveis contaminantes ou alterações nas propriedades físico-hídricas do solo. Isso se deve a reatividade da água residuária/efluente que provoca alterações importantes na concentração de nutrientes ao longo do tempo de aplicação (Gomes *et al.*, 2004).

O reúso no cultivo de forrageiras levanta preocupações, sobretudo quanto às doses aplicadas e o risco de acúmulo de nutrientes no solo em longo prazo. A taxa de remoção de nutrientes entre ciclos de corte/pastejo pode variar devido à disponibilidade do nutriente, ao potencial de lixiviação, à alteração no potencial osmótico e às condições ambientais de temperatura ambiente e luminosidade (Oliveira *et al.*, 2019). Considerando a relação entre as taxas de crescimento e de remoção de nutrientes pela planta, é consenso que o reúso é mais seguro para a qualidade do solo nos períodos de crescimento vegetal mais intenso.

2.3.2. Física do solo

Quando se trata dos impactos do reúso nas propriedades físicas do solo, os efeitos se relacionam aos fatores como estrutura inicial e textura do solo, carga e natureza dos sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos da água, além de fatores bióticos. A distribuição de poros, a porosidade total, a posição relativa de poros e agregados, e a textura do solo são importantes para avaliar alterações na estrutura do solo induzidas pela aplicação de águas residuárias e efluentes (Pagliai & Antisari, 1993; Leuther *et al.*, 2019).

Rice (1974) explica que o solo com menor volume de macroporos está sujeito ao selamento na sua superfície com o reúso, entretanto, a fissuração pelo ressecamento possibilita a recuperação da sua condutividade hidráulica. Enquanto isso, o maior volume de macroporos permite maior fluxo de sólidos suspensos em profundidade e o revestimento dos poros com matéria orgânica, podendo formar uma camada subsuperficial inteira de selamento (Rice, 1974; Leuther *et al.*, 2019).

No que se referem aos microporos, os solos de textura argilosa são mais suscetíveis que os de textura média às alterações na capacidade de retenção de água em decorrência do reúso com efluente de esgoto doméstico (EED), justificado pela eluviação de argilas (Leuther *et al.*, 2019). No entanto, salienta-se que em Latossolos, a dispersão pode ser dificultada por dois motivos: o pH ácido, devido à interferência para o aumento de cargas positivas, sendo que estas cargas promovem a atração e o contato entre as partículas coloidais do solo, dificultando a dispersão; e a formação de complexos organominerais, cujas ligações são mais fortes do que apenas eletrostáticas (Azevedo & Bonumá, 2004).

Ao reúso com EED foi indiretamente atribuída melhoria da macroporosidade do solo devido a oferta de água e nutrientes para a manutenção da atividade biológica (Leuther *et al.*, 2019). Neste tipo de reúso podem ocorrer melhorias na estrutura do solo até os 60 cm de profundidade ao longo dos anos (Mathan, 1994).

Independentemente da origem, o resíduo orgânico é capaz de aumentar a porosidade do solo (micro e macro) em até 3 vezes, melhorar a sua qualidade pelo aumento dos poros alongados, e ainda reduzir a formação de crostas superficiais (Pagliai & Antisari, 1993). Em adição, o efeito da condutividade elétrica da solução com o reúso em longo prazo pode ser suprimido pela matéria orgânica do solo no processo de dispersão das partículas do solo, que resulta, além da conservação da estrutura, em formação de macroporos (Leuther *et al.*, 2019).

2.3.3. Sódio

No que tange à estrutura física do solo, o sódio (Na^+) é o íon de maior influência, pois em excesso promove a dispersão das argilas e a desestruturação do solo quando a sua relação com o cálcio (Ca^{2+}) ultrapassa 3:1, bem como com o aumento da razão de adsorção de sódio (RAS) resultando em problemas na capacidade de infiltração de água no solo (Ayers & Westcot, 1994). Altas concentrações de sódio, em desequilíbrio com as concentrações de cálcio e magnésio, podem levar à consequente impermeabilização de um solo de textura argilosa (Paganini, 2003), sobretudo no solo em que predominam a argilas 2:1 (Azevedo & Bonumá, 2004). Nos Latossolos, o uso de culturas mais eficientes na absorção do Na^+ e a adição de material orgânico, permitem amenizar os efeitos negativos sobre a estrutura do solo e sobre a atividade de microrganismos (Gonçalves *et al.*, 2007; Freitas & Maia, 2017).

O grau de restrição para o uso de uma água na irrigação, em função do seu potencial comprometimento dos processos de movimento de água no solo, foi definido por Ayers & Westcot (1994) com base na análise combinada da razão de adsorção de sódio e da condutividade elétrica da água de irrigação. Desta forma, como observado por Gonçalves *et al.* (2007), a água de irrigação que mais põe em risco a estrutura do solo, não necessariamente é a água residuária. Os autores notaram, na irrigação por gotejamento, que a água de poço [RAS = $19,6 \text{ (mmolc L}^{-1})^{0,5}$; CE = $0,408 \text{ dS m}^{-1}$] e o esgoto doméstico tratado [RAS = $10,4 \text{ (mmolc L}^{-1})^{0,5}$; CE = $0,736 \text{ dS m}^{-1}$], promoveram a redução da condutividade hidráulica de saturação do solo de 47% e 36%, respectivamente.

O teor de Na^+ da solução do solo varia em dependência de outros fatores, além da composição da água de irrigação e das características químicas do solo, podendo ser relacionado a dois processos. O primeiro deles diz respeito ao processo hidrológico (evaporação e diluição/lixiviação pela precipitação) (Tzanakakis *et al.*, 2011). Nas regiões de clima tropical, com inverno seco, como é o caso do Cerrado goiano, em que as precipitações anuais são da

ordem de 1600 a 1900 mm (Álvares *et al.*, 2014), o efeito da diluição e da lixiviação no período chuvoso limita a salinização do solo.

O segundo deles se refere ao processo de adsorção-dessorção no complexo de troca (Lado *et al.*, 2012). O Na^+ pode ocorrer em altas concentrações em Latossolos até os 200 cm de profundidade em decorrência da adsorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} nos sítios de troca e da absorção destes cátions pelas raízes (Gloaguen *et al.*, 2007). A camada superficial do solo adquire uma solução com RAS mais elevada em comparação às mais profundas, possivelmente devido à deposição dos resíduos sólidos do efluente na superfície do solo e da baixa mobilidade do íon (Miotto *et al.*, 2019).

Os efeitos do Na^+ proveniente do reúso realizado em longo prazo variam conforme a textura do solo. Leuther *et al.* (2019) avaliaram o reúso de esgoto doméstico tratado em pomares de Israel após 30 anos e notaram o aumento da RAS em solo argilo-arenoso, enquanto em 3 anos de aplicação em solo franco-argiloso seguido por 3 anos de irrigação com água natural já foi possível observar mudanças na composição textural, acidez, salinidade e RAS. Segundo os autores, este segundo solo foi muito mais sensível e conseqüentemente sofreu maiores efeitos deletérios sobre as propriedades químicas, sobretudo na RAS e na condutividade elétrica. Erthal *et al.* (2010), no reúso com ARB em Argissolos [RAS = 1,03 (mmolc L^{-1})^{0,5}; CE = 7,94 dS m^{-1}] observaram valores mais expressivos de argila dispersa em água na camada superficial (alcançando em torno de 55%) e comportamento crescente ao longo do tempo de aplicação.

2.3.4. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH do solo pode ser sensível ao reúso devido à combinação de fatores relativos à qualidade da água de irrigação e ao estado químico do solo. A variação do pH do solo para acidificação ou alcalinização ocorre em função do poder tampão do solo expresso em capacidade de troca catiônica (CTC) (Miotto *et al.*, 2019), da fração do nitrogênio predominante

na água residuária/efluente, da absorção destes íons pelas plantas e do uso em processos bioquímicos (Leuther *et al.*, 2019).

A alcalinidade resultante dos processos biológicos de remoção da matéria orgânica e amonificação do nitrogênio orgânico das águas de reúso pode aumentar a disponibilidade de nutrientes do solo para as plantas e limitar a lixiviação de alguns nutrientes (Menegassi *et al.*, 2020). A elevação de pH devido ao reúso pode ocorrer com a adição de compostos fenólicos, grupos carboxílicos e enólicos que consomem prótons devido a associação do H^+ do solo com estes ânions (Naramabuye & Haynes, 2007), motivo apontado por Mito *et al.* (2019) para a conservação do pH de um Nitossolo (textura argilosa) cultivado com milho e irrigado com EED (pH médio de 5,25).

A acidificação do solo ocorre principalmente devido à mineralização de compostos orgânicos resulta na formação de CO_2 e ácidos orgânicos, ou ainda, segundo Silva *et al.* (2011) devido à adsorção preferencial de cátions em detrimento dos ânions. O abaixamento do pH é mais comum e significativo quando se combina o reúso de uma água rica em matéria orgânica e/ou compostos nitrogenados de carga positiva em um solo com baixa CTC. Leuther *et al.* (2019) relataram a variação do pH de 7,4 para 5,7 em um solo franco arenoso com baixa CTC após 3 anos de reúso com água rica em amônia seguidos de 3 anos de irrigação com água natural.

2.3.5. Acúmulo e lixiviação de nutrientes

Desconsiderando a contribuição da adubação convencional, a intensidade de ocorrência do acúmulo e da lixiviação de nutrientes com o reúso é determinada pela composição da água residuária, a afinidade dos íons às partículas coloidais do solo e o manejo de irrigação deficiente. A diluição da água residuária previamente ao reúso aumenta a probabilidade de adsorção dos íons, mas, apesar disso, mesmo sem diluição, a mobilidade dos íons costuma ser baixa em Latossolos (Souza *et al.*, 2020) possivelmente devido ao potencial competidor destes

cátions pelos sítios de troca (Matos *et al.*, 2013), entretanto, esta afirmação é verdadeira enquanto as quantidades de nutrientes adicionadas não superam os níveis de saturação. Em Latossolos Vermelho-Amarelo a lixiviação é inversa à reatividade dos íons e, no caso de águas residuárias salinas, a preferência de interação solo-soluto segue a ordem $K > Ca > Na > Mg$ (Souza *et al.*, 2020), o que possibilita a lixiviação de Na^+ , por exemplo, para camadas de solo abaixo da zona radicular e o acúmulo de K^+ na superfície (Menegassi *et al.*, 2020).

De forma direta, a lixiviação de nitrato (NO_3^-), fosfato ($P_2O_5^-$) e potássio (K^+) para as águas subterrâneas é considerada como a maior das preocupações associadas ao reúso, uma vez que o NO_3^- pode ser facilmente lixiviado, a depender do tipo de solo, e o $P_2O_5^-$ e K^+ se movimentam em condição de saturação (Alcântara & Camargo, 2005; Qian *et al.*, 2018).

Avaliações feitas em solos de diferentes texturas e com efluentes de diversas origens indicam maior suscetibilidade à lixiviação nos solos de textura mais arenosa e com efluentes com maior concentração de nutrientes (Fan *et al.*, 2017; Qian *et al.*, 2018). O poder tampão relativamente alto combinado com a baixa condutividade hidráulica limitam a lixiviação, enquanto a baixa capacidade tampão e alta concentração de bicarbonato na água empregada na irrigação (pH alcalino) favorecem este processo (Lado *et al.*, 2012).

A presença de cargas positivas é muito maior Latossolos em razão do seu grau de intemperismo, quando comparado com solos de regiões de clima temperado. A maior capacidade adsortiva do Latossolo, resultante destas cargas positivas, é um fator que dificulta a lixiviação de NO_3^- , embora não totalmente impedida (Rajj & Camargo, 1974; Alcântara & Camargo, 2005).

A forma N- NO_3 é a mais perdida via lixiviação em relação às outras formas do nitrogênio (N- NH_4^+ , N- NO_2) também quando se aplica águas com resíduos de origem bovina, devido ser esta a forma predominante na composição da ARB (Wang *et al.*, 2019). A entrada de nitrogênio via matéria orgânica do solo (N_{org}) promove a redução da absorção pelas plantas do nitrogênio

proveniente de fontes minerais, favorecendo, conseqüentemente, a lixiviação do NO_3^- excedente (Bowman *et al.*, 2006). Entretanto, a solubilidade torna o íon mais prontamente disponível para a absorção radicular, de modo que, em um comparativo entre água residuária e fontes sólidas de nitrogênio, os níveis de NO_3^- no solo foram mais baixos com o reúso (Silva *et al.*, 2017a).

O fósforo não é tão móvel no solo quanto o NO_3^- e, portanto, muito menos suscetível à lixiviação. Bewanger *et al.* (2008) notaram incrementos de $\text{P}_{\text{disponível}}$ do solo até a profundidade de 15 cm, após 4,5 anos de aplicação de ARS, enquanto na aplicação de ARB, Erthal *et al.* (2010a) constataram aumento no $\text{P}_{\text{disponível}}$ somente até os 10 cm. As alterações no teor de fósforo disponível ($\text{P}_{\text{disponível}}$) em profundidade ocorrem consoantes às entradas em excesso e podem ser contribuídas pela aplicação de uma carga de P desbalanceada em relação ao N disponível (Qian *et al.*, 2018).

Berwanger *et al.* (2008) ressaltam que o aumento do teor de fósforo nas camadas mais profundas em decorrência do reúso pode demorar a ocorrer em solos recentemente introduzidos à esta prática e que antes eram manejados em sistema de cultivo convencional. Em razão da própria composição dos dejetos suínos, a lixiviação e a perda por escoamento superficial do fósforo são mais comuns com o reúso de ARS. Qian *et al.* (2018) observaram aumento no teor de $\text{P}_{\text{disponível}}$ nas águas subterrâneas de uma região que recebeu reúso com ARS no cultivo de arroz e aveia.

O potássio, por sua vez, não é removido nos tratamentos convencionais fazendo com que na água para o reúso possa haver concentração elevada deste nutriente. Devido o K^+ se apresentar na forma prontamente disponível na água residuária existe a possibilidade de aumentar a sua forma trocável no solo (Levy & Torrento, 1995) e de modo geral ocorre o acúmulo nas camadas mais superficiais. A elevação dos teores de K^+ foi observada com a aplicação de ARB em pastagem de Tifton 85, na qual as dosagens de 25 a 100 mg K L^{-1}

proveniente da água residuária foram suficientes para aumentar em até 200% o K^+ trocável (aproximadamente 150 mg dm^{-3}) nos primeiros 10 cm de profundidade do solo, ao fim de 8 meses de aplicação (Erthal *et al.*, 2010). No reúso da ARS em capim do gênero *Cynodon* ao longo de 4 anos, por exemplo, observou-se incrementos de até 110% no teor de K^+ na camada superficial do solo (Wang *et al.*, 2017).

A lixiviação do K^+ no solo é mais fácil de ocorrer, quando comparado com cátions de maior valência (força de adsorção: $Al^{3+} = H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$), sendo os teores de argila e de matéria orgânica importantes para a sua retenção (Menegassi *et al.*, 2020). Entretanto, diversos estudos do reúso em Latossolos Vermelho-Amarelo avaliando a interação soluto-solo para o potássio notaram valores para o fator de retardamento $fR > 1$, como para vinhaça ($fR = 1,63$; teor $2.484 \text{ mg K L}^{-1}$) e para efluente de laticínio ($2,9 < fR < 8,7$; teor $218,6 \text{ mg K L}^{-1}$) indicando baixa mobilidade do cátion e elevada probabilidade de acúmulo na camada superficial do solo (Matos *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2020).

A espécie cultivada desempenha um papel importante na remediação do solo e limitação da lixiviação, uma vez que a sua eficiência na interceptação e absorção dos nutrientes fornecidos pela água de irrigação determina a quantidade remanescente no solo. As macrófitas como a *Typha domingensis* são tradicionalmente usadas para o tratamento de efluentes por causa da sua alta eficiência de remoção de nutrientes, incluindo o fósforo (Schierano *et al.*, 2017). O gênero *Cynodon*, por sua vez, tem sido usado para a remediação de solos pelo fato de as plantas deste gênero sofrerem pouca limitação à absorção do NO_3^- face à salinidade da água de irrigação (Bowman *et al.*, 2006). O Tifton 85, por sua vez, se sobressai dentre outras cultivares do gênero *Cynodon* pela sua elevada capacidade extratora de solução de solo com alto teor de nutrientes, incluindo absorção de NO_3^- e tolerância ao Na^+ , portanto, é mais recomendado para o tratamento de solos em cultivos de pastagem ou em sistemas de leitões cultivados (Spearman *et al.*, 2020; Teixeira *et al.*, 2021).

2.3.6. Matéria orgânica do solo

Atualmente os estudos da interação entre a matéria orgânica do solo (MOS) e os resíduos de origem bovina se concentram nos resíduos incorporados na forma sólida de fertilizante orgânico ou formulações mistas. A longo prazo a aplicação continuada de fontes orgânicas diferentes, ainda que os resíduos tenham concentrações de C e N diferentes, podem resultar em uma mesma relação C/N no solo, entretanto, o resíduo bovino proporciona acúmulo de MOS mais recalcitrante e maior estímulo à atividade bacteriana (agregação) que resíduos de esgoto doméstico e fertilização mineral (Peltre *et al.*, 2017).

Em se tratando do reúso, o estado líquido do produto aplicado modifica alguns aspectos dessa dinâmica sobre a qualidade do solo e a sua estabilidade. A contribuição da ARB sobre o carbono do solo foi observada em pastagens da Nova Zelândia onde se percebeu que a irrigação escalonada com eventos de reúso de ARB favoreceu o acúmulo de COT (Manono *et al.*, 2016). A associação do reúso com operações de manejo da fertilidade como gessagem e aplicação de enxofre auxilia indiretamente na imobilização de matéria orgânica no solo pelo processo de agregação, entretanto, nenhum outro tratamento do solo é mais eficaz no aumento da MOS do que a própria incorporação de matéria orgânica, seja pelo crescimento da biomassa vegetal ou pela matéria sólida contida na água residuária (Ganjegunte *et al.*, 2019). Analogamente, as características da água residuária que são prejudiciais ao desenvolvimento vegetal, como excesso de sais e elementos fitotóxicos, impactam negativamente no estoque de matéria orgânica do solo pela redução na incorporação de biomassa (Ganjegunte *et al.*, 2019).

A contribuição do reúso para a MOS depende da sua representatividade em relação a todas as entradas de material orgânico e ao conteúdo de MOS pré-existente (Lado *et al.*, 2012). Na avaliação do reúso de efluente doméstico em cultivos perenes notou-se que os conteúdos de

C e N do solo não foram influenciados pelo efluente, mas sim pela biomassa proveniente das plantas (Leuther *et al.*, 2019).

Ao comparar solos com diferentes texturas, submetidos ao reúso de efluente doméstico por pelo menos 10 anos, Lado *et al.* (2012) notaram que a MOS foi influenciada pelo reúso de efluente somente em solo arenoso, porém sem significância, e, por isso, consideraram negligente o acréscimo de material orgânico via reúso. Num solo de textura argilosa, de fato, o reúso de ARB no cultivo consorciado de Tifton e aveia preta não alterou o teor de MOS com o tempo de aplicação (Erthal *et al.*, 2010).

A aplicação de resíduos orgânicos no solo implica na reação de processamento e posterior incorporação à MOS, podendo estimular o consumo da MOS num processo denominado efeito *priming*. Diversos fatores influenciam a microbiota do solo na ocorrência do efeito *priming*, tais como o fornecimento inicial de nutrientes, elevação da umidade do solo e deposição de substratos energéticos (Oliveira *et al.*, 2019). A intensidade deste efeito é relacionada ao estoque de carbono e nitrogênio resultante do solo e a labilidade destes compostos (Jueschke *et al.*, 2008, Erthal *et al.*, 2010a), e da presença de agentes inibidores como o sódio (Oliveira *et al.*, 2019). O efeito *priming* foi reportado por Ganjegunte *et al.* (2019) durante 3 anos de avaliação do reúso de efluente doméstico em pastagem, no qual foi observado aumento do COT no 1º ano de aplicação e decréscimo até o 3º ano para níveis inferiores ao tratamento controle irrigado com água natural. Este efeito é seguido pela estabilização da MOS aos níveis iniciais, sendo que nos solos submetidos ao reúso em longo prazo o decréscimo no COT da camada superficial com o reúso provocado pelo efeito *priming* normalmente é mascarado pela matéria orgânica que é continuamente acrescentada (Jueschke *et al.*, 2008).

2.4. CAPIM BERMUDA TIFTON 85

2.4.1. Caracterização do Tifton 85

O Tifton 85 é uma gramínea forrageira de clima tropical do gênero *Cynodon*, desenvolvido a partir do cruzamento da variedade sul africana PI 290884 (*Cynodon dactylon* L. Pers.), resistente ao ataque da *Spodoptera frugiperda*, e do Tifton 68 (*Cynodon nlemfuënsis* Vanderyst), que apresentava alto potencial nutricional. Em 1985 ocorreram experimentos com os genótipos deste cruzamento para selecionar o mais resistente ao déficit hídrico e em decorrência do ano de início destes experimentos o genótipo selecionado recebeu o nome de “capim bermuda Tifton 85” (Burton, 2001). No Brasil, os capins do gênero *Cynodon* são destinados principalmente para sistemas pecuários intensivos devido ao seu alto requerimento em fertilidade do solo para atingir elevados índices de produtividade (Silva *et al.*, 2015).

O Tifton 85 possui colmos mais espessos, folhas mais largas e de coloração verde mais escura que os híbridos de capim bermuda mais antigos e conseqüentemente é uma variedade mais vigorosa e produtiva, apresenta menos rizomas em comparação ao Tifton 44 e os seus estolões são maiores e crescem mais rapidamente (Hill *et al.*, 1993). Este capim apresenta elevado potencial de produção de matéria seca e alta digestibilidade (Oliveira *et al.*, 2000).

2.4.2. Produtividade e qualidade bromatológica da forrageira

A produtividade de massa seca é o principal parâmetro para mensurar a produção de forrageiras uma vez que uma planta com maior quantidade de massa seca representa um alimento com maior potencial energético e, portanto, resultará em maior ganho de peso do animal (Sousa *et al.*, 2009). Entretanto, a avaliação do desempenho da forrageira face ao manejo, sob o ponto de vista zootécnico, também requer a consideração de outros parâmetros como o teor de proteína bruta (PB), fibras insolúveis em detergente neutro e ácido (FDN e FDA), digestibilidade e minerais. A Tabela I. 2.2 mostra a caracterização do capim Tifton 85 sob diversas condições de cultivo.

Tabela I. 2.2. Caracterização física e bromatológica, em percentagem, do capim Bermuda Tifton 85 sob diferentes tipos de manejo.

Componente (%)	Castagnara <i>et al.</i> (2011) ^A	Quaresma <i>et al.</i> (2011) ^B	Andrade <i>et al.</i> (2012) ^C		Poczynek <i>et al.</i> (2016) ^D	Sanches <i>et al.</i> (2017) ^E	
	Sequeiro	Sequeiro	Verão	Outono	Sequeiro	Irigado	Sequeiro
Produtividade (t ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)	4,1	2,2	-	-	4,4	3,6	2,1
F/C	0,95	1,09	0,50-1,18		3,03	1,3	0,8
Bromatológica	%						
Proteína bruta	12,16	10,50	23,45	20,26	17,13	16,1	14,1
FDN	86,00	82,50	77,37	82,80	69,42	75,8	78,5
FDA	42,19	44,37	-	-	32,58	35,4	37,4
DigIV	-	-	-	-	-	84,0	82,7
MM	-	-	7,39	6,47	-	-	-
Nutr.digest.totais	-	-	56,41	71,34	-	-	-

A – cultivo convencional para fenação; B – adubado com 120 kg N ha⁻¹; C – fertirrigado (600 kg N ha⁻¹ano⁻¹, 770 kg K₂O ha⁻¹ ano⁻¹e 68 kg P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D – solteiro, ao longo do verão e outono, estrato superior aos 12 cm de altura; E – média de 7 ciclos de corte ao longo de 197 dias.

A produtividade do Tifton 85 é sensível ao tempo de rebrota, as condições climáticas e a disponibilidade de nutrientes. Normalmente no verão a produtividade do Tifton 85 com 28 dias de rebrota varia de 13,2 a 15,5 t ha⁻¹, enquanto no inverno varia de 4,7 a 5,2 t ha⁻¹, podendo representar 22% menos fitomassa produzida anualmente em relação à rebrota de 42 dias (Pequeno *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2015). Durante o inverno, o Tifton 85 responde com queda na produtividade, na massa de folhas, de colmos e de material morto, em contrapartida, aumenta a sua relação folha/colmo (Marchesan *et al.*, 2013).

Na comparação entre espécies do gênero *Cynodon* (Jiggs e Vaquero), a produção anual de matéria seca do Tifton 85 é semelhante aos demais capins nos tempos de rebrota mais curtos (até 28 dias) e é inferior ao capim Jiggs quando a rebrota é estendida devido às diferenças de eficiência fotossintética das espécies durante o inverno (Silva *et al.*, 2015). Quando comparado com as forrageiras do gênero *Brachiaria*, o Tifton 85 tem produtividades semelhantes em resposta às variações de adubação nitrogenada e de intervalos de rebrota (Queiroz *et al.*, 2012).

Diferente da tendência de acúmulo de massa seca com a maturidade, o teor de proteína bruta e a capacidade de rebrota do capim são inversamente proporcionais à idade da forragem (Pequeno *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2015). Os teores de proteína bruta do Tifton 85 são bastante variáveis em função do manejo (fertilidade, irrigação, reúso), da estação do ano e do ciclo de pastejo ou cortes, podendo ocorrer valores entre 4,6 e 23,45% (Alvim *et al.*, 1999; Andrade *et al.*, 2012).

No que se refere às fibras, durante o pastejo contínuo os constituintes da parede celular (FDN e hemicelulose) são mais sensíveis aos estímulos ambientais provocados no decorrer da estação e o a acumulação destes constituintes ocorre principalmente nas folhas, enquanto as FDA são mais sensíveis ao tipo de manejo (Marchesan *et al.*, 2013). O avanço da maturidade da forrageira durante a estação chuvosa favorecem o alongamento de colmos, que contém maior quantidade de componentes de parede celular, enquanto o retardo na acumulação de fitomassa na estação seca propicia a redução no conteúdo de FDN e FDA devido a maior produção de folhas para compensar a baixa eficiência fotossintética da forrageira nestas condições climáticas (Pequeno *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2015). O teor de FDA é considerado um indicador da digestibilidade da forragem.

A representação dos minerais contidos na constituição da forragem é dada pela matéria mineral (MM), que é constituída pelo material inorgânico residual da queima da fitomassa convertido em CO₂, H₂O e NO₂ e eliminado em conjunto com as substâncias voláteis decompostas pelo calor (Souza *et al.*, 2017). A MM é variável conforme a disponibilidade de nutrientes para a planta é cumulativo com o tempo e se distribui em quantidades diferentes nos órgãos da planta, tendo sido observados valores entre 6,47% e 7,39% no verão e outono, respectivamente (Andrade *et al.*, 2012), e na média de 7,0% nos colmos e 8,9% nas folhas (Serafim *et al.*, 2021).

2.4.3. Sazonalidade da produção e resposta à irrigação

O Tifton 85 apresenta picos na taxa de assimilação fotossintética (TAF) ao longo do ano, com valores em torno de $140 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ em matéria seca (MS) para o verão e $122 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para o outono (Andrade *et al.*, 2012). O desempenho do Tifton 85 no inverno corresponde a em torno 78% da produtividade no verão, sendo este valor médio comum em capins da mesma família, como o *Coastcross* (*Cynodon dactylon*) e o Jiggs (Silva *et al.*, 2015; Menegassi *et al.*, 2020), e em forrageiras de outros gêneros como a *Brachiaria brizanta* cv. Xaraes (Cunha *et al.*, 2012). A sazonalidade é inevitável, entretanto, não se traduz necessariamente em baixa produtividade anual.

As estações do ano influenciam sobre o desenvolvimento do Tifton 85 e sobre as respostas da espécie ao manejo, em que tanto a irrigação quanto a adubação da cultura incrementam mais expressivamente a produtividade no verão (Gomes *et al.*, 2015). Ainda que com menor intensidade no inverno, quando irrigado e em solo com fertilidade corrigida, o capim pode alcançar capacidade de suporte de $8,8 \text{ UA ha}^{-1}$, sendo esta unidade de animais (UA) considerada mais elevada que a maioria dos sistemas de produção a pasto no Brasil (Aguilar *et al.*, 2006).

A irrigação do Tifton 85 é capaz de aumentar a produção da forragem ao longo do ano dado que a espécie depende da água para responder à adubação nitrogenada, entretanto, não elimina totalmente os efeitos da sazonalidade climática (Aguilar *et al.*, 2006). Pequeno *et al.* (2015) notaram aumento de 11,6% da produtividade anual do Tifton 85 devido à irrigação, sendo menor quando comparado com variedades do gênero *Brachiaria* (Marandu 24,7% e Convert HD 364 19%), e associaram este desempenho à maior sensibilidade da espécie ao fotoperíodo.

Sob tensão de água no solo de 35 kPa, a eficiência de uso do nitrogênio é linear em função da adubação, enquanto sob tensões mais elevadas (60 a 500 kPa) o Tifton 85 responde exponencialmente ou em forma quadrática (Marcelino *et al.*, 2003). Analogamente, a eficiência

de uso do nitrogênio pelo Tifton 85 também tem tendência quadrática e é favorecida pela água disponível no solo, sendo que a dose para máxima eficiência de uso do nitrogênio pela forrageira quando irrigada é de aproximadamente 78,6 kg N ha⁻¹ e em sequeiro a dose é necessária é 103,4 kg N ha⁻¹ (Sanches *et al.*, 2017).

2.5. TIFTON 85 SOB ADUBAÇÃO CONVENCIONAL E REÚSO

Dentre os macronutrientes principais, o nitrogênio é o que interfere mais intensamente nos parâmetros de produtividade e bromatológicos da forrageira, tais como teores de proteína bruta (PB), fibras em detergente neutro (FDN), e digestibilidade *in vitro* (digIV). Normalmente, o teor de fibras em detergente ácido (FDA) não é influenciado pela adubação, sendo alterado conforme a disponibilidade hídrica (Quaresma *et al.*, 2011). Segundo Quaresma *et al.* (2011) para Tifton 85 em sequeiro, há também uma resposta linear de aumento de PB (9,5 – 11,8%) e de redução da FDN (83,0 – 79,6%), para doses crescentes de nitrogênio (0 kg N ha⁻¹corte⁻¹ a 60 kg N ha⁻¹corte⁻¹) e, conforme os resultados de Haby *et al.* (2008), para um amplo espectro de doses de adubação potássica (0, 150, 300 e 450 kg K ha⁻¹) ocorre uma resposta linear sobre a PB.

A importância da irrigação e da adubação no desempenho do Tifton 85 tem sido estudada em sistemas de produção de pastagem, tendo como foco principal os efeitos da combinação da irrigação com o nitrogênio. Os fatores climáticos como temperatura média do ar, incidência de radiação solar e precipitação, interferem nos aspectos morfológicos da espécie, podendo eventualmente ter efeito mais expressivo que o da irrigação (Sanches *et al.*, 2017). A fertilidade do solo, por outro lado, pode potencializar os efeitos da irrigação frente às variações climáticas (Gomes *et al.*, 2015).

A irrigação favorece a produtividade do Tifton 85, que pode atingir até 74% mais matéria seca em relação ao manejo em sequeiro (Sanches *et al.*, 2017), sendo que a irrigação pode potencializar o efeito da adubação em até 50% sobre a produtividade (Gomes *et al.*, 2015). Em adição, com o suprimento adequado de água no solo o Tifton 85 expressa melhor qualidade bromatológica por meio da maior produção de folhas verdes em relação a produção de colmo, maior relação folha/colmo, menor teor de fibras insolúveis em detergente ácido (FDA), resultando na melhoria da digestibilidade, e por meio do aumento da capacidade de extração radicular, com elevação do teor de proteína bruta (PB) e de minerais na constituição da forragem, e conseqüente elevação do valor nutricional (Erthal *et al.*, 2010b; Sanches *et al.*, 2017).

O reúso proporciona o fornecimento de nutrientes e pode substituir parcial ou totalmente a adubação mineral, a depender da composição da água residuária empregada. O reúso aplicado ao Tifton 85 de forma continuada disponibiliza gradualmente os nutrientes do solo de modo que o ganho em produtividade passa a ser pronunciado após pelo menos um ano de prática (Fonseca *et al.*, 2007). Esse fato possivelmente é explicado pelo tempo de mineralização dos nutrientes e da matéria orgânica contidos nas águas de reúso (Oliveira *et al.*, 2019).

Para outras espécies do gênero *Cynodon* a resposta pode ser um pouco mais rápida, como a observada em um estudo com reúso de efluente de abatedouro no qual foi notada maior produtividade do capim Vaquero (*Cynodon dactylon*) desde o primeiro ciclo de corte independente da taxa de aplicação. Nesse experimento, até a menor dose ($225 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) já foi suficiente para atender à demanda nutricional da planta, aumentando em duas vezes a capacidade de suporte da pastagem (Silva *et al.*, 2018). Ressalva-se que o objetivo central da forragicultura é atender às necessidades energéticas e proteicas da dieta animal e, portanto, a qualidade nutricional da pastagem, por vezes, é mais importante do que a própria capacidade

produtiva dela, pois pastagens altamente produtivas e de baixa qualidade nutricional não atendem plenamente tais necessidades (Marchesan *et al.*, 2013).

As respostas na produtividade e na qualidade bromatológica do Tifton 85 são relacionadas ao aporte nutricional da água residuária e do status hídrico do solo. Apesar disso, os mecanismos fisiológicos de troca gasosa e acúmulo de clorofila nos tecidos da espécie não sofrem interferência da qualidade da água do reúso, ainda que o reúso forneça nutrientes em quantidade acima da recomendada (Erthal *et al.*, 2010b). De todo modo, é importante ajustar às doses do reúso consoante a necessidade de adubação e a composição química da água residuária, e ainda compreender as associações de manejos que favoreçam a extração dos nutrientes adicionados ao solo. Analisando o Tifton 85 como uma espécie fitorremediadora, a quantidade de cortes a que a pastagem é submetida ao longo do ano estimula não só a remoção de nutrientes do solo e como também a translocação destes nutrientes das raízes até as folhas (Wang *et al.*, 2017).

O reúso com o Tifton 85 pode ser justificado tendo como base a capacidade da espécie em mobilizar os nutrientes excedentes e outros elementos para as raízes e outros órgãos de reserva de forma similar ao que ocorre em condições ambientais adversas, indicando eficiência na imobilização (Santos *et al.*, 2016). O Tifton 85 é tolerante ao sódio, podendo receber cargas de até 1.200 kg Na ha⁻¹ano⁻¹, acumular o elemento na fitomassa e ainda garantir produtividade e qualidade nutricional semelhantes aos sistemas convencionais (Sousa *et al.*, 2009), com a ressalva de que a partir de uma carga de 965 kg Na ha⁻¹ano⁻¹ ocorre a limitação da concentração de nutrientes na fitomassa da forrageira, como N, P, Ca e Mg (Oliveira *et al.*, 2019). No caso do reúso de uma água residuária rica em nitrato, é recomendada a análise em cada lote cortado para fenação ou previamente a liberação para o pastejo (Spearman *et al.*, 2020) para certificar que os níveis de NO₃⁻ na forragem de Tifton 85 não ultrapassem o limite para o risco de

intoxicação igual a 0,44%_{MS} para vacas gestantes ou de 1,5% _{MS} para bovinos em geral (Collins & Hannaway, 2003).

Uma vez fixados na biomassa, os nutrientes e outros elementos tomam lugar na composição bromatológica e que resulta em benefícios sob o ponto de vista da qualidade do produto vegetal. Em geral, a adição combinada de água e resíduos orgânicos tem influência nos teores de proteína bruta (PB) já na primeira aplicação (Schwantes *et al.*, 2017). A resposta do Tifton 85 ao aumento da carga aplicada no reúso sobre a absorção de nitrogênio na fitomassa é quadrático (Teixeira *et al.*, 2021) enquanto quase sempre o acúmulo de PB é linear e positivo (Vielmo *et al.*, 2011). Consoante com cada contexto (solo, clima, sistema de pastejo, intervalos de rebrota), o reúso pode proporcionar teores de PB entre 14,0% e 16,7% quando sob condições ambientais e de umidade do solo típicas do inverno no Bioma Cerrado (Sanches *et al.*, 2016; Gonçalves *et al.*, 2018) a 21,2% quando no verão (Spearman *et al.*, 2020).

O aumento da produtividade da biomassa promovido pelo reúso provoca a diluição dos componentes bromatológicos, sobretudo as fibras (FDN), e com isso a forrageira produzida normalmente apresenta melhor digestibilidade (Vielmo *et al.*, 2011). De maneira análoga, as fibras FDA também sofrem o fator de diluição, entretanto, são influenciadas mais intensamente pelo estímulo ambiental das estações do ano, ou seja, luminosidade e temperatura (Medeiros *et al.*, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em condições de campo no período de 29/05 à 12/09/2020 (inverno), na propriedade denominada Fazenda Capoeira, em Gameleira de Goiás-GO, em uma área de pastagem localizada nas coordenadas geográficas 16°24'41,9" S e 48°47'53,9" W, altitude média de 980 m (Figura I. 3.1). O clima da região é do tipo Aw (Köppen-Geiger) – Tropical com inverno seco, temperatura média anual de 22,8 °C e precipitação anual de 1545 mm (Álvares *et al.*, 2013).

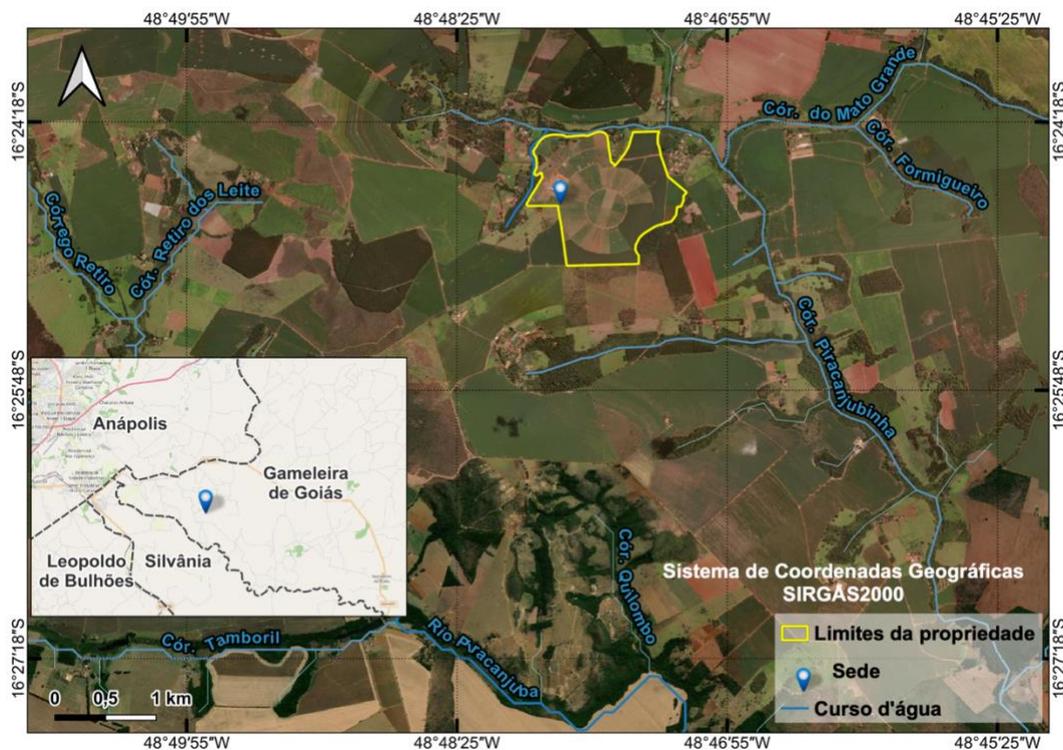


Figura I. 3.1. Localização da Fazenda Capoeira. Ortofotomapa WMS do Google Satellite.

O solo é classificado como Oxisol (Soil Survey Staff, 2014), Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico de acordo com Classificação Brasileira de Solo (SANTOS *et al.*, 2018). Este solo apresenta textura argilosa (51% argila, 43% areia, 6% silte) e densidade do solo a variar entre

1,25 a 1,46 g cm⁻³ ao longo do perfil. As características físico-químicas do solo no início do experimento foram determinadas de acordo com Teixeira *et al.* (2017a) (Tabela I. 3.1).

Tabela I. 3.1. Características físico-químicas do solo da área no início do experimento em diferentes profundidades.

Características químicas (camada 0-0,2 m)								
P	K	Ca	Mg	Al	CTC _{efetiva}	CTC _{pH7,0}	pH	MOS
mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					%
9,2	0,1	7,0	2,6	0,1	8,8	14,1	5,6	6,6
S	Fe	Mn	Zn	Cu	V			
mg dm ⁻³								
0,1	152	115	6,4	0,5	58,5			

Média de 5 amostras simples. Características físicas seguidas pela mesma letra minúscula iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (5% probabilidade).

Durante o experimento não houve registros de precipitação, portanto, a única entrada de água no solo foi via irrigação. A 200 m do local do experimento foi instalada uma mini-estação meteorológica composta essencialmente por: uma placa microcontroladora Arduino, um termohigrômetro digital (DHT22), um módulo para cartão micro SD, uma fonte alimentadora de 12V ligada na rede de eletricidade, e uma bateria nobreak para alimentação da placa microcontroladora durante eventuais quedas de energia da propriedade. A mini-estação foi abrigada em uma estrutura composta por um tubo de PVC DN200 com furos de 4,0 cm de diâmetro revestidos internamente com tela de nylon tipo “mosquiteiro” (16 x 16, fio 31) para permitir o contato do sensor com a atmosfera. O tubo utilizado possuía comprimento igual a 0,50 m, teve as extremidades superior e inferior vedadas com um “cap” de PVC, e foi instalado em um poste a 2,0 m de altura. O registro da temperatura e umidade relativa do ar foi feito em intervalos de 15 minutos e armazenados em cartão de memória micro SD.

Foi registrada a temperatura do ar, que variou entre 19 e 22 °C, com máxima de 32 °C e mínima de 10 °C. A evapotranspiração de referência (ET_o) diária foi estimada pela equação de Hargreaves-Samani (Equação I. 1 – Allen *et al.*, 1998) e multiplicada por 0,76 ao considerar

que, para a região de Goiânia-GO, este modelo superestima a $ET_{O_{Penman-Monteith}}$ média diária em 24% nos meses secos (abril-setembro) (Oliveira *et al.*, 2005).

$$ET_o = 0,0135 \cdot k_T \cdot R_a \sqrt{T_{Máx} - T_{Mín} \cdot (T_a - 17,8)} \quad \text{Equação I. 1}$$

Sendo: ET_o : Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); k_T : coeficiente de ajuste da radiação solar ($k_T = 0,17 \text{ } ^\circ\text{C}^{-0,5}$); $T_{Máx}$: temperatura máxima diária ($^\circ\text{C}$); $T_{Mín}$: temperatura mínima diária ($^\circ\text{C}$) e T_a : temperatura média diária ($^\circ\text{C}$), R_a : radiação solar global (W m^{-2}).

Dessa forma, considerou-se o $K_c = 1,0$ (Allen *et al.*, 1998) e obteve-se a ET_P para o Tifton 85 acumulada para o período equivalente a uma lâmina de 476,5 mm.

A Figura I. 3.2 apresenta o resumo das variáveis climáticas monitoradas ao longo do experimento.

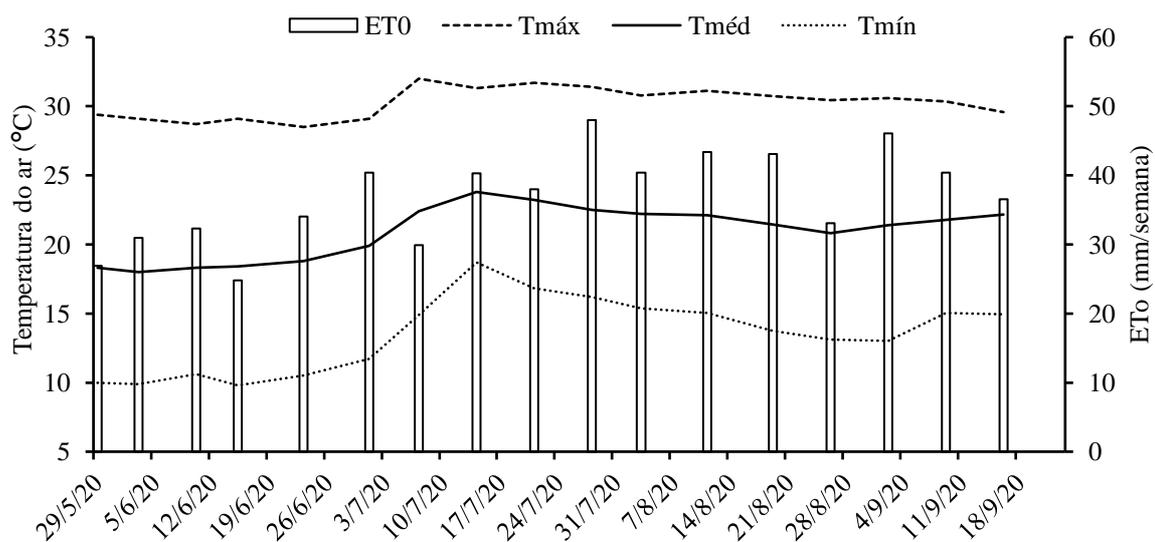


Figura I. 3.2. Temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin) e evapotranspiração de referência acumulada (ETo) do experimento no período de 29 de maio e 16 de setembro de 2020 (Fazenda Capoeira, Gameleira de Goiás/GO).

3.2. HISTÓRICO DE MANEJO DOS ANIMAIS E DA PASTAGEM

O manejo dos animais na Fazenda Capoeira era conduzido em sistema intensivo, sendo que as vacas eram mantidas em piquetes com pastagem de Tifton 85 durante todo o ano. Em

função a sazonalidade na oferta da forragem, os animais também recebiam ração (silagem, bagaço de laranja, farelo de soja, ureia) como suplementação da dieta.

No local (piquete) utilizado no experimento, a pastagem com capim Tifton 85 foi introduzida no primeiro semestre de 2015, e vinha sendo lotado com 8 U.A. ha⁻¹ com um a dois dias de permanência e intervalos de 18 a 25 dias de rebrota.

A aplicação de adubação na pastagem era realizada na rebrota do Tifton 85 logo após a retirada dos animais da área. Ao longo dos anos a pastagem recebeu adubação nitrogenada, potássica e calagem conforme o histórico apresentado na Tabela I. 3.2. A partir de 14 de março de 2019 e até o início do experimento, não foi mais realizada aplicação de nenhum tipo de adubação.

Tabela I. 3.2. Histórico de aplicação de produtos químicos ao solo da área experimental na Fazenda Capoeira.

Período	Produto	Nº de aplicações	Total aplicado (kg ha ⁻¹)
17/11 a 01/12/15	N.P.K 30.00.20	2	480
23/01 a 15/12/16	N.P.K 30.00.20	5	1.120
04/01 a 21/04/17	N.P.K 30.00.20	5	1.120
22/12/17	Ureia	1	160
10/01 a 12/12/18	Ureia	7	1.200
04/01 a 14/04/19	Ureia	5	1.040
15/01/19	Gesso agrícola	1	2.410
15/01/19	Calcário	1	2.410

Fonte: Fazenda Capoeira Ltda, Gameleira de Goiás, GO

3.3. ORIGEM DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA (ARB) E ÁGUA DE CÓRREGO (Ac) APLICADAS NA PASTAGEM

A ARB proveniente da limpeza da casa de ordenha, curral de espera e pista de trato dos animais era composta por água, fezes, urina, secreções e detergente. A rotina destas instalações incluiu o trato, inspeção veterinária e ordenha de vacas em lactação (2 vezes dia⁻¹), trato e

inspeção de vacas secas (1 vez dia⁻¹), e inspeção de bezerras (1 vez semana⁻¹). A água utilizada nas atividades descrita acima era captada em poço artesiano.

O rebanho na época em que o experimento foi conduzido era composto por 900 vacas em lactação, 190 vacas secas, e 580 novilhas e bezerras. Estimou-se que na propriedade eram produzidos 10 L de efluente para cada vez que uma vaca era ordenhada, totalizando o equivalente a 18.000 L dia⁻¹.

Após a sua geração, a ARB passava por um separador de sólidos grosseiros. O tratamento primário ocorreu em lagoas de estabilização composto por duas lagoas anaeróbias e uma lagoa facultativa de onde a ARB era captada e conduzida até um reservatório para posterior uso na irrigação da pastagem Figura I. 3.3. Com base na redução do conteúdo de matéria orgânica da ARB após a passagem pelo sistema de tratamento utilizado na fazenda, estima-se que a eficiência média de remoção de DBO era de 86%.

A ARB da terceira e última lagoa do sistema (facultativa) era conduzida por gravidade para um reservatório escavado com capacidade de 15 m³ (Figura I. 3.3) e impermeabilizado com lona plástica. A partir dele, a ARB era bombeada para a irrigação conforme os tratamentos correspondentes.

A água de córrego (Ac) era derivada de um afluente do Córrego Piracanjubinha por gravidade em um canal artificial até um reservatório escavado no solo, com capacidade de 15 m³ e sem impermeabilização (Figura I. 3.3).

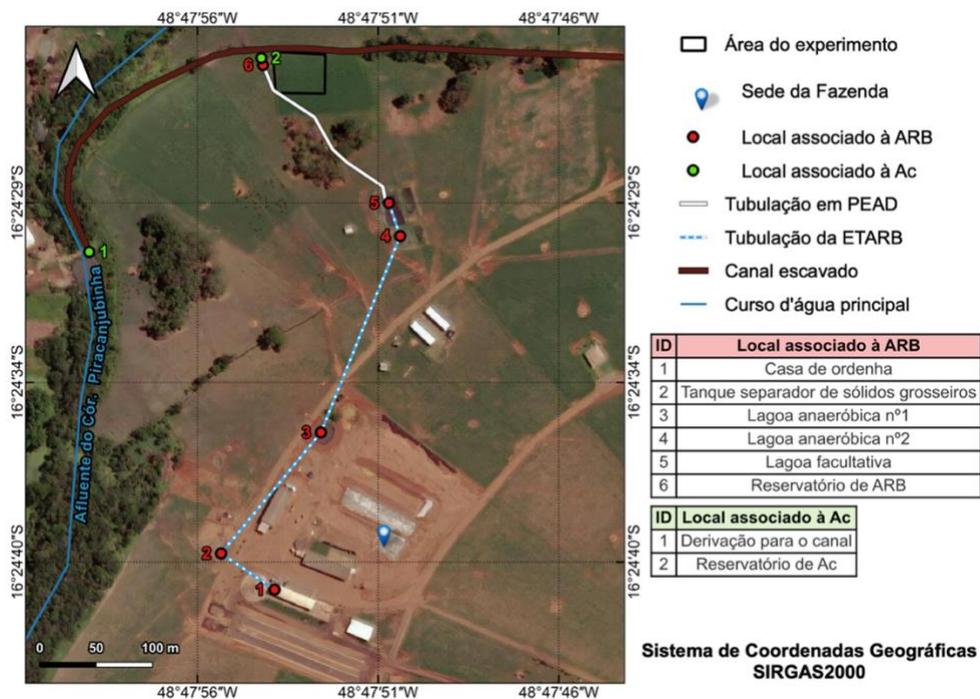


Figura I. 3.3. Visualização da casa de ordenha, sistema de tratamento da ARB, reservatórios de ARB e Ac, local do experimento e sistema de hidráulico de condução da ARB e Ac.

3.4. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial, com dois fatores (tipo de água de irrigação x adubação), com 4 repetições (

Tabela I. 3.3). A pesquisa de campo ocorreu ao longo dos meses de junho, julho, agosto e primeira semana de setembro (estação seca), (29/05 a 12/09/2020), contemplando um ciclo de rebrota do capim Tifton 85. Cada parcela experimental possuía dimensão de 6,0 m x 6,0 m (36,0 m²), sendo considerada uma bordadura de 1,5 m de largura (Figura I. 3.4).

Tabela I. 3.3. Descrição dos tratamentos contemplando tipo de água de irrigação e adubação mineral nitrogenada.

Tratamentos	Adubação nitrogenada (kg N ha ⁻¹)	Descrição
I-0 (Ac)	0	Irrigação com Ac, sem adubação nitrogenada
I-45 (Ac45)	45	Irrigação com Ac, com adubação nitrogenada
II-0 (ARB+Ac)	0	Irrigação com ARB e Ac (1:1), sem adubação nitrogenada
II-45 (ARB+Ac45)	45	Irrigação com ARB e Ac (1:1), com adubação nitrogenada
III-0 (ARB)	0	Irrigação com ARB, sem adubação nitrogenada
III-45 (ARB45)	45	Irrigação com ARB, com adubação nitrogenada

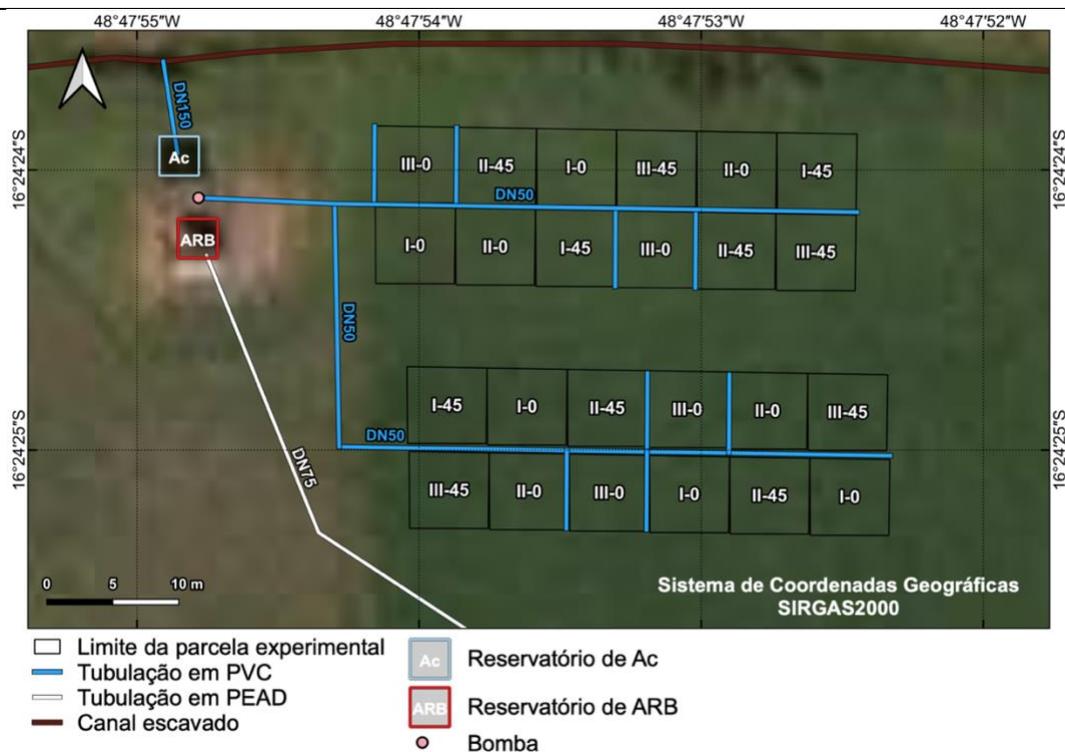


Figura I. 3.4. Disposição dos tratamentos e do sistema hidráulico para a irrigação na área experimental.

A Fazenda Capoeira possui 85 ha de pastagem de Tifton 85 dividida em piquetes. O reúso da ARB rotineiramente é realizado durante a rebrota e atende apenas 1/3 da área devido à capacidade do sistema de irrigação disponível, o que permitiu instalar o experimento em um dos piquetes que nunca havia recebido ARB. Assim, foi possível observar de maneira mais efetiva os efeitos dos tratamentos.

Para a instalação do experimento, a pastagem foi roçada a 8 cm de altura e instalada uma cerca elétrica provisória para restringir o acesso de animais (vacas e bezerros) na área. A aplicação de ureia, realizada à lanço, foi feita nas parcelas conforme os tratamentos, em uma única aplicação. A dose de nitrogênio aplicada ($45 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$, equivalente a $600 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi assim definida fim de avaliar se esta quantidade de adubação nitrogenada, atualmente adotada na propriedade, é necessária para o cenário do reúso, no inverno.

Foi instalada uma bateria de tensiômetros em cada bloco experimental, composta por um tensiômetro posicionado a 0,15 m de profundidade no perfil solo e outro aos 0,30 m, de modo a representar a tensão nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, respectivamente. A leitura da tensão de água do solo foi realizada antes de cada evento de irrigação, conforme a Tabela I. 3.5 do item 3.6.1.

O turno de rega foi de 7 dias, conforme a

Tabela I. 3.4, sendo este intervalo devido às limitações de logística e de disponibilidade de mão de obra impostas pela pandemia de Sars-Cov-2. A lâmina total aplicada foi limitada pela composição da ARB, constituída por um elevado teor de potássio (vide item 3.8). Ao total foram aplicados $2.442 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (244,16 mm), equivalente a 42% da evapotranspiração potencial estimada para o Tifton 85, tendo sido aplicada a mesma lâmina em todos os tratamentos.

Tabela I. 3.4. Quantidade da ARB, Ac e ARB+Ac aplicadas por aspersão convencional no capim Tifton 85.

Data	Período (dias)	Lâmina (mm)	Data	Período (dias)	Lâmina (mm)
29/05/2020	0	6,72	21/07/2020	53	26,88
03/06/2020	5	6,72	28/07/2020	60	6,72
10/06/2020	12	6,72	03/08/2020	66	26,88
17/06/2020	19	6,72	11/08/2020	74	13,44
23/06/2020	25	13,44	19/08/2020	82	26,88
01/07/2020	33	13,44	26/08/2020	89	26,88
07/07/2020	39	8,96	02/09/2020	96	13,44
14/07/2020	46	13,44	09/09/2020	103	26,88
Total					244,16

A interrupção das aplicações de ARB e Ac ocorreu quando 70% das parcelas apresentavam 30 cm de altura ou com pré-emissão de panículas (início do florescimento), considerado por Comastri Filho & Pott (1982) como o momento ideal para o corte de gramíneas prostradas, o que ocorreu aos 103 dias após o início do experimento.

Aos 113 dias do início do experimento foi feita a coleta das amostras de solo e de forragem conforme os procedimentos descritos no item 3.8.

O Anexo I.1 apresenta o relatório fotográfico deste experimento.

3.5. SISTEMA HIDRÁULICO PARA APLICAÇÃO DA ARB e Ac NA PASTAGEM

A ARB e a Ac foram aplicadas na pastagem por meio de um sistema de irrigação por aspersão convencional composto por aspersores setoriais, com operação em 90°, bocal de 4,0 mm, pressão de serviço de 25 m.c.a. e vazão 0,99 m³ h⁻¹, com o auxílio de motobomba centrífuga de 3 cv. A disposição dos emissores proporcionava a sobreposição da lâmina de quatro aspersores em cada parcela experimental e a intensidade de precipitação resultante média era 27,8 mm h⁻¹ (CUC = 68,3%; obtido em ensaio de uniformidade *in loco*).

A operação da irrigação era realizada em um tratamento por vez, iniciando sempre nas parcelas cujos tratamentos previam a aplicação de 100% de ARB (III), em seguida pela aplicação nos tratamentos com mistura de ARB e Ac (II), e finalizando nos tratamentos com Ac (I). Esta sequência foi definida para que a transição da ARB para a Ac durante o uso do sistema removesse as impurezas da tubulação e minimizasse a aplicação de resíduos da ARB nas parcelas que receberiam somente Ac.

O tempo de aplicação foi limitado pela disponibilidade de mão de obra para as tarefas de acionamento e manutenção do sistema de irrigação, que possibilitou realizar um evento de rega semanal com duração de 15 min a 1 h e que resultou nas lâminas apresentadas na Tabela I. 3.4.

Estas limitações se referem à ausência de equipe de campo devido às exigências sanitárias de isolamento durante a pandemia do Sars-Cov-2.

3.6. PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Previamente à instalação do experimento foi realizada a coleta de amostras indeformadas de solo para a caracterização física do solo. A amostragem ocorreu em duas ocasiões, sendo que a 1ª amostragem teve como foco obter a curva de retenção de água do solo, e a 2ª amostragem a determinação porosidade e densidade específica do solo em diferentes profundidades.

3.6.1. Curva de retenção de água do solo

As amostras de solo foram suavemente niveladas dentro do anel volumétrico após a coleta, sendo que se descartou aquelas que continham trincas visíveis ou algum material rígido que tenha causado abalo na estrutura do solo com a sua remoção. Após o nivelamento, foram selecionadas 3 amostras para representação da camada mais superficial do solo (0-0,20 m) e 3 amostras para a camada mais profunda (0,20-0,40 m).

Para determinação da curva, as amostras indeformadas foram inicialmente saturadas e submetidas às tensões matriciais (Ψ_m) de 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200 e 300 kPa no extrator de Richards (Teixeira *et al.*, 2017). As amostras eram pesadas em balança de precisão (0,001g), após verificação de estabilidade de sua massa, previamente a cada aumento de tensão para determinação da umidade pelo método gravimétrico.

Após este procedimento, as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 h para retirada da umidade residual e determinação da massa de solo seco. Então, foi determinada a densidade do solo (d_s) pela relação massa/volume média das amostras.

As umidades foram calculadas em base de volume conforme a Equação I. 2:

$$\theta = U \cdot ds \quad \text{Equação I. 2}$$

Sendo: θ : umidade volumétrica ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$); U : umidade gravimétrica (g g^{-1}); e ds : densidade do solo (g cm^{-3}).

Os pares de pontos $\theta \times \Psi_m$ foram ajustados ao modelo de Van Genuchten (1980), com o intuito de relacionar os dados de potencial matricial (Ψ_m) medidos ao longo do tempo por meio dos tensiômetros em dados de umidade volumétrica.

O ajuste ao modelo de Van Genuchten foi efetuado com os valores médios entre as profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m. Após a determinação dos parâmetros, em que a umidade do solo saturado obtida foi $\theta_s = 0,5281 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ e a umidade do solo residual $\theta_r = 0,1102 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$, a curva de retenção de água do solo da área experimental foi, então, definida por:

$$\theta = 0,1102 + \frac{0,4179}{[1 + (68,684 \cdot |\Psi_m|)^{1,0941}]^{0,086}} \quad \text{Equação I. 3}$$

A partir da Equação I. 3 obteve-se as respectivas umidades na capacidade de campo e ponto de murcha permanente, $\theta_{CC} = 31,4\%$ (definida para a tensão de 30 kPa) e $\theta_{PMP} = 25,1\%$ (definida para a tensão de 1500 kPa) (Bernardo *et al.*, 2019), a partir das quais foi possível determinar a capacidade de água disponível do solo (CAD) igual a 71,58 mm, para uma camada de espessura de 1,0 m ($\text{CAD}_{1,0\text{m}}$) e igual a 28,63 mm para uma camada de 0,4 m de espessura ($\text{CAD}_{0,4\text{m}}$).

Com base na média das leituras dos pares de tensiômetros instalados nos blocos à profundidade de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, calculou-se a quantidade de água armazenada no solo antes de cada evento de irrigação. As umidades do solo previamente à aplicação variaram entre 30,5 e 32,4%, sendo que as umidades das camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m foram similares ao longo do experimento.

A partir da água presente no solo, estimou-se a quantidade de água armazenada imediatamente após cada evento de irrigação pela soma entre o volume existente e o aplicado pelo sistema de irrigação. Uma regressão linear simples da lâmina de irrigação efetiva (80% da lâmina aplicada) X água armazenada após uma irrigação foi feita para o preenchimento da ausência de medições in loco, ou seja, nas datas em que não foi possível medir as tensões de água do solo, a água disponível (AD) após a aplicação foi estimada pela relação linear descrita pela Equação I. 4 ($R^2 = 0,994$):

$$AD \text{ (mm)} = 1,0746 \cdot \text{Lâmina de Irrigação efetiva} + 11,191 \quad \text{Equação I. 4}$$

Ao longo do experimento, o percentual médio de água disponível no solo após os eventos de irrigação em relação à $CAD_{0,4m}$ foi de 73% na primeira metade do período do experimento (29/5 a 14/7) e de 143% na segunda metade do período do experimento (21/7 a 09/9), e 93% quando considerado o período total de 103 dias.

A Tabela I. 3.5 apresenta a evolução da quantidade de água disponível no solo durante a condução do experimento.

Tabela I. 3.5. Água disponível no solo (AD) obtida indiretamente pela média da tensão de água no solo nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m e água disponível após a aplicação de ARB, Ac ou Ac+ARB ao longo do experimento.

Data	Profundidade (cm)	Potencial matricial (kPa)	θ ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)	Volume armazenado (mm)		AD após aplicação (mm)**
				Por camada	Total para a profundidade de 0,40 m*	
29/05	0-20	-	-	-	-	16,86**
	20-40	-	-	-	-	
03/06	0-20	51,99	0,311	5,92	11,31	16,68
	20-40	69,33	0,305	5,39		
10/06	0-20	-	-	-	-	16,86**
	20-40	-	-	-		
17/06	0-20	-	-	-	-	16,86**
	20-40	-	-	-		
23/06	0-20	-	-	-	-	22,57**
	20-40	-	-	-		
01/07	0-20	-	-	-	11,94	22,69
	20-40	50,66	0,311	5,97		
07/07	0-20	54,22	0,310	5,84	11,38	18,55
	20-40	63,99	0,307	5,53		
14/07	0-20	65,33	0,306	5,50	10,96	21,71
	20-40	66,66	0,306	5,46		
21/07	0-20	47,55	0,312	6,09	12,87	34,37***
	20-40	33,33	0,319	6,78		
28/07	0-20	48,88	0,312	6,04	12,46	17,84
	20-40	40,00	0,316	6,42		
03/08	0-20	35,33	0,318	6,66	12,40	33,91***
	20-40	57,33	0,309	5,74		
11/08	0-20	29,77	0,321	7,00	13,36	24,11
	20-40	41,33	0,315	6,36		
19/08	0-20	53,33	0,310	5,87	11,75	33,25***
	20-40	-	-	-		
25/08	0-20	28,00	0,323	7,12	14,34	35,85***
	20-40	26,66	0,324	7,22		
02/09	0-20	51,99	0,311	5,92	11,31	22,07
	20-40	69,33	0,305	5,39		

*Referente à profundidade total de 0,4 m. Na ausência de leitura de um dos tensiômetros, estimou-se o volume armazenado total como sendo 2 vezes a leitura do tensiômetro disponível.

** Na ausência de leitura em ambos os tensiômetros, a água disponível no solo após a aplicação foi estimada pela Equação I. 4.

*** $CAD_{0,4m} = 28,63$ mm, portanto, supõe-se que a umidade excedente tenha percolado abaixo da camada de solo tomada como referência (0,40 m).

3.6.2. Densidade do solo e porosidade total em profundidade

A determinação da densidade do solo e porosidade total em profundidade (Teixeira *et al.*, 2017) foi necessária para a determinação dos estoques de nutrientes que estão descritos no item 3.9.2. Para esta caracterização procedeu-se a coleta de amostras no início da instalação do experimento. Foram coletadas 2 amostras indeformadas em cada um dos blocos, para cada uma das seguintes profundidades: 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m.

Apesar do pastejo do gado, a densidade de solo na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 (Tabela I. 3.6.) foi inferior ao observado em estudos semelhantes com pastagens degradadas, que eram em torno de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ (Borges *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2017b).

Tabela I. 3.6. Propriedades físicas do solo no início do experimento*.

Profundidade (m)	ds (g cm^{-3})	dp (g cm^{-3})	PT (%)
0-0,10	1,25 b	2,47 b	49,3 a
0,10-0,20	1,25 b	2,48 b	49,6 a
0,20-0,40	1,45 a	2,54 b	50,7 a
0,40-0,60	1,47 a	2,63 a	52,4 a
p-valor	< 0,001 **	< 0,001 **	0,094 ^{ns}
CV (%)	2,45	1,49	3,36

ds = densidade do solo; dp = densidade de partículas; PT = porosidade total. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variação; ns = não significativo; ** significativo a $p < 0,01$. * Não houve determinação das propriedades físicas do solo após o experimento em decorrência da indisponibilidade de colaboradores para realização da coleta e das análises.

As densidades observadas nas camadas de solo de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m são próximas ao encontrado por Borges *et al.* (2019), entre $1,34$ e $1,39 \text{ g cm}^{-3}$, um solo com pastagem degradada, mesmo sem a presença de animais.

A densidade do solo varia conforme as suas características, sendo que em solos argilosos o seu valor varia de $1,00$ a $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ em áreas nativas e solo muito compactado, respectivamente (Torres & Saraiva, 1999). Logo, foi possível identificar a existência de compactação do solo nas camadas mais profundas, possivelmente devido ao uso deste solo para o pastoreio que ocorreu nos 5 anos anteriores ao experimento ou da menor influência do sistema

radicular do Tifton 85 a partir desta faixa de profundidade (gramíneas do gênero *Cynodon* apresentam $z \cong 0,37$ m, segundo Cunha *et al.* (2010).

3.7. TEOR INICIAL DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E ACIDEZ ATIVA

Na mesma ocasião da coleta de amostras indeformadas de solo, foram coletadas 5 subamostras deformadas para composição de uma amostra composta, para cada uma das seguintes profundidades: 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m. Estas amostras foram utilizadas para a determinação do teor de carbono orgânico total e do pH do solo. As amostras foram secas ao ar, passadas em peneiras com orifícios de 2 mm, posteriormente em peneiras de 0,5 mm.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método Walkley-Black utilizando terra fina seca ao ar (TFSA) peneirada a 0,5 mm. A acidez ativa foi analisada por meio da metodologia de pH em H₂O utilizando um pHmetro de bancada e o volume de solo igual a 10 cm³.

As análises foram executadas seguindo as metodologias propostas por Teixeira *et al.* (2017)

3.8. ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ARB E Ac

As amostras de ARB e Ac foram coletadas em 02/06, 25/06, 08/07, 04/08 e 27/08/2020 e analisadas quanto aos atributos listados na Tabela I. 3.7. O pH e condutividade elétrica foram medidos *in loco*, enquanto para as demais variáveis de qualidade da água, as amostras foram armazenadas em frascos esterilizados com capacidade para 0,5 L, transportadas para o laboratório sob refrigeração e analisadas seguindo metodologias de APHA (2017).

Tabela I. 3.7. Atributos físicos, químicos e microbiológicos e métodos de análise de água.

Atributo		Unidade	Método de Análise
Potencial hidrogeniônico	pH	-	Eletroquímico
Condutividade elétrica	CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	Condutivímetro
Sólidos totais	ST	mg L^{-1}	Gravimétrico
Demanda química de oxigênio	DQO	mg L^{-1} de O_2	Colorimétrico de refluxo fechado
Demanda bioquímica de oxigênio	DBO	mg L^{-1} de O_2	Titulométrico
Alcalinidade total	A_{total}	mg L^{-1} de CaCO_3	Titulométrico
Sódio	Na^+	mg L^{-1}	Espectrofotometria de chama
Cálcio	Ca^{++}	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Magnésio	Mg^{++}	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Razão de Adsorção de sódio	RAS	$(\text{mmol L}^{-1})^{-0,5}$	Calculado
Potássio	K^+	mg L^{-1}	Espectrofotometria de chama
Nitrito	NO_2	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Nitrato	NO_3	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Fosfato total	PO_4^{3-}	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Turbidez	Turb	UNT	Fotocolorimétrico
Ferro total	Fe	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
<i>Escherichia coli</i>	<i>E. Coli</i>	$\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$	Substrato cromogênico
Coliformes totais	CT	$\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$	Substrato cromogênico

A Tabela I. 3.8 apresenta a composição média dos dois tipos de água empregados. As análises completas são apresentadas no Anexo I.2.

Tabela I. 3.8. Média das variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade de água*.

	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	ST (g L^{-1})	DQO ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	DBO	Turbidez (UNT)	RAS $\text{mmol}_c^{1/2}$
Ac	6,8	19,0	0,1	15,3	0,0	6,0	0,0
ARB	7,4	5.375,0	4,2	1.495,8	322,7	771,2	2,6
	P total	Fe^{3+} total	NO_2^- (mg L^{-1})	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
Ac	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	1,1	
ARB	70,9	21,5	2,4	103,5	77,1	143,8	
	Dureza ($\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$)	Alcalinidade total	<i>E. coli</i> ($\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$)	Coliformes totais	Na^+ (ppm)	K^+	
Ac	4,6	4,1	10,1	307,6	0,0	0,5	
ARB	792,0	3.966,7	262.500	109.500	38,0	290,9	

*Média de 5 eventos de amostragem.

A partir da composição química das águas ao longo do experimento e dos respectivos volumes aplicados, estimaram-se as quantidades de nutrientes aplicados ao solo utilizando a Equação I. 5 (Tabela I. 3.9).

$$\text{Carga} = 10^{-6} \cdot L \cdot C_{\text{atributo}} \quad \text{Equação I. 5}$$

Sendo: Carga: em kg ha⁻¹; L: lâmina de irrigação (mm); C_{atributo}: concentração do atributo na água (mg L⁻¹).

Tabela I. 3.9. Carga média total de nutrientes aplicada (kg ha⁻¹) a partir dos diferentes níveis de aplicação de água residuária de bovinocultura.

Nível*	NO ₃ ⁻ (N)	P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Fe ³⁺	Sólidos totais
0:1	0,9 (0)	0,1	0,5	0,0	2,6	0,0	0,4	281
1:1**	113 (26)	87,7	399	94,9	161	39	24	4.271
1:0	225 (51)	176	797	190	322	78	49	8.543

*Nível: proporção de ARB:Ac na diluição. ARB: água residuária de bovinocultura e Ac: água de córrego.

**Valores estimados considerando a média entre a composição da ARB e da Ac.

3.9. VARIÁVEIS ANALISADAS

3.9.1. Atributos do Tifton 85

Foram avaliadas na forragem: altura (h), produtividade (P_{MS}), relação folha/colmo (F/C), índice de área foliar (IAF), teores de proteína bruta (PB), fibras insolúveis em detergente neutro (FDN), fibras insolúveis em detergente ácido (FDA), matéria mineral (MM) e índice de nutrição de nitrogênio (NNI). A colheita e a medição da altura da forragem em cada parcela ocorreram em triplicata.

A altura da forrageira foi representada pela distância vertical entre o solo e o topo da forrageira, na qual mediu-se com trena com precisão de milímetros. A altura foi medida em cada ponto de subamostragem antes do corte da forrageira. A produtividade da forragem foi determinada pelo método direto. Em três pontos representativos dentro da área útil de cada parcela foram retiradas subamostras em área demarcada com um gabarito de 0,5 m x 0,5 m

(0,25 m²) conforme recomendação de Salman *et al.* (2006). O corte da forragem foi na altura de 20 cm da superfície do solo, simulando a altura de pastejo para bovinos (Comastri Filho & Pott, 1982).

A produtividade de matéria fresca de forragem, correspondente à cada subamostra foi obtida *in loco* com o uso de balança digital com precisão de 1,0 g (Equação I. 6).

$$P_{MF} = \frac{MF}{Aca} \quad \text{Equação I. 6}$$

Sendo: P_{MF}: produtividade de matéria fresca (t MF ha⁻¹); MF: massa de matéria fresca em toneladas; Aca: área de coleta da amostra (ha).

As subamostras de cada parcela foram reunidas em uma amostra composta homogênea, e desta, foi retirada uma porção de forragem fresca de massa conhecida definida entre 300 e 400 g. O material foi seco em estufa de circulação forçada a 55 °C por 48 h (Gardner, 1986). Determinou-se a massa seca com balança com precisão de 0,0001g, a partir da qual estimou-se a umidade das amostras. A produtividade de matéria seca foi estimada pela Equação I. 7.

$$P_{MS} = P_{MF} \cdot (1 - U_{b.u.}) \quad \text{Equação I. 7}$$

Sendo: P_{MS} = produtividade de matéria seca (t MS ha⁻¹); U_{b.u.} = umidade em base úmida (decimal)

As amostras secas de folhas, colmos e panículas foram avaliadas separadamente para obter as relações entre a massa de folhas e de colmos (F/C).

O índice de área foliar foi estimado conforme a Equação I. 8, sendo a massa seca de folhas convertida em área foliar considerando a área foliar específica obtida para Tifton 85 aos 86 dias de rebrota que é de 1,46 dm² g⁻¹ (Rodrigues *et al.*, 2006).

$$IAF = AF_{esp.} \cdot P_{MF} \cdot (1 - U_{b.u.}) \quad \text{Equação I. 8}$$

Sendo: IAF: índice de área foliar (m² m⁻²); AF_{esp.}: área foliar específica.

As folhas, colmos e panículas foram misturados e a forragem foi reunida e moída em moinho de facas tipo Willey (SL31, Solab Científico) com peneira de 0,5 mm para a determinação dos atributos bromatológicos, seguindo os procedimentos descritos por Detmann *et al.* (2012).

O teor de matéria mineral (MM) foi determinado por meio da incineração do material orgânico em forno mufla à 500 °C (INCT-CA M-001/1). O teor de proteínas brutas (PB) foi determinado a partir do teor de nitrogênio total obtido pelo método Kjeldahl adaptado para produtos vegetais (INCT-CA N-001/1). Os teores de fibras insolúveis em detergente neutro (FDN) e fibras insolúveis em detergente ácido (FDA) foram determinados pelo método da autoclave (INCT-CA F-002/1 e INCT-CA F-004/1).

A partir do teor de proteína bruta obteve-se o índice de nutrição de nitrogênio (NNI) (Equação I. 9) que permite detectar uma situação de consumo de luxo, nutrição adequada ou deficiência nutricional em relação ao nitrogênio, de modo que o $NNI < 1$ representa um desenvolvimento vegetal com déficit do nutriente, $NNI = 1$ um desenvolvimento ideal, e $NNI > 1$ um desenvolvimento com nutriente além do necessário para a planta (Lemaire *et al.*, 2008).

$$NNI = \frac{N_a}{N_c} \quad \text{Equação I. 9}$$

Sendo: NNI: índice de nutrição de nitrogênio (adimensional); N_a : concentração de N existente (%); N_c : concentração crítica de N para a produtividade existente (%).

A concentração crítica de N na planta para a produtividade foi estimada pela Equação I. 10 (Ulrich, 1952):

$$N_c = a_c \cdot W^{-b} \quad \text{Equação I. 10}$$

Sendo: N_c : concentração crítica de N na planta para a produtividade W : 1 t ha^{-1} (pastagens tropicais: a_c : 3,6%); b : coeficiente adimensional (pastagens tropicais: $b = 0,34$).

3.9.2. Atributos químicos do solo

Os atributos físicos e químicos do solo, bem como a sua amplitude de determinação, foram selecionados para este experimento baseando-se na composição da ARB e na dinâmica esperada para estes componentes no que se refere ao seu acúmulo, transformação e movimentação no perfil do solo. Sendo assim, foram avaliados no solo: teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), fósforo disponível (P_{disp}), potássio (K_{troc}) e sódio trocáveis (Na_{troc}), cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), zinco (Zn) e pH. Todos os procedimentos relativos à amostragem e análise de solo seguiu as metodologias recomendadas por Teixeira *et al.* (2017a).

O solo foi amostrado nos mesmos 3 pontos de coleta da forrageira. Foram coletadas amostras simples indeformadas nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m de profundidade. Na mesma oportunidade, coletou-se em cada parcela uma amostra representativa da camada arável (0-0,20 m) para análise de fertilidade do solo, incluindo macro e micronutrientes.

Quanto ao solo das camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m de profundidade, as amostras simples de cada camada numa dada parcela compuseram uma amostra composta que foi homogeneizada, seca ao ar e passada em peneira de 2 mm. Em seguida foram determinados os teores de COT, NT, P_{disp} , K_{troc} e Na_{troc} .

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método Walkley-Black e o nitrogênio total pelo método Kjeldahl. Para a determinação dos teores de fósforo, potássio e sódio utilizou-se o extrator Mehlich 1. Já o teor de fósforo foi lido em espectrofotômetro-UV-Vis, enquanto potássio e sódio foram lidos em fotômetro de chamas.

Foi obtida ainda a relação C/N, e determinados os estoques de COT, NT, P_{disp} e K_{troc} ($Mg\ ha^{-1}$) com base na densidade do solo para cada uma das profundidades amostradas de acordo com a Equação I. 11 (Veldkamp, 1994):

$$\text{Estoque} = \frac{(\text{Teor} \cdot d_s \cdot e)}{10} \quad \text{Equação I. 11}$$

Sendo: Estoque: estoque do nutriente na camada (Mg ha^{-1}); Teor: teor do nutriente (g kg^{-1}); d_s : densidade do solo da camada (kg dm^{-3}); e: espessura da camada (cm).

3.10. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados tiveram a sua distribuição normal analisada de acordo com o teste Jarque-Bera, e a sua homogeneidade de variância de acordo com o teste de Bartlett. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, no caso de diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) com o uso do software SpeedStat 2.5 (Carvalho *et al.*, 2020).

Para uma análise integrada dos resultados empregou-se a correlação linear de Pearson, a análise dos componentes principais (PCA) e o agrupamento hierárquico por meio da Distância Euclidiana e do método de Ward para o processo aglomerativo de ligação. Utilizou-se o software XLStat 2013 (Addinsoft, 2013), em sua versão de teste, para a execução das análises e o Microsoft Excel para a sua representação gráfica. Este segundo grupo de análises utilizou as seguintes combinações de variáveis:

- N total fornecido pelos tratamentos (carga de N proveniente do tipo de água + N_{ureia}) e as variáveis inerentes ao Tifton 85 (P_{MS} , H, IAF, MM, FDN, FDA, PB e NNI);
- Estoques de C, N, P e K no solo na camada de 0-0,40 m;

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. INDICADORES DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE BROMATOLÓGICA DO TIFTON 85

Houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre os tipos de água e a adubação nitrogenada apenas para o teor de proteína bruta. Foi detectada uma diferença significativa em função dos tipos de água aplicados para a produtividade de matéria seca (PMS), índice de área foliar (IAF), fibras insolúveis em detergente neutro (FDN), índice de nutrição de nitrogênio (NNI) e proteína bruta. Houve diferença significativa dentro dos níveis de adubação nitrogenada apenas para a matéria mineral (MM).

As maiores entradas de N, P e K na área do experimento, considerando também a adubação com ureia, chegaram a 96 kg N ha⁻¹, 797 kg K ha⁻¹ e 176 kg P₂O₅ ha⁻¹ (76,8 kg P ha⁻¹), respectivamente (Tabela I. 3.9). De acordo com Alvim *et al.* (1999), o Tifton 85 responde linearmente à adubação nitrogenada, tendo sido testadas doses de até 66 kg N ha⁻¹, 53,3 kg K₂O ha⁻¹ (44 kg K ha⁻¹) por corte e 80 kg P₂O₅ kg ha⁻¹ (35 kg P kg ha⁻¹) ao ano. Entretanto, os autores salientam que não é possível incrementar a produtividade no inverno quando feitas adubações que excedam 44 kg N ha⁻¹ corte⁻¹ sem o recurso da irrigação.

Com base nisso, para a duração do experimento, admitiu-se que a ARB continha nitrogênio suficiente para o desenvolvimento da forrageira e fornecido na forma mais facilmente absorvida pelas plantas (NO₃⁻), e continha fósforo e potássio mais do que o necessário, mesmo que o volume total de ARB aplicado tenha sido apenas 44% da demanda hídrica da forrageira. A Ac, por sua vez, não continha nutrientes em quantidade expressiva, portanto, o desenvolvimento do Tifton 85 deu-se exclusivamente a partir das reservas existentes no solo (parcelas I-0) e da ureia (tratamento I-45). No entanto, apenas pelo fato de a forrageira

ter recebido água já foi suficiente para expressar produção de forragem visualmente superior às áreas adjacentes cultivadas em sequeiro e que não faziam parte da área experimental.

A adubação nitrogenada de 45 kg N ha⁻¹ aplicada na forma de ureia foi insuficiente para expressar efeitos distintos, em relação a ausência da adubação nitrogenada, sobre os indicadores de produtividade (F/C, PMS, H e IAF) sob as condições climáticas do experimento, mesmo nas parcelas que receberam apenas água de córrego. O mesmo comportamento foi notado em relação ao FDN e NNI. Por outro lado, a presença de ARB na água de irrigação proporcionou alterações nos atributos PMS, H, IAF, FDN e NNI.

A aplicação de ARB promoveu maior produtividade do Tifton 85 quando comparado aos tratamentos que receberam somente Ac (Tabela I. 4.1), sendo a produtividade alcançada nos tratamentos com ARB semelhante à obtida em área irrigada no inverno e submetida a adubação mineral de 50 kg N ha⁻¹ corte⁻¹, 35 kg K ha⁻¹ corte⁻¹ e 180 kg P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹ (Sanches *et al.*, 2016).

Tabela I. 4.1. Indicadores de produtividade e qualidade bromatológica da forragem de Tifton 85 submetida a aplicações de água residuária da bovinocultura, água do córrego e adubação nitrogenada.

Variável	Tipo de água		
	Ac	Ac+ARB	ARB
PMS (t ha ⁻¹)	2,50 b	4,92 a	5,31 a
H (cm)	20,18 b	32,85 a	33,75 a
IAF (m ² m ⁻²)	2,61 b	4,95 a	4,85 a
FDA (% _{MS})	31,3 a	29,7 a	29,8 a
FDN (% _{MS})	73,9 a	72,0 ab	69,5 b
NNI (adimensional)	0,74 b	1,13 a	1,10 a
PB (% _{MS})			
Dose de 0 kg N ha ⁻¹	12,4 bA	14,2 aB	14,3 aA
Dose de 45 kg N ha ⁻¹	12,3 cA	15,8 aA	14,0 bA
MM (% _{MS})			
Dose de 0 kg N ha ⁻¹	5,73 aB	5,37 aB	6,58 aB
Dose de 45 kg N ha ⁻¹	6,48 aA	6,38 aA	6,77 aA

Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura; F/C: relação folha/colmo; PMS produtividade de matéria seca; H: altura; IAF: índice de área foliar; MM: matéria mineral; FDA: fibras insolúveis em detergente ácido; FDN: fibras insolúveis em detergente neutro; PB: proteína bruta; NNI: índice de nutrição de nitrogênio. Médias seguidas pela mesma letra minúscula iguais na linha ou maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey (5% probabilidade).

A relação folha/colmo ($F/C = 4,1$) não foi influenciada pelo tipo de água aplicado ou pela adubação nitrogenada, sendo este um comportamento comumente observado, uma vez que a F/C é mais influenciada pelas variações na disponibilidade da água no solo (Sanches *et al.*, 2017). A F/C é um indicador de qualidade nutricional que compreende à concentração de carboidratos solúveis da planta, e os dados obtidos estão no intervalo dos valores médios para o extrato superior no dossel do Tifton 85 ($2,23 < F/C < 4,51$) (Poczynek *et al.*, 2016).

As maiores massas de folhas e panículas ocorreram nos tratamentos com aplicação de ARB ($4,12 \text{ t ha}^{-1}$), em consequência do maior crescimento e do avanço mais rápido da maturidade fisiológica em relação aos tratamentos sem ARB ($2,22 \text{ t ha}^{-1}$). Em consonância com estes resultados, a aplicação de ARB proporcionou ao Tifton 85 maior produtividade de matéria seca, altura e índice de área foliar (Tabela I. 4.1).

A matéria seca no Tifton 85 com a aplicação de Ac, ARB diluída a 50% e somente ARB, foi incrementada em taxas de 23,6, 46,2 e $50,0 \text{ kg ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$, respectivamente. Para Cameron & Di (2019), a diferença na produtividade da pastagem quando submetida a aplicações de água natural e residuária é esperada em razão dos nutrientes presentes nesta última.

Segundo Marcelino *et al.* (2003), as variáveis morfológicas do Tifton 85 são influenciadas pela redução natural do metabolismo da planta no ciclo C4 devido às condições ambientais como encurtamento do fotoperíodo, temperaturas do ar mais baixas e restrição hídrica. Estima-se que a produtividade do Tifton 85 sob adubação convencional e irrigado no inverno seja até 3,5 vezes menor do que no verão (Sanches *et al.*, 2016).

Apesar das irrigações realizadas durante o experimento não terem suprido toda a demanda hídrica da pastagem, as tensões de água do solo observadas antes de cada aplicação não excederam 69 kPa, e segundo Marcelino *et al.* (2003), este intervalo de disponibilidade de água no solo não interfere negativamente no ganho de massa seca em resposta ao nitrogênio disponível no solo. A irrigação em déficit, estabelecida neste experimento, corrobora o

observado por Amaral *et al.* (2019), durante o inverno, onde a disponibilidade de água do solo pode ser reduzida a até 20% e ainda assim não comprometer a qualidade e quantidade de forragem do Tifton 85 esperadas para este contexto edafoclimático.

A ARB proporcionou à pastagem altura 1,67 vezes maior do que as plantas que receberam somente Ac (Tabela I. 4.1). O IAF do Tifton 85 cultivado com aplicação de ARB também foi superior à aplicação de Ac em 1,8 vezes, valor este também mais expressivo em relação ao observado por Rodrigues *et al.* (2006) ($3,4 < \text{IAF} < 4,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), mas inferior aos obtidos por Poczynek *et al.* (2016) ($\text{IAF} = 5,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, em avaliação de 204 dias sem irrigação).

O sódio presente na composição da ARB não causou efeito adverso sobre o Tifton 85, tendo sido fornecido à forrageira entre 0 e 78 kg Na ha⁻¹ por meio das águas de irrigação. O valor da CE médio da ARB utilizada, igual a 0,54 dS/m, classifica a água como de salinidade baixa, portanto, o reúso desta ARB não compromete o desenvolvimento da cultura (Ayers & Westcot, 1994).

Investigações semelhantes utilizando outras fontes de água residuária mostram que mesmo na presença de carga elevada de sódio (entre 300 e 1.200 kg Na ha⁻¹ano⁻¹) a espécie é capaz de expressar produtividade e qualidade bromatológica semelhantes ao cultivo convencional, desde que exista água disponível no solo (Sousa *et al.*, 2009). Apesar da pouca interferência sobre a produção de matéria seca, com a aplicação de efluente com teor de sódio acima de 900 kg ha⁻¹ano⁻¹ ocorre a limitação da concentração de nutrientes na fitomassa da forrageira, como N, P, Ca e Mg (Oliveira *et al.*, 2019).

A ARB não alterou o teor de MM, entretanto, a adubação nitrogenada promoveu aumento da MM (Tabela I. 4.1). Ambos os teores de MM obtidos foram menores aos observados no Tifton 85 sob condições convencionais de manejo e corte até os 49 dias (MM = 7,74%) (Andrade *et al.*, 2018), ou corte aos 100 dias (7,0% para colmos e 8,9% para folhas) (Serafim *et al.*, 2021). O MM é constituído pelo material inorgânico residual da queima da fitomassa,

que é convertido em CO₂, H₂O e NO₂ e eliminado em conjunto com as substâncias voláteis decompostas pelo calor (Souza *et al.*, 2017).

Os tipos de água não influenciaram no conteúdo de FDA, sendo em média de 30,0% (Tabela I. 4.1) inferior aos 34,5% apresentados por Sanches *et al.* (2016), aos 32% por Monção *et al.* (2016) e aos 32,5% por Poczynek *et al.* (2016), indicando melhor digestibilidade da forrageira em relação aos obtidos pelos autores citados, uma vez que o teor de FDA é inversamente proporcional à maturidade da forrageira. O FDA também foi inferior aos 31,7% observado por Marchesan *et al.* (2013) em folhas de Tifton 85 cultivado durante o mesmo período do ano (jun-set).

A adubação nitrogenada não alterou os teores de FDN, e, apesar disso, o uso de ARB sem diluição apresentou menor FDN (69,5%) devido a sua maior proporção de tecidos jovens (panículas e folhas, principalmente) em relação àquela que foi irrigada com somente Ac (73,9%). O teor de FDN apresenta uma relação inversa com o consumo voluntário da forrageira, e valores entre 65% e 75% são comuns em tecidos jovens e nos que estão próximos da maturidade (Gonçalves *et al.*, 2018). O efeito do inverno (temperatura média do ar de 21,6 °C, temperatura mínima de 13,5 °C e a estiagem) sobre o metabolismo do Tifton 85 ficou bem evidente, uma vez que a pastagem não atingiu maturidade suficiente para acumular fibras indesejáveis para o pastejo, mesmo com o tempo de rebrota de 106 dias.

A forragem acumulou menos PB quando irrigada somente com Ac, independente da adubação nitrogenada fornecida, com teor médio de 12,4%, já os tratamentos com ARB e com adubação atingiram teores de PB mais elevados, sendo que foram acima de 14,0%, enquanto a forragem que recebeu ARB diluída e adubação nitrogenada atingiu valor de PB de 15,8%, superior a todos os demais tratamentos adubados, assim como observado por Monção *et al.* (2016) para o Tifton 85 colhido aos 79 dias.

No contexto do reúso, a PB obtida foi inferior ao intervalo de 18,2% e 21,2% observados por Spearman *et al.* (2020) com o reúso de água residuária de suinocultura. Apesar disso, a PB ainda foi maior que desejável (10%) para a dieta de ruminantes, e dentro do intervalo de 14,0% a 16,7% esperado para as condições ambientais e de umidade do solo do experimento (Sanches *et al.*, 2016; Gonçalves *et al.*, 2018).

Ressalta-se que os teores de PB do Tifton 85 são bastante variáveis em função do manejo (fertilidade, irrigação, reúso), da estação do ano e do ciclo de pastejo ou cortes, podendo ocorrer valores entre 4,6 e 22,4% (Alvim *et al.*, 1999; Gonçalves *et al.*, 2018). De modo geral, no inverno, o teor de PB do Tifton 85 é menor e menos responsivo à adubação nitrogenada do que no verão (Alvim *et al.*, 1999; Sanches *et al.*, 2016), portanto, dada a evidência de que a ARB contribuiu para uma forragem mais proteica nestas condições ambientais, pode-se afirmar que o uso de ARB contribuiu para a melhoria nutricional.

O uso de ureia associada à ARB diluída (II-45), cujas contribuições somaram 70 kg N ha⁻¹, promoveu a maior PB para o Tifton 85 em comparação ao tratamento com mesmo tipo de qualidade da água e sem adubação (soma 26 kg N ha⁻¹). A PB do tratamento II-45 também superou a do tratamento III-45 (soma 96 kg N ha⁻¹). Este resultado corrobora a resposta quadrática da cultivar face ao nitrogênio fornecido no contexto do reúso (Vielmo *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2017; Teixeira *et al.*, 2021) e implica que a quantidade de nitrogênio fornecida ao Tifton 85, por si só, não é a única influência sobre a produção de proteína.

A aplicação de 45 kg N ha⁻¹ não garantiu incremento linear na biomassa do Tifton 85. Dentro dos tipos de água, o NNI do Tifton 85 com o uso de apenas Ac atingiu o valor médio de 0,74, inferior à média dos tratamentos com aplicação de ARB (NNI = 1,1), sendo que este índice variou entre 1,06 e 1,20 com o emprego da ARB. De acordo com este índice, em razão da aplicação de ARB, o capim utilizou o nitrogênio fornecido pelas duas vias (ARB e ureia) para a produção de matéria seca com tendência ao consumo de luxo (NNI > 1), e a irrigação

com Ac resultou no desenvolvimento vegetal em déficit nutricional ($NNI < 1$) (Lemaire *et al.*, 2008). Para o reúso da ARB, o consumo de luxo é um bom resultado, uma vez que a absorção dos nutrientes acrescentados no solo pela água residuária é um processo desejável que garante a sua reciclagem. Analogamente, a absorção de mais nitrogênio representa a formação de alimento volumoso de melhor qualidade.

Andrade *et al.* (2018) ressaltam que a resposta da produtividade do Tifton 85 ao nitrogênio disponível no solo depende da disponibilidade de outros nutrientes e, portanto, o melhor desenvolvimento da forragem irrigada com ARB é justificada pela provável existência destes nutrientes em sua composição, como cálcio, potássio, fósforo e outros. Considerando o valor do NNI, o desenvolvimento adequado do Tifton 85 foi atingido com a aplicação de ARB diluída e sem adubação nitrogenada (II-0), que forneceu 26 kg N ha^{-1} , $87,7 \text{ kg P ha}^{-1}$ e 400 kg K ha^{-1} (Tabela I. 3.9). É importante realçar que o Tifton 85 é uma forrageira de alta exigência nutricional dentre as forrageiras usualmente cultivadas nas pastagens brasileiras (Moção *et al.*, 2016; Poczynek *et al.*, 2016), mas, apesar disso, a manifestação do seu metabolismo C4 diante das condições climáticas deste trabalho fez com que as contribuições hídricas e nutricionais da ARB diluída fossem suficientes para suprir as demandas da forrageira.

A correlação de Pearson indicou que o Tifton 85 respondeu com incremento de matéria seca de forragem (P_{MS} , H e IAF) e status de nutrição pelo nitrogênio (PB e NNI) de forma moderada e positiva ao nitrogênio aplicado ($N_{aplicado}$) (Tabela I. 4.2). Isso mostra que a produção de fitomassa acompanhou as variações do $N_{aplicado}$ numa intensidade semelhante ao conjunto de atributos da qualidade bromatológica.

Tabela I. 4.2. Correlação linear entre os indicadores de produtividade e qualidade bromatológica do Tifton 85

Correlação dos valores médios da eficiência									
	P _{MS}	H	IAF	MM	FDN	FDA	PB	NNI	N _{aplicado}
P _{MS}	-								
H	0,93**NS	-							
IAF	0,95**NS	0,97**NS	-						
MM	0,09	-0,21	0,02	-					
FDN	-0,73*	-0,50*	-0,49	-0,18	-				
FDA	-0,69*	-0,65*	-0,71*	-0,23	0,46	-			
PB	0,82**	0,79**	0,88**	0,32	-0,43	0,90**NS	-		
NNI	0,96**NS	0,91**NS	0,96**NS	0,20	-0,62*	-0,82**	0,94**NS	-	
N _{aplicado}	0,71*	0,52*	0,66*	0,43	-0,49	-0,47	0,54*	0,67*	-

Correlação dos valores médios dos atributos

** Forte correlação; * Moderada correlação; NS: Não significativo. P_{MS}: produtividade de matéria seca; H: altura; IAF: índice de área foliar; MM: matéria mineral; FDN: fibras insolúveis em detergente neutro; FDA: fibras insolúveis em detergente ácido; PB: proteína bruta; NNI: índice de nutrição de nitrogênio.

Oliveira *et al.* (2021) também observaram a alta correlação entre o nitrogênio aplicado e as variáveis de produção e afirmam que estas correlações, assim como as que ocorrem com outros nutrientes contidos na água em reúso, são resultado da capacidade que o Tifton 85 tem de remover intensamente os macronutrientes essenciais provenientes destas águas.

Dos atributos bromatológicos, a PB respondeu positivamente ao N_{aplicado}, enquanto as fibras e a MM não apresentaram coeficiente de correlação de Pearson, sendo que a PB se correlacionou forte e positivamente à PMS, H e IAF (Tabela I. 4.2).

A análise de agrupamentos hierárquicos indicou a existência de dois grupos distintos: 1º – forragem submetida somente à aplicação de Ac (I), e 2º – forragem submetida à alguma dose de ARB (II e III), independente da adubação nitrogenada aplicada, reforçando a evidência da resposta distinta da planta aos tipos de água, independentemente da dose ureia aplicada inicialmente. A Figura I.4.1 apresenta o dendrograma do agrupamento hierárquico.

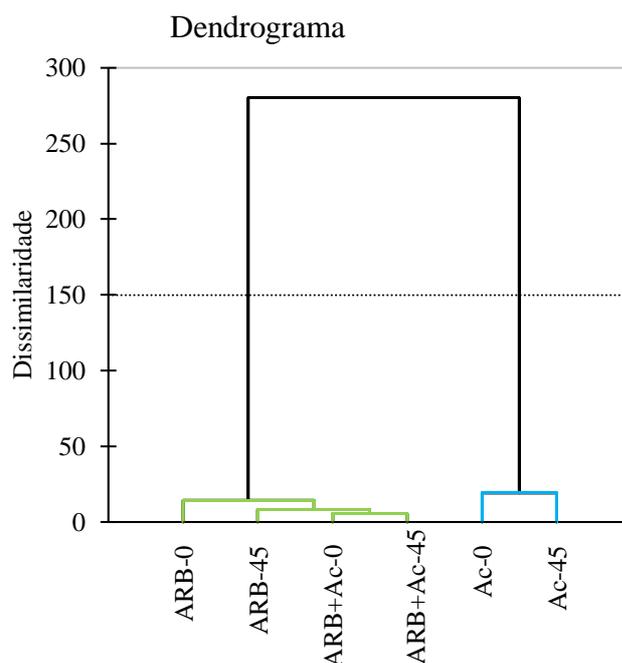


Figura I. 4.1. Análise de Cluster Aglomerativa Hierárquica (CAH), para o número de classes igual a 2, de acordo com os tratamentos e as variáveis respostas do Tifton 85 (MM, FDN, FDA, PMS, NNI, PB, H, IAF).

Reunindo as variáveis fisiológicas e bromatológicas do Tifton 85, vê-se que 71,1% da variabilidade dos dados é explicada por uma componente principal (CP1) e 17,4% é explicada por uma segunda componente principal (CP2), em que, juntas, explicam 88,5% da variabilidade dos resultados (Figura I. 4.2). Todas as variáveis associadas à produtividade responderam forte e positivamente à CP1, sendo que, a aplicação de ARB promove efeitos positivos destas características.

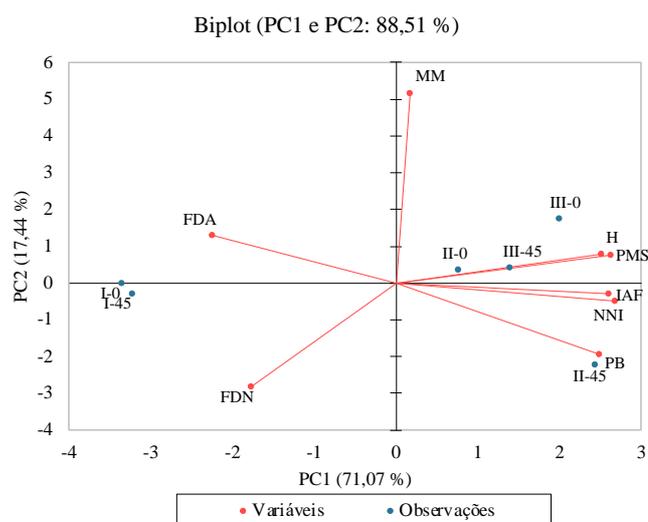


Figura I. 4.2. Análise de componentes principais (ACP) de acordo com os tratamentos aplicados (I-0, I-45, II-0, II-45, III-0, III-45) e as variáveis respostas do Tifton 85 (MM, FDN, FDA, PMS, NNI, PB, H, IAF).

A separação dos grupos de tratamentos indica que as interações da ARB no sistema solo-planta provocam ao Tifton 85 reações diferentes ao uso de somente Ac. A ACP enfatiza que a adubação nitrogenada mineral é dispensável para a condução da pastagem de Tifton 85 quando se irriga com ARB durante o inverno, provavelmente em razão do suprimento de outros nutrientes além do nitrogênio e que são igualmente relevantes para o desenvolvimento da pastagem, como potássio e fósforo. Coutinho *et al.* (2014) salientam que a disponibilidade de potássio no solo pode alterar indiretamente a produção de fitormônios endógenos que contém N em suas moléculas, como auxinas e citocininas, consequentemente estimulando a produção de perfilhos e folhas do Tifton 85.

A PB respondeu positivamente à CP1 e negativamente à CP2, enquanto a MM respondeu forte e positivamente apenas à CP2. A FDA respondeu negativamente à CP1 e positivamente à CP2, enquanto a FDN respondeu negativamente às ambas as componentes principais.

A distribuição das variáveis e tratamentos ao longo do eixo da CP1 implica que a qualidade da forrageira, a produtividade e a absorção de nutrientes se comportam de maneira inversa às variáveis associadas à maturidade (FDA e FDN), corroborando com o observado por

Marchesan *et al.* (2013). Os tratamentos com ARB se distribuíram próximos às variáveis PMS, NNI, PB, H e IAF, e isso demonstra a contribuição destes tipos de água para estas variáveis. Estes resultados indicam que nas condições de inverno do Bioma Cerrado é mais vantajoso irrigar com ARB para a manutenção da pastagem do que com Ac, e sem a necessidade de adubação nitrogenada para a ARB sem diluição.

Para a aplicação de somente Ac, a ausência de nutrientes e a consequente inibição de estímulos adicionais promoveram apenas o alongamento e maturação das células vegetais, resultando numa forragem de baixa qualidade e produtividade razoável. Neste caso, sabe-se que as taxas de produção de biomassa, absorção e imobilização de nutrientes pelo Tifton 85 depende das condições ambientais, sendo que estes processos são menos eficientes nos meses de fotoperíodos mais curtos (Zhang *et al.*, 2017; Teixeira *et al.*, 2021). Portanto, nestes períodos a planta acumula basicamente fibras (principalmente FDN) e hemicelulose (Marchesan *et al.*, 2013; Sanches *et al.*, 2016).

Pelas considerações feita acima e pelo fato de os três tipos de água testados contribuírem para a composição de diferentes soluções do solo, a influência da ARB sobre o Tifton 85 no nível fisiológico é uma justificativa válida para a maior produtividade e valor nutritivo. De acordo com Teixeira *et al.* (2021), a disponibilização de nutrientes na solução do solo influencia a taxa de extração do Tifton 85 e favorece diretamente o acúmulo de nutrientes nos tecidos e indiretamente otimiza a atividade fotossintética.

A MM foi a única variável que respondeu estritamente à CP2 e esta independência foi observada também na baixa correlação com os outros atributos. Pela análise das correlações entre a CP2, MM, FDA e FDN, é possível que a CP2 esteja associada ao envelhecimento da pastagem, no qual ocorre a redução gradual das fibras digestíveis (FDN), o aumento das fibras maduras (FDA) e da incorporação de minerais na biomassa (MM) à medida que o tempo avança.

As correlações obtidas permitem concluir que o reúso da ARB na pastagem promove incremento na produtividade e garante qualidade bromatológica adequada ao Tifton 85. Por sua vez, a irrigação com apenas Ac é capaz de estimular o crescimento vegetal, porém, não acrescenta qualidade nutricional tanto quanto a ARB.

4.2. INDICADORES DE FERTILIDADE DO SOLO NA CAMADA ARÁVEL (0-0,20 m)

4.2.1. pH, CTC e saturação por bases

De acordo com a análise de variância dos dados de capacidade de troca catiônica total (CTC total), pH e saturação por bases (V%). A interação entre fontes de variação e o efeito simples da adubação nitrogenada não foram significativas para nenhuma destas variáveis. Entretanto, o tipo de água levou a diferenças no pH e CTC_{ef} (p<0,001) e na V (p<0,01).

Após o ciclo de 113 dias do Tifton 85 submetido às aplicações de ARB e/ou Ac, a camada arável do solo (0-0,20 m) apresentou variações na CTC_{ef}, pH e V% (Tabela I. 4.3). Entretanto, estas variações se mantiveram em níveis considerados de médio a adequados de acordo com as referências para os solos do Cerrado (Sousa & Lobato, 2004).

Tabela I. 4.3. Indicadores de fertilidade do Latossolo Vermelho-Amarelo na camada de 0-0,20 m antes e depois do cultivo de Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno no Cerrado.

Parâmetro	Inicial	Tipo de água			Média
		Ac	Ac+ARB	ARB	
CTC _{ef} (cmol _c dm ⁻³)	9,7	7,4 a	7,2 a	7,8 a	7,5
pH	5,9	5,5 a	5,4 a	5,3 a	5,4
V (%)	57,0	49,7 a	45,1 a	48,6 a	47,8

Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

O pH do solo no início e final do experimento esteve dentro do intervalo recomendado para a produção agrícola economicamente viável em solos do Cerrado, ou seja, 5,5 a 6,3 (Sousa & Lobato, 2004), com valor médio de 5,4 ao fim do experimento. Ressalta-se que a

produtividade do Tifton 85 responde positivamente ao aumento do pH do solo até o valor de 5,2 e que a partir deste não costuma ocorrer acréscimos na produção de matéria seca (Coutinho *et al.*, 2014).

A redução média do pH foi de 8% entre o início e final do experimento, em que os valores similares entre os tipos de água nem sempre são corroborados com outras pesquisas, pois, segundo Teixeira *et al.* (2017b), é comum a ocorrência de uma redução mais acentuada do pH em solos submetidos à aplicação de águas residuárias, principalmente quando estas possuem alto teor de matéria orgânica. Salienta-se que a ARB apresentou pH ácido e alcalinidade média acima de $2\ 870\ \text{mg}\ \text{CaCO}_3\ \text{L}^{-1}$, sendo que estes valores elevados da capacidade de tamponamento impedem as mudanças bruscas no pH.

Para solos alcalinos, redução de pH na ordem de 0,5 ao longo de anos de exploração agrícola associado ao reúso não é motivo de preocupação, entretanto, esta redução de pH em solos ácidos, como é o caso do presente experimento, deve ser continuamente monitorado (Schlegel *et al.*, 2017). A justificativa para este comportamento é a dependência do pH sobre o poder tampão do solo em razão da CTC, sendo que o reúso em solos de CTC elevada ($\geq 13\ \text{cmol}_c\ \text{dm}^{-3}$) provoca redução do pH nula ou insignificante (Mioto *et al.*, 2019). Outro fator que favorece o efeito tampão no solo e até mesmo elevação do pH é o emprego de água residuária alcalina, como a de suinocultura (Rezende *et al.*, 2012).

A CTC_{ef} média no final do experimento foi de $7,5\ \text{cmol}_c\ \text{dm}^{-3}$ e equivale a uma redução de 23% em relação ao seu início. Em suma, a redução da CTC_{ef} e do pH é consequência da saída de nutrientes do solo pela absorção radicular, demonstrando que os nutrientes presentes inicialmente no solo foram absorvidos numa mesma quantidade para todos os tratamentos. Com isso, o menor valor de V% foi de 45,1% com o uso de Ac e ARB na proporção de 1:1, diferindo do início do experimento (Tabela I. 4.3), considerado baixo para iniciar um novo ciclo de rebrota para uma pastagem em sistema intensivo. Coutinho *et al.* (2014) relatam que para a

maior produção de matéria seca pelo Tifton 85, a V% do solo precisa estar acima de 56%, fato ocorrido no final do experimento em todos os tratamentos, e que, abaixo deste valor o incremento de matéria seca é linear à V% numa taxa de +0,85.

Como a V% inicial do solo estava próxima de 60% (57,0%) não foi realizada a calagem (Tabela I. 4.3). As entradas de bases no solo foram exclusivamente provenientes da ARB na ordem máxima de 190 kg de Ca ha⁻¹ e 322 kg de Mg ha⁻¹ e 797 kg de K ha⁻¹ para o tratamento III.

A estabilidade da V% no solo que recebeu apenas ARB deve-se, provavelmente, pela compensação das entradas de K pela aplicação de ARB (Tabela I. 4.3). Já com o uso de Ac (tratamento I), possivelmente a taxa de absorção de íons pelas raízes do Tifton 85 foi proporcional à menor produção de forragem.

Com a aplicação de ARB diluída (tratamento II), a V% foi 21% menor em relação ao início do experimento, indicando maior suscetibilidade de redução da fertilidade no que se refere à estabilidade das cargas do solo na camada arável em razão do déficit de bases. Conforme apresentado no item 4.1, a forragem que recebeu ARB diluída atingiu a mesma produtividade que aquela que recebeu ARB sem diluição, indicando que as quantidades de nutrientes absorvidos tenham sido similares, mesmo que as quantidades aplicadas de nutrientes fossem diferentes.

4.2.2. Macronutrientes secundários e matéria orgânica

Não houve interação significativa entre os tipos de água e os níveis da adubação nitrogenada sobre os níveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e matéria orgânica do solo (MOS). Entretanto, o tipo de água provocou diferença no Ca e MOS ($p < 0,001$) e no Mg ($p < 0,01$). Os teores de Ca e Mg do solo ao fim do experimento estiveram dentro dos limites necessários para

o desenvolvimento do Tifton 85 (Tabela I. 4.4), que corresponde ao teor mínimo de Mg de 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e a relação Ca:Mg entre 1:1 e 10:1 (Sousa & Lobato, 2004).

Tabela I. 4.4. Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Matéria orgânica do solo (MOS) na camada de 0-0,20 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo antes e depois do cultivo de Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e/ou água de córrego durante o inverno no Cerrado.

Parâmetro	Inicial	Tipo de água			Média
		Ac	Ac+ARB	ARB	
Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	7,00	5,21 a	4,86 a	5,49 a	5,19
Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,60	2,08 a	2,15 a	2,25 a	2,16
MOS (g kg^{-1})	64,0	69,7 b	73,3 b	82,1 a	77,70

Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

O teor de Ca reduziu em média 26%, independentemente do tipo de água, sendo que o teor inicial no solo estava acima do indicado para Latossolos do Cerrado, devido, possivelmente, ao efeito residual devido a reposição de nutrientes realizada na área ao longo dos anos, conforme histórico da área (Tabela I. 3.2). Em contrapartida, a contribuição da ARB na reposição do Ca do solo ($95 \text{ a } 190 \text{ kg ha}^{-1}$) foi pequena considerando a absorção pelo Tifton 85, com valor de $50 \text{ a } 150 \text{ kg ha}^{-1}$ (Faquin, 2005).

Ao mesmo tempo, o reúso não gerou o acúmulo de Ca no solo, como observado na aplicação de doses de água residuária de suinocultura entre $500 \text{ e } 2500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Rezende *et al.*, 2018). É possível que o teor inicial de Ca no solo tenha sido absorvido igualmente pela pastagem, quando sob a irrigação com os diferentes tipos de água. Entretanto, as entradas de Ca proveniente da ARB foram igualmente aproveitadas pelo Tifton 85, de modo que, ao fim do ciclo de rebrota, não houve diferença no teor de Ca nos solos que receberam Ac e ARB.

Houve redução de 25,0% e 20,9% no teor de Mg quando da aplicação de Ac e ARB diluída, respectivamente, não havendo diferenças significativas, enquanto somente com ARB (tratamento III) o teor de Mg foi inferior em valor absoluto em relação ao início do experimento (15,6%), mas sem diferir significativamente. Diferentemente do Ca, com a aplicação de

somente ARB, houve menor redução no teor de Mg, que pode ser explicado por dois motivos: o primeiro é a presença de Mg na ARB, com reposição de 322 kg ha⁻¹, suficiente para manter o teor no solo mais elevado (Rezende *et al.*, 2018), uma vez que o requerimento de Mg é de cerca de 20 a 75 kg ha⁻¹, inferior às entradas que ocorreram via água de irrigação (Faquin, 2005). O segundo motivo é o fornecimento de uma elevada quantidade de K pela ARB no tratamento III (797 kg ha⁻¹) com possível inibição da absorção do Mg pela forrageira. O Mg é absorvido em menor quantidade do que o Ca e K e a competição entre estes cátions é especificamente importante para o Mg (Benites *et al.*, 2010).

De acordo com a literatura é possível que ocorra a redução no teor de Ca e Mg no solo (Oliveira *et al.*, 2019), já que o reúso para a irrigação do Tifton 85 a longo prazo promove significativas taxas de extração de nutrientes, incluindo Ca e Mg, iguais ou superiores às que ocorrem no cultivo com adubação mineral. Todavia, o sistema solo-planta passa por um período de adaptação ao tipo de manejo, cuja duração dependerá da mineralização da MOS, da água residuária e do ajuste da planta à forma de ocorrência dos nutrientes e de outros minerais que passam a ser disponibilizados.

A MOS da camada arável (0-0,20 m) elevou-se em 8,9%, 14,5% e 28,3% com a aplicação de Ac, Ac+ARB e ARB, respectivamente, sendo que somente nos dois últimos houve diferença significativa (Tabela I. 4.4). A influência do reúso sobre a MOS é variável, podendo não causar alterações, como observado por Erthal *et al.* (2010) na irrigação com ARB no cultivo consorciado de Tifton 85 e aveia preta. Já a irrigação associada a aplicação de ARB em um evento único favoreceu o acúmulo de COT em solo com cultivo de pastagem (Manono *et al.*, 2016). Todavia, estas alterações nos conteúdos de MOS dependem também da estabilidade dos compostos orgânicos presentes na água (Rezende *et al.*, 2018) e do incremento de biomassa proveniente das plantas em resposta ao manejo (Leuther *et al.*, 2019).

4.2.3. Micronutrientes

A análise de variância dos dados de micronutrientes avaliados indicou interação significativa entre os tipos de água e os níveis da adubação nitrogenada apenas para o Mn ($p < 0,01$). O tipo de água provocou diferença no Fe, Zn e Mn ($p < 0,001$) enquanto a adubação nitrogenada provocou diferença significativa no Mn ($p < 0,01$).

O teor médio de Cu no solo foi de $0,71 \text{ mg cm}^{-3}$, ligeira elevação em relação ao teor inicial ($0,54 \text{ mg cm}^{-3}$), porém, sem ser significativa. Independente disso, o teor de Cu do solo foi próximo ao nível médio para solos do Cerrado, $0,5$ a $0,8 \text{ mg cm}^{-3}$ (Sousa & Lobato, 2014). A estabilidade do teor de Cu disponível no solo corrobora com as condições edáficas do experimento, sendo que em solos com altos teores de óxidos de Fe, Al e Mn não costuma haver redução no teor de Cu, uma vez que nesta condição a complexação do elemento com a MOS é desfavorecida (SILVA *et al.*, 2012). Além disso, Cu é extraído em menor quantidade em relação aos principais macro e micronutrientes, sendo baixa, portanto, a probabilidade de sua alteração em razão da absorção pelas raízes (Rezende *et al.*, 2018).

O teor de Fe era elevado mesmo no início do experimento ($131,3 \text{ mg cm}^{-3}$), e normalmente varia entre 25 e 40 mg cm^{-3} até a profundidade de $0,15 \text{ m}$ em solos do Cerrado (Sousa & Lobato, 2014). Houve elevação significativa do Fe do início em relação ao final do experimento, sendo de $117,3\%$, $90,9\%$ e $125,1\%$, respectivamente para os tratamentos I, II e III. Ao mesmo tempo houve variação entre os tipos de água, sendo que a Ac+ARB foi menor em relação a ARB (Tabela I. 4.5). A elevação do teor de Fe disponível é explicada pela redução do pH do solo.

Tabela I. 4.5. Teores de Fe³⁺, Zn e Mn na camada de 0-0,20 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo antes e depois do cultivo de Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego e adubação nitrogenada durante o inverno no Cerrado.

Parâmetro	Inicial *	Tipo de água **		
		Ac	Ac+ARB	ARB
Fe ³⁺ (mg cm ⁻³)	131,3 c	285,3 ab	250,7 b	295,5 a
Zn (mg cm ⁻³)	11,00 a	5,52 b	5,51 b	6,21 b
Mn (mg cm ⁻³)				
Adubação 0 kg N ha ⁻¹	115 aA	72,56 bA	61,96 bcA	50,7 cA
45 kg N ha ⁻¹	115 aA	54,05 bB	69,16 bA	30,54 cB

* Solo antes do experimento; ** Solo após o experimento com aplicação de Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

O teor de Zn do solo reduziu em 99,3%, 99,6% e 77,1%, respectivamente para os tratamentos I, II e III, não diferindo entre estes. Porém, todos os valores foram menores em relação ao início do experimento. Mesmo assim, os teores se mantiveram elevados (> 1,6 mg cm⁻³) (Sousa & Lobato, 2004). Rezende *et al.* (2018) registraram para o Tifton 85 a extração de 2,86 kg ha⁻¹ de Zn num cultivo com reúso de água residuária de suinocultura, sendo que não ocorreu alteração do teor no solo (5,27 mg cm⁻³), e atribuiu ao fornecimento em quantidades iguais ou superiores ao absorvido pela pastagem.

O teor de Mn inicial era elevado e assim se manteve mesmo após ao término do experimento (> 5,0 mg cm⁻³) (Sousa & Lobato, 2004). Entretanto, ocorreu redução significativa nos teores finais para todos os tratamentos, sendo de 58,5%, 85,6% e 126,8% usando 0 kg N ha⁻¹, e de 112,8%, 66,3% e 276,6% usando 45 kg N ha⁻¹, respectivamente para os tratamentos I, II e III, sendo que a ARB acentuou a redução do teor de Mn. Já nos tratamentos I e III, houve redução de Mn de 0 em relação a 45 kg N ha⁻¹. Observa-se que o teor de Mn do solo diminuiu pela absorção maior em relação aos demais micronutrientes e pelo estímulo para a sua absorção em resposta às cargas de N, P e K (Lei de Liebig ou Lei do mínimo) que foram crescentes na ordem I > II > III em 0 kg N ha⁻¹. Rezende *et al.* (2018) observaram que a extração de Mn pelo Tifton 85 ocorre de forma linear e positiva à dose deste nutriente quando fornecida pela água residuária de suinocultura.

No que se refere à variação nos teores de micronutrientes do solo face ao reportado na literatura pelo Tifton 85, a espécie apresenta taxas de absorção de Cu, Fe e Zn pouco responsivas à adubação de macronutrientes, diferentemente do Mn (Rezende *et al.*, 2018). Este comportamento pode ser o principal motivo pelo qual não houve interação dos tipos de água com a adubação nitrogenada para as respostas de Fe, Zn e Cu.

A disponibilidade de micronutrientes está mais relacionada com as alterações da acidez ativa do solo e pela sua concentração no resíduo orgânico incorporado, sendo que cada tipo de resíduo provoca um efeito particular. De modo geral, a aplicação de resíduos da bovinocultura no solo tende a acidificar o solo e, conseqüentemente, mantém elevadas as concentrações de Fe, Zn e Cu, além de outros micronutrientes como o Cl (Shlegel *et al.*, 2017).

Em contrapartida, resíduos alcalinos, como o da caprinocultura promovem a elevação do pH e conseqüente redução na disponibilidade de Cu em razão da sua complexação na MOS (Silva *et al.*, 2012). Com o emprego de água residuária da suinocultura, que também possui pH alcalino, entretanto, nem sempre ocorrem alterações nos teores de Fe, Cu e n, e este equilíbrio pode estar associado indiretamente à transferência para a água residuária dos resíduos da suplementação mineral que é fornecida aos animais de criação (Rezende *et al.*, 2018).

De modo geral, o solo apresentava teores de micronutrientes mais do que necessário para a condução da pastagem e, portanto, ainda que os tratamentos tenham promovido a diminuição destes teores, o solo permaneceu com níveis adequados. Salienta-se que os micronutrientes são importantes para o desenvolvimento vegetal, dado que estes atuam como constituintes de grupos prostéticos em metaloproteínas, parede celular e membranas, como ativadores de reações enzimáticas, e no envolvimento na tolerância ao estresse, no transporte de elétrons na fotossíntese e no crescimento reprodutivo (Kirkby & Römheld, 2007).

4.3. CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)

De acordo com a análise de variância do COT obtidos nas diferentes profundidades avaliadas do solo. Houve diferença com significância de 1% dentro dos tipos de água aplicados na camada de 0,10-0,20 m, já na camada de 0-0,20 m houve efeito significativo entre os blocos.

Os teores de COT nas diferentes camadas de solo após o experimento variaram de 32,33 g kg⁻¹ na camada de 0-0,1 m a 11,21 g kg⁻¹ na camada de 0,4-0,6 m (Tabela I. 4.6), sendo que na camada mais superficial os teores foram altos (Sousa & Lobato, 2004), o que normalmente ocorre em áreas com pastagem.

Tabela I. 4.6. Carbono orgânico total (g kg⁻¹) de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e/ou água de córrego durante o inverno no Cerrado para as camadas de solo de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.

Profundidade (m)	Inicial	Ac	Ac+ARB	ARB	Média
0,0-0,1	32,36	29,38 a	29,71 a	32,33 a	30,95
0,1-0,2	27,74	25,48 ab	21,37 b*	25,81 a	25,10
0,2-0,4	18,25	17,79 a	16,96 a	20,11 a	18,28
0,4-0,6	14,12	11,21 a	12,91 a	14,24 a	13,12

Inicial: antes da implantação do experimento; Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura. Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade. Médias dos tratamentos seguidas por * diferem do Inicial a pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

O teor de COT inicial na camada de 0-0,10 m foi abaixo dos 43,6% observados por Loss *et al.* (2013) em um Latossolo Vermelho com pastagem de Tifton 85 manejada em sequeiro, e dos 47,4% observados por Santos *et al.* (2022) em um Latossolo Vermelho com pastagem de Tifton 85 submetido ao reúso de água residuária da suinocultura por 5 anos consecutivos. Para a camada 0,20-0,40 m os teores COT foram similares (17,5%) e superiores na de 0,10-0,20 (19,3%) em comparação aos observados por Loss *et al.* (2013).

Na camada de solo de 0-0,10 m, tanto anteriormente à aplicação dos tratamentos, como nos tipos de água, os teores de MOS foram próximos, indicando que o saldo entre a reposição e a decomposição da MOS na superfície foi uniforme, quer seja pela deposição da fitomassa ou

também pela deposição dos resíduos da ARB. Em razão do solo já possuir inicialmente valor expressivo de matéria orgânica incorporada, a duração do experimento não foi longa o suficiente para que se pudesse observar algum incremento de COT. Quase sempre os ciclos de aplicação da água residuária não são capazes de elevar os níveis de COT, uma vez que sob condições adequadas ocorre a rápida mineralização da matéria orgânica adicionada (Silva *et al.*, 2011).

Peltre *et al.* (2017) trabalharam com diversos resíduos sólidos e notaram que o esterco bovino tem relativa baixa eficiência no incremento de C, e assumiram que este comportamento pode ser devido a maior proporção de amino açúcares em sua constituição, sugerindo que este seja um estímulo importante para a atividade microbiana em paralelo ao acúmulo de C recalcitrante. Os autores ainda complementam que a aplicação de resíduos de origem bovina no solo resulta numa MOS de maior estabilidade térmica.

A irrigação do Tifton 85, independentemente do tipo de água empregado, garantiu a manutenção do COT desde a superfície até a profundidade de 0,60 m. Como a camada de 0-0,40 m corresponde à zona efetiva do sistema radicular do Tifton 85 (Agyin-Birikorang *et al.*, 2012), admite-se que o sistema radicular da pastagem expressou bem seu potencial de crescimento, independente do tratamento, não alterando de forma expressiva entre os 0,40 e 0,60 m. Já a irrigação de Ac+ARB reduziu o COT na camada de solo de 0,10-0,20 m, em média de 15%. Essa redução se deve a degradação do C prontamente assimilável disponibilizado pela atividade da microbiota decompositora, como consequência da produção de exsudatos radiculares e de raízes senescentes (Fernandes *et al.*, 2011) em resposta simultânea à elevação da umidade do solo pela irrigação, à entrada dos nutrientes pela ARB e a menor entrada de resíduos orgânicos recalcitrantes em relação ao tratamento III.

Como explicado em detalhes no item 3.2, a pastagem havia sido implantada há 5 anos e o manejo de fertilidade seguiu as recomendações para pastagens de exploração intensiva, portanto, no início do experimento o solo já possuía um teor elevado de COT.

Em decorrência do intervalo entre a coleta da amostra inicial e das amostras finais ter sido de 106 dias, não se justifica discutir alguma possível alteração no COT sob a ótica do efeito *priming*. Sabe-se que diversos fatores influenciam a microbiota do solo na ocorrência do efeito *priming*, tais como o fornecimento inicial de nutrientes, elevação da umidade do solo e deposição de substratos energéticos (Oliveira *et al.*, 2019), e a intensidade deste efeito é relacionada ao estoque de carbono e nitrogênio resultante do solo (Jueschke *et al.*, 2008, Erthal *et al.*, 2010) e da presença de agendes inibidores como o Na (Oliveira *et al.*, 2019). O efeito *priming* é seguido pela estabilização da MOS aos níveis iniciais.

Os teores médios de DQO da ARB de 1495 mg O₂ L⁻¹ e de DBO de 323 mg O₂ L⁻¹, resultaram na relação DQO:DBO de 4,65, portanto, a ARB disponibilizou ao solo mais Carbono recalcitrante relação ao Carbono biodegradável. Portanto, a influência do tipo de água sobre a MOS pode ser explicada pela constituição da MO presente. Assim, a DQO representa a MO dificilmente biodegradável (Mangieri & Tavares Filho, 2019), enquanto a demanda bioquímica (DBO) está sujeita à degradação pelos microrganismos presentes no solo. Segundo von Sperling (1995), a relação DQO:DBO < 2,5 é favorável à biodegradação da MO da água residuária, enquanto a relação DQO:DBO > 3,5 indica alto teor da fração inerte.

Os tratamentos que utilizaram ARB+Ac na irrigação (II) resultaram em menor teor de COT em relação ARB (III) na camada de 0,10-0,20 m em torno de 17%. Portanto, a MO disponibilizada pela Ac+ARB não foi suficiente para repor as reservas de MO do solo em detrimento da decomposição dos compostos lábeis, estimulada pela disponibilização de água e nutrientes. Este processo de decomposição foi potencializado, sobretudo pelo fato de o experimento ter sido conduzido na estação seca do ano, época em que a atividade

microbiológica do solo é mais responsiva ao aumento da umidade do solo (Nogueira *et al.*, 2011).

No que se refere às interações do reúso com o COT, as pastagens têm como vantagem em relação a outras culturas o maior aporte de compostos orgânicos. Em Latossolos do Cerrado é fundamental a manutenção desses compostos que serão decompostos pelos microrganismos, atuarão na retenção de cátions e prolongarão os efeitos das adubações na produtividade da cultura (Sousa & Lobato, 2004). O reúso de uma água residuária com elevado teor de matéria orgânica, e a consequente adição de carbono no solo, tem em seu favor o contrabalanceamento dos efeitos negativos dos sais das águas residuárias sobre a estabilidade dos agregados do solo e reduz o risco de degradação estrutural (Hawke & Summers, 2006).

4.4. NITROGÊNIO TOTAL, RELAÇÃO C/N, FÓSFORO DISPONÍVEL, POTÁSSIO TROCÁVEL, SÓDIO TROCÁVEL

4.4.1. Nitrogênio total (NT)

A análise de variância para os dados de NT obtidos nas diferentes profundidades do solo indicou diferença com significância de 0,1% entre os tipos de água nas camadas de 0-0,10 e 0,20-0,40 m, e com significância de 1% também dentro dos tipos de água na camada 0,10-0,20 m.

A adubação nitrogenada aplicada não influenciou no teor de NT do solo ao final do ciclo de rebrota, indicando a absorção completa do nitrogênio proveniente desta fonte. Uma vez que, igualmente, não foi observada influência da adubação nitrogenada nos atributos morfológicos e bromatológicos do Tifton 85, é provável que a fonte mineral do nitrogênio tenha sido consumida, conjuntamente, pela atividade vegetal e microbiana do solo.

Na camada de solo de 0-0,20 m foram observados teores de NT entre 4,23 e 4,80 g kg⁻¹, próximos aos obtidos por Santos *et al.* (2022) no cultivo do Tifton 85 sem adubação nitrogenada (4,59 g kg⁻¹) e com a aplicação de água residuária da suinocultura correspondente à dose de 100

kg N ha⁻¹ (4,87%). Os teores de NT na camada de solo de 0,40-0,60 m foram em média de 1,28 g kg⁻¹, indicando que a influência da ARB no final do experimento com o Tifton 85 se limitou à profundidade máxima de 0,40 m (Tabela I. 4.7).

Tabela I. 4.7. Nitrogênio total (g kg⁻¹) do Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno, no Cerrado, nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.

Profundidade (m)	Ac	Ac+ARB	ARB	Média
0,0-0,1	4,796 a	4,233 b	4,231 b	4,42
0,1-0,2	3,629 a	3,132 b	3,335 ab	3,37
0,2-0,4	2,324 a	1,853 b	1,987 b	2,06
0,4-0,6	1,372 a	1,337 a	1,123 a	1,28

I Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

A irrigação com apenas Ac (tratamento I) resultou nos maiores teores de NT, justificado pela menor produção de matéria seca pela forrageira com este tratamento (item 4.1). O reúso resultou em média 12% menos NT na camada de 0-0,10 m e 17% na camada de 0,20-0,40 m ao final do ciclo de rebrota, quer seja, com Ac+ARB ou ARB. Na camada de solo de 0,10-0,20 m, a Ac+ARB também apresentou menor teor de NT em relação ao uso de Ac. Portanto, a carga de ARB aplicada não continha NT suficiente para elevar seu teor no solo frente à absorção pelo Tifton 85 e à utilização do nutriente pelos agentes microbiológicos do solo.

Os tratamentos com ARB forneceram entre 26 e 96 kg N ha⁻¹, sendo estas doses baixas para o potencial de extração da espécie forrageira. Segundo Rezende *et al.* (2018), para doses de 0 até 411 kg N ha⁻¹, o Tifton 85 sincroniza com eficiência de 87% a sua demanda por N conforme a disponibilização do nutriente pela água residuária, caracterizando um efeito benéfico no processo de ciclagem dentro deste intervalo de tempo.

Apesar do N-NO₃⁻ predominar na constituição da ARB em relação às outras formas do nitrogênio, o risco com a lixiviação do NO₃⁻ era baixo, face às características do solo do experimento e à lâmina de irrigação em déficit aplicada, pouco favorável a uma eventual percolação. Avaliações feitas em solos de diferentes texturas e com efluentes de diversas origens indicam maior suscetibilidade à lixiviação nos solos de textura mais arenosa e com

efluentes com maior concentração de nutrientes (Fan *et al.*, 2017; Qian *et al.*, 2018). O poder tampão relativamente alto da água residuária, combinado com a baixa condutividade hidráulica, são fatores limitantes para a lixiviação (Lado *et al.*, 2012).

Segundo Bowman *et al.* (2006), mesmo no reúso, a absorção do NO_3^- é preferencial em relação às outras formas do nitrogênio, sendo pouco limitada por fatores adversos como a salinidade da água empregada. Zhang *et al.* (2017) ainda salientam que, para maximizar a eficiência do N fornecido, o efluente deve ser aplicado quando o solo não está nem muito úmido ($\theta > 80\%$ da CAD) nem muito seco (umidade que restrinja o crescimento da forrageira).

Em complementação à espécie de composto nitrogenado, ressalta-se que a prática do reúso durante a estação seca também foi uma vantagem em termos de segurança ambiental. Fan *et al.* (2017) afirmam que é mais provável a ocorrência de lixiviação de nitrogênio quando há a associação do reúso com uma irrigação mal manejada e principalmente no período chuvoso.

4.4.2. Relação C/N

Na análise de variância para os dados de Relação C/N, obtidos nas diferentes profundidades do solo, não foram identificadas diferenças significativas ($p < 0,05$). A relação C/N do solo não variou para os tipos de água analisados. Sob o ponto de vista da aplicação da ARB, a MO não contribuiu para a diversificação da labilidade dos compostos orgânicos do solo. Isso indica que o solo vinha sendo bem manejado e possuía um estoque estável de MOS, e que o tempo decorrido do experimento não foi longo o suficiente para propiciar alguma alteração.

A ausência de variação entre os tipos de água é explicada pela presença da irrigação em todos os tratamentos. Para o caso da irrigação com Ac (sem adição de C), segundo Malcolm *et al.* (2019), a umidade adequada do solo por si só eleva as taxas de decomposição mesmo do Carbono mais estável, transformando-o em formas acessíveis às comunidades microbianas. Já

no caso da irrigação com ARB, a relação C/N do resíduo não é o único fator que determina os processos de imobilização/liberação do Nitrogênio no solo, tendo os autores obtido comprovação de que o Carbono presente nas águas residuárias tem ação na imobilização do Nitrogênio semelhante aos resíduos de mais alta relação C/N, como a palha que possui relação de 66:1, dada a sua alta disponibilidade para a degradação microbiana (Malcolm *et al.*, 2019) e da manutenção do ciclo de degradação/aporte de carbono (Vieira *et al.*, 2014).

As relações C/N foram crescentes com a profundidade do solo, com valores de 69,5, 72,6, 89,9 e 104,4. A relação C/N da camada de 0-0,10 m foi inferior à C/N de 79,4 obtida por Vieira *et al.* (2014) num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com *Brachiaria brizantha* em sistema extensivo. A relação C/N em Latossolos sob cultivo de pastagem apresenta semelhança à C/N do solo com vegetação nativa do Cerrado, provavelmente devido às poucas intervenções que o solo é submetido neste sistema, que favorece a manutenção dos teores de C e N (Vieira *et al.*, 2014).

4.4.3. Fósforo disponível

A análise de variância para os dados de P, obtidos nas diferentes profundidades avaliadas, indicou diferença significativa ($p < 0,001$) dentro dos tipos de água aplicados nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. A Tabela I. 4.8 apresenta os teores de fósforo presentes no solo após o ciclo da pastagem de 113 dias. A irrigação com Ac resultou na redução do teor de P em relação ao reúso com ARB sem diluição nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, sendo que na camada de 0,10-0,20 m o reúso com diluição também foi inferior ao sem diluição.

Tabela I. 4.8. Teor de fósforo (P) (mg kg^{-1}) do Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura (ARB) e água de córrego (Ac) durante o inverno, no Cerrado, nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.

Profundidade (m)	Ac	Ac+ARB	ARB	Média (mg kg^{-1})
0,0-0,1	2,709 b	4,161 a	4,086 a	3,65
0,1-0,2	1,040 b	0,910 b	1,576 a	1,18
0,2-0,4	0,490 a	0,537 a	0,583 a	0,54
0,4-0,6	0,331 a	0,322 a	0,358 a	0,34

Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (5% probabilidade).

O teor de P na camada arável de 0-0,20 m no início do experimento era $9,2 \text{ mg kg}^{-1}$, abaixo do teor crítico para que o crescimento do Tifton 85 responda positivamente, que é de 18 mg kg^{-1} (Franco *et al.*, 2020). Para uma forragem exigente como o Tifton 85, o P inicial era considerado médio para sistemas irrigados (Sousa & Lobato, 2004), porém ao final do experimento, na camada de solo de 0-0,20 m nos tratamentos I, II e III reduziu para o nível baixo, teores de $3,75$, $5,07$ e $5,66 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

As doses de P_2O_5 de $87,7$ e $175,4 \text{ kg ha}^{-1}$ (II e III, respectivamente) adicionadas via ARB foram suficientes para corrigir o nível de P no solo para o adequado desenvolvimento da forrageira, sendo superior a 75 kg ha^{-1} (Sousa & Lobato, 2004¹) e inferior à dose de P_2O_5 de 204 kg ha^{-1} considerada limite para a resposta efetiva da forrageira (Franco *et al.*, 2020). A redução da classe de disponibilidade do P demonstra que o sistema solo-planta explorou a totalidade do que foi fornecido via ARB e parte do pré-existente do solo. Com o uso de Ac, o acúmulo de P no solo foi nitidamente mais acentuada em razão de não ter sido feita adubação mineral fosfatada. Portanto, independentemente do tipo de água empregada, existe a necessidade da adubação fosfatada durante a rebrota do Tifton 85 irrigado no inverno.

A partir de 0,20 m de profundidade não foi observada diferença nos teores de P e nem evidência de lixiviação, mantendo, em média de $0,54 \text{ mg dm}^{-3}$ na camada 0,20-0,40 m e $0,34$

¹ Recomendação de adubação fosfatada corretiva de acordo com a disponibilidade de fósforo e com o teor de argila do solo (36-60%), em sistemas agrícolas irrigados.

mg dm⁻³ na camada de 0,40-0,60 m. A lixiviação de P ocorre quando os sítios de sorção deste no solo estão saturados, ou seja, depende da acumulação ao longo de vários eventos de aplicação de fontes fosfatadas (Hawke & Summers, 2006), o que não ocorreu no presente estudo. Quando da aplicação das águas residuárias, a lixiviação de P é mais comum quando de origem da suinocultura ou em solos cujo material de origem já possui elevado teor de P.

4.4.4. Potássio trocável

Na análise de variância para os dados de K, obtidos nas diferentes profundidades de solo, houve diferença significativa ($p < 0,001$) entre os tipos de água em todas as camadas de solo. Os teores de K observados na camada arável (0-0,20 m) estavam adequados nos solos que receberam somente Ac (71,8 mg dm⁻³) e o alto nos que receberam Ac+ARB (131,0 mg dm⁻³ e ARB (192,0 mg dm⁻³) (Tabela I. 4.9) (Sousa & Lobato, 2004)², não alcançando nível crítico que é de 630 mg dm⁻³ para o Tifton 85 (Coutinho *et al.*, 2014).

Tabela I. 4.9. Teor de potássio extraível (mg dm⁻³) do Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com fton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno, no Cerrado, nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.

Profundidade (m)	Ac	Ac+ARB	ARB	Média (mg dm ⁻³)
0,0-0,1	48,89 c	72,59 b	104,7 a	75,42
0,1-0,2	22,86 c	58,39 b	87,21 a	56,16
0,2-0,4	16,98 b	43,79 a	48,62 a	36,47
0,4-0,6	14,24 b	27,78 a	32,94 a	24,99

Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey (5% probabilidade).

Aos 106 dias (final do experimento), o uso de ARB (III) resultou em teores de K, no mínimo, 2 vezes superior àquele obtido sob irrigação com Ac (I) em todas as camadas de solo avaliadas, chegando a 3,8 vezes na camada de 0,10-0,20 m. O uso de Ac+ARB (II) promoveu maior teor de K em relação a irrigação com Ac nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m e, a

² Interpretação da análise do solo e recomendação de adubação corretiva de K para culturas anuais conforme a disponibilidade do nutriente em solos de Cerrado – CTCefetiva $\geq 7,0$.

partir dos 0,20 m de profundidade, a irrigação com Ac+ARB e ARB apresentaram teores semelhantes de K.

Diferentemente dos atributos anteriores, o K apresentou diferença entre os tratamentos até a profundidade de 0,60 m, indicando a ocorrência de lixiviação, sendo que a adubação nitrogenada não influenciou no teor de K do solo. O excesso de K no solo provoca alterações nas suas propriedades químicas e físicas, como a lixiviação de Ca e Mg das camadas mais superficiais, a sua própria lixiviação e a dispersão de argilas (Hawke & Summers, 2006).

A lixiviação do K é uma preocupação recorrente na prática do reúso, uma vez que o K proveniente da água residuária mais propenso à lixiviação quando comparado com uma adubação potássica mineral (Vilela *et al.*, 2018). Resultados semelhantes foram observados em experimentos com outras culturas e fontes de água residuária, como relatado por Wang *et al.* (2017), na alta concentração de K observada nas camadas de 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m com o uso de água residuária de suinocultura no cultivo de forrageiras diversas, incluindo gênero *Cynodon*. Rezende *et al.* (2018) registraram teor de K acima de 100 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,2-0,40 m com o emprego da água residuária de suinocultura em Tifton 85.

Uma vez que a capacidade de extração de K pelo Tifton é da ordem mínima de 302 kg ha⁻¹ (Rezende *et al.*, 2018), assumem-se valores excedentes de 97 a 495 kg ha⁻¹, resultantes dos Ac+ARB e ARB, ressaltando a importância do equilíbrio entre a capacidade de absorção da cultura e a quantidade de K aplicada via ARB.

Para pastagens exigentes o ideal é que a adubação potássica seja suficiente para alcançar 117 mg dm⁻³ (Pereira *et al.*, 2018). Portanto, dados os níveis de K na camada de solo de 0-0,20 m obtidos no final do experimento com aplicações de ARB, dispensar-se-ia a necessidade de adubação potássica para um ciclo subsequente de cultivo do Tifton 85, e a complementação de apenas 36% da necessidade da forrageira (109 kg ha⁻¹) em um segundo ciclo, desde que não ocorra lixiviação.

O Tifton 85 apresenta maior capacidade de absorção de K do solo quando sob condições de temperaturas mais elevadas e maior oferta de luminosidade, que são mais favoráveis para o crescimento da forrageira, como nas estações de primavera e verão (Oliveira *et al.*, 2019). Portanto, como a forrageira não estava em condição de máxima absorção do K disponibilizado pela ARB, é importante que as aplicações da ARB em intervalos de tempo adequados à curva de absorção da cultura para minimizar a lixiviação.

O K provoca efeito residual sobre a produtividade agrícola nos solos do Cerrado, e este efeito depende principalmente da extração pelas culturas e das perdas por lixiviação. Portanto, a utilização de uma espécie exigente nutricionalmente e responsiva à fertilidade do solo como o Tifton 85 é uma estratégia válida para limitar tais efeitos residuais (Sousa & Lobato, 2004).

4.4.5. Sódio trocável

De acordo com a análise de variância do Na⁺, obtido nas diferentes profundidades de solo, houve diferença significativa ($p < 0,001$) dentro dos tipos de água nas três camadas mais superficiais e no percentual de Na⁺ trocável da camada de 0-0,20 m. Houve interação significativa entre o tipo de água e a adubação nitrogenada para as profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 m e PST ($p < 0,001$) e 0,20-0,40 m ($p < 0,01$). Como a interação foi significativa, isso indica que os fatores “dose de nitrogênio” e “tipo de água” agem de modo dependente sobre a concentração de Na⁺ no solo.

O teor de Na do solo foi mais elevado quando houve o emprego de ARB e Ac+ARB dentro de cada camada avaliada até a camada de 0,20-0,40 m, com mais intensidade quando do uso de ARB. Na camada de 0,40-0,60 m não foi observada diferença entre os tratamentos, mantendo-se o teor médio de 1,12 mg dm⁻³ (Tabela I. 4.10).

Tabela I. 4.10. Teor de sódio trocável (mg dm^{-3}) nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m e percentual de sódio trocável ($\text{PST}_{0-0,20}$, %) da camada de 0-0,10 m em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e/ou água de córrego e adubação nitrogenada durante o inverno no Cerrado

Profundidade (m)	Tratamentos	Inicial	Ac	Ac+ARB	ARB	Média
0-0,1	0	0,000	1,731 bA	2,354 bA	3,811 aB	2,632 A
	45	-	0,555 cB	2,769 bA	4,707 aA	2,677 A
	Média	0,000	1,143 c	2,562 b	4,259 a	
0,1-0,2	0	0,000	1,523 bA	1,627 bA	3,184 aA	2,112 A
	45	-	0,485 cB	1,939 bA	3,323 aA	1,916 A
	Média	0,000	1,004 c	1,783 b	3,254 a	
0,2-0,4	0	0,000	0,693 bB	2,146 aA	2,492 aA	1,777 A
	45	-	1,264 bA	2,512 aA	2,146 aA	1,974 A
	Média	0,000	0,978 b	2,329 a	2,319 a	
0,4-0,6	0	0,000	0,946 abA	0,485 bA	1,523 aA	0,985 A
	45	-	0,946 aA	1,223 aA	1,593 aA	1,254 A
	Média	0,000	0,946 a	0,854 a	1,558 a	
$\text{PST}_{0-0,20}$ (%)	0	0,000	21,58 bA	27,11 bA	43,68 aA	30,79 A
	45	-	7,402 cA	32,17 bA	51,20 aA	30,26 A
	Média	0,000	14,49 c	29,64 b	47,44 a	

Inicial – antes da implantação do experimento; Ac: água de córrego; Ac+ARB na proporção 1:1; ARB: água residuária de bovinocultura; 0: sem adubação com ureia (0 kg N ha^{-1}); 45: com adubação com ureia (45 kg N ha^{-1}). Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra minúscula na linha e mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

O uso de Ac+ARB ou ARB resultou em um aumento do teor de Na^+ no solo até aos 0,40 m de profundidade. Normalmente, em Latossolos Vermelho-Amarelos a lixiviação é inversa à reatividade dos íons, e no caso de águas residuárias salinas a preferência de interação solo-soluto segue a ordem $\text{K} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$ (Souza *et al.*, 2020), o que possibilita a lixiviação de Na^+ , por exemplo, para camadas de solo abaixo da zona radicular (20-40 cm) (Menegassi *et al.*, 2020).

A concentração de Na^+ na ARB (38 mg L^{-1}) é suficientemente elevada para promover a acumulação do íon no Latossolo Vermelho-Amarelo considerando a contextualização:

- (i) A diluição de 50% (resultando em 19 mg L^{-1}) também promoveu elevação do teor do íon;

(ii) Aplicação em um cultivo com boa capacidade de extração de Na^+ do solo como o Tifton 85, porém, numa época em que a cultura possivelmente não expressou seu potencial de absorção devido às limitações metabólicas dependentes da condição climáticas;

(iii) A irrigação em déficit aplicada, com lâmina média de 15,3 mm por evento (Tabela I. 3.4), associado à estação seca, que limitou a lixiviação do íon e, em consequência, favoreceu a sua acumulação nas camadas mais superficiais.

A adubação nitrogenada resultou no menor teor de Na^+ para o tratamento Ac-45 em relação ao Ac-0 para as camadas de solo de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, implicando inicialmente que com a adubação nitrogenada o Na pode ter sido removido em maior quantidade. Entretanto, para a camada de 0,20-0,40 m, houve mais Na^+ no solo com o tratamento Ac-45, o que pode representar uma eventual lixiviação do íon.

Para os solos irrigados com Ac+ARB e ARB nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m os teores de Na^+ do solo foram crescentes na medida em que se aumentou a quantidade de ARB. Não houve diferença estatística dentro de cada nível de adubação nitrogenada para estas duas camadas, exceto no tratamento ARB na camada de 0-010 m. Isto indica que a adubação nitrogenada pode ter limitado a absorção de Na^+ pelo Tifton 85 ou favorecido a absorção de outros sais em detrimento do Na^+ , como Ca e Mg, em função da entrada de Na^+ via água residuária e a consequente substituição do Ca^{2+} e do Mg^{2+} na superfície dos coloides (Miyoto *et al.*, 2019). Num cenário de aplicação de ARB em longo prazo é necessário que se tenha atenção em razão da contribuição destas trocas de cátions para o acúmulo de Na^+ e a sua movimentação no perfil do solo (Gloaguen *et al.*, 2007).

O aumento observado para o sódio trocável indica tendência semelhante à observada por Schlegel *et al.* (2017) em um experimento de longa duração (10 anos) com cultivo de milho com a aplicação de resíduos de diversas origens, em que foi constatado que os resíduos de origem bovina provocaram aumento do sódio trocável, enquanto resíduos e águas residuárias de outras fontes não influenciaram as concentrações do íon. A suplementação do Na^+ é fornecida aos bovinos em razão da baixa oferta deste mineral nas pastagens de todo o mundo

(Tokarnia *et al.*, 2000), e justifica o teor de Na⁺ presente nas excretas destes animais. Portanto, sob o ponto de vista da integração agrônômica e zootécnica, é importante avaliar se a entrada de Na⁺ na composição da forrageira será relevante para interferir na dosagem da suplementação mineral aos animais.

A PST_{0-0,20} máxima observada foi de 47,44% para a condição de irrigação com ARB. Com Ac, a PST_{0-0,20} do solo foi na ordem de 7,4%. Antes das aplicações, a concentração de Na⁺ no solo o enquadrava como não-sódico (PST < 7%) (Amorim, 2010). Após as aplicações, o teor de Na⁺ trocável foi elevado, passando para fortemente sódico (21% a 30%) nos solos do tratamento Ac+ARB-0 e excessivamente sódico (> 30%) em todos os demais casos em que alguma quantidade de ARB foi aplicada.

O aumento no teor de Na⁺ reforça a necessidade da integração de práticas de manejo do solo que atenuem ou contrabalanceiem estas alterações. A tolerância da planta ao Na⁺ parte da estabilização da estrutura do solo, que garantirá aeração e movimentação de água adequada (Ayers & Westcot, 1994), entretanto, quando se almeja remediar as consequências para o solo, é importante empregar culturas mais eficientes na absorção do Na⁺ (Gonçalves *et al.*, 2007).

O valor de CE médio da ARB, igual a 0,54 dS/m, classifica esta água como de salinidade baixa, de acordo com Ayers & Westcot (1994), sugerindo um baixo risco de lixiviação quando do reúso da ARB. No entanto, quando se avalia os valores médios da CE e da RAS da ARB (0,54 dS/m e 2,6 mmol_c^{1/2}), constata-se um risco moderado de comprometimento da infiltração de água no solo. Altas concentrações de sódio, em desequilíbrio com as concentrações de cálcio e magnésio, podem levar à consequente impermeabilização de um solo de textura argilosa (Paganini, 2003), como é o caso do solo do presente experimento.

O Tifton 85 tem alta capacidade de remoção de Na⁺, imobilizando na sua biomassa até 4,67 kg ha⁻¹ corte⁻¹ num cenário de aplicação de até 164 kg Na⁺ ha⁻¹ ano⁻¹ via reúso (Oliveira *et al.*, 2017), sendo que esta remoção se correlaciona forte e linearmente com a remoção de N e P

(Oliveira *et al.*, 2021). Entretanto, os níveis de Na⁺ e de PST_{0-0,20} obtidos com o reúso da ARB são suficientes para causar efeitos adversos no Tifton 85, uma vez que as forrageiras do gênero *Cynodon* toleram PSTs de até 40% (Ayers & Westcot, 1994).

Ainda que o teor de Na⁺ trocável tenha se elevado com o uso da ARB, não foi observado o comprometimento do desenvolvimento da forrageira em relação ao uso de Ac. Segundo Alonso *et al.* (2016), mesmo sob condições de solo salino é possível alcançar índices de produtividade e qualidade da forrageira para o Tifton 85 suficientes para atender à demanda animal, desde que a forragem receba adubação nitrogenada e seja feito um manejo do pastejo adequados.

É importante ressaltar que a degradação do solo causada pelo Na⁺, como a redução da capacidade de infiltração de água e da sua condutividade hidráulica, consequência da dispersão das argilas está mais propensa de ocorrer nos solos que recebem cargas de Na⁺ com maior frequência e depende da concentração do íon na água, sendo que estes efeitos prejudiciais decorrem tanto no reúso quanto na irrigação convencional (Ayers & Westcot, 1994; Erthal *et al.*, 2010; Gonçalves *et al.*, 2007).

Ações de controle do Na⁺ na ARB são práticas também relevantes para a conservação do solo no contexto da contaminação por Na⁺. No que se refere ao tratamento da ARB, sugere-se investir no aumento da eficiência de remoção do Na⁺ pelo sistema de tratamento empregado que, no caso em estudo, foi realizado por lagoas de estabilização com tempo de detenção hidráulica de cerca de 20 dias. Salienta-se ainda a importância da manutenção da MOS para suprimir a dispersão das partículas do solo causada pela elevação condutividade elétrica da solução (Leuther *et al.*, 2019).

4.5. ESTOQUES DE C, N, P E K NO SOLO

A camada de solo de 0-0,40 m corresponde à zona efetiva do sistema radicular do Tifton 85 (Agyin-Birikorang *et al.*, 2012) e, portanto, foi conveniente verificar o quanto ela pode ter sido influenciada pelas aplicações de ARB. Neste contexto, buscou-se identificar alguma alteração nos constituintes do solo, haja visto que a qualidade e a quantidade dos substratos orgânicos exógenos adicionados ao solo e o estímulo na atividade da biomassa microbiana são capazes de favorecer a mineralização da MOS nativa (Fernandes *et al.*, 2011).

A partir da análise de variância para os dados de estoque de alguns nutrientes representativos, existentes na camada de solo 0-0,40 m, observou-se uma diferença significativa ($p < 0,001$) dentro dos tipos de água aplicados em todos os estoques.

A correlação de Pearson entre os estoques determinados demonstra que há relação significativa mantida entre a base da MOS (C) e os principais macronutrientes (P, K), exceto para o N. No entanto, os estoques de P e K apresentaram correlação forte entre si, e correlação moderada com o estoque de N.

Tabela I. 4.11. Matriz de correlação de Pearson dos estoques de C, N, P_{disp} e K_{troc}, na profundidade 0-0,40 m, em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e/ou água de córrego e adubação nitrogenada durante o inverno no Cerrado

	C	N	K	P
C	1			
N	0,97 ^{NS}	1		
K	0,42	0,62	1	
P	0,32	0,51	0,93	1

A Tabela I. 4.12 apresenta os estoques obtidos após um ciclo de rebrota do Tifton 85. O reúso da ARB foi o que mais elevou os estoques de C, N, P e K no solo, correspondendo a, 1,1, 1,9 e 2,8 vezes ao obtido com a irrigação com Ac. O reúso da Ac+ARB promoveu estoques maiores do que com a irrigação com Ac apenas para todos os nutrientes, com exceção do N.

Tabela I. 4.12. Estoques de carbono, nitrogênio, fósforo e potássio da camada de solo de 0-0,40 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com Tifton 85 submetido a aplicações de água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno, no Bioma Cerrado.

Estoque de sais (Mg ha ⁻¹)	Ac	Ac+ARB	ARB	Média
C	93,11 ab	87,50 b	97,96 a	95,04
N	15,24 b	14,59 b	17,29 a	15,71
P	5,139 b	8,151 a	9,726 a	7,672
K	105,2 c	195,7 b	300,6 a	200,6

Ac: Aplicação de semente de córrego (I); Ac+ARB: aplicação de Ac e água ARB 1:1 (II); ARB: aplicação de ARB (III). Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

O estoque de C do solo com o uso de Ac+ARB foi inferior ao uso de ARB, possivelmente em razão da mineralização da MOS nativa do solo irrigado com Ac+ARB, tendo em contrapartida uma menor quantidade de MO adicionada por este tipo de água. No reúso de água residuária da suinocultura em cultivo de Tifton 85, Santos *et al.* (2022) notaram uma conexão entre o estoque de C e a quantidade de C adicionada pela água de reúso.

Com o uso de Ac, o estoque obtido é consequência do alto conteúdo de C da MOS nativa e que foi conservado em decorrência de não ter sido fornecida adubação mineral em quantidades que estimulasse sua decomposição de forma acentuada. Além disso, segundo Loss *et al.* (2013), a irrigação por si só proporciona a manutenção do C do solo pelo acúmulo de compostos orgânicos mais estáveis advindos da biomassa da forrageira e favorece o aumento mais sensível das frações mais lábeis.

A maior quantidade de MO acrescentada no solo pela ARB elevou em 15,9% no estoque de N e a sua respectiva ciclagem, sendo obtidos estoques entre 14,6 e 17,3 Mg N ha⁻¹. Num experimento semelhante com água residuária de suinocultura, os estoques de N não sofreram diferenciação com os diferentes tipos de água empregados (Santos *et al.*, 2022).

Ao considerar a quantidade de ARB aplicada, nota-se que o K apresentou estoques crescentes e, portanto, passíveis de seres associados diretamente à composição da água de irrigação. A concentração elevada de K na ARB, mesmo com a sua diluição, superou a

necessidade nutricional do Tifton 85 numa escala suficientemente grande para proporcionar diferença nos estoques de K.

As quantidades de P adicionadas no solo pelos tratamentos com ARB somadas aos teores iniciais no solo foram consideradas suficientes para o desenvolvimento adequado do Tifton 85 e geraram estoques de P semelhantes nos tratamentos Ac+ARB e ARB. O solo irrigado com Ac apresentou estoque de P em média $3,80 \text{ Mg ha}^{-1}$, inferior aos demais.

No reúso de água residuária da suinocultura em cultivo de Tifton 85, Santos *et al.* (2022) notaram influência da adubação (mineral ou orgânica) sobre o estoque de C na camada do solo de 0-0,30 m, a conexão entre os estoques e a quantidade de C adicionada pela água de reúso, e a forte correlação do estoque de MOS (C, N e S) com a produtividade da forrageira.

Os estoques de COT, NT, P e K na camada 0-0,40 m puderam ser agrupados hierarquicamente em 4 grupos distintos: Grupo I: composto pelos tratamentos que utilizaram Ac; Grupo II: composto pelos tratamentos que utilizaram Ac+ARB; Grupo III: composto pelo tratamento que utilizou somente ARB, sem adubação nitrogenada; e Grupo IV: composto pelo tratamento que utilizou somente ARB, com adubação nitrogenada. Portanto, cada um dos tipos de água empregado resultou em um estado particular de estoque destes 4 nutrientes do solo, havendo uma diferenciação nos estoques para o tratamento III-45 em relação ao III-0, sendo que o reúso da ARB, mesmo sem diluição, promoveu diferenças significativas no que compreende às propriedades químicas Latossolo Vermelho-Amarelo.

A análise dos componentes principais mostrou que os estoques de C, N, P e K na zona radicular efetiva do Tifton 85 respondem positivamente a um mesmo conjunto de fatores que compõem a CP1. Reunindo as variáveis, vê-se que 72,33% da variabilidade dos dados é explicada pela componente principal 1 (CP1) e 25,94% é explicada pela componente principal 2 (CP2), em que, juntas, explicam 98,27% da variabilidade dos resultados (Figura I. 4.3).

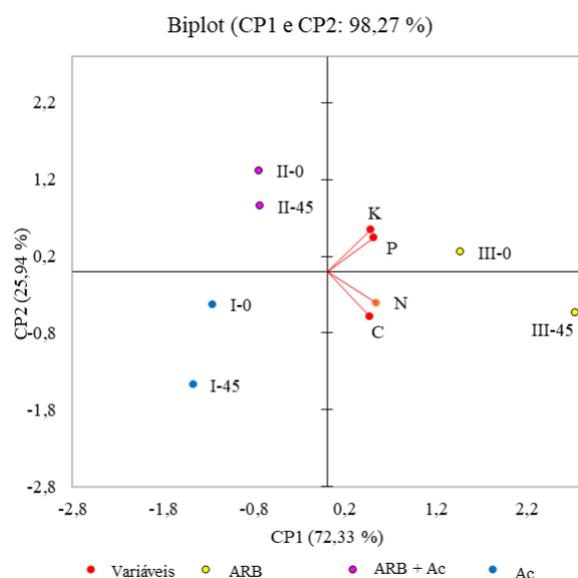


Figura I. 4.3. Componentes principais para as variáveis-chave de estoques de C, N, P e K na camada de solo de 0-0,40 m em solo cultivado com Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de córrego durante o inverno, no Bioma Cerrado.

A distribuição dos grupos de tratamento (I, II e III) ao longo do eixo da CP1 ilustra com clareza o distanciamento entre eles, o antagonismo entre os tratamentos Ac e Ac+ARB em relação a ARB, e permite identificar a intensidade com que cada grupo influenciou os estoques na zona radicular efetiva. O grupo I se distribuiu no 3º quadrante, assumindo valores negativos para as duas componentes. O grupo II se distribuiu no 2º quadrante, com valores positivos para a CP2 e negativos para a CP1. O grupo III se distribuiu com valores positivos para a CP1 para a CP2. E o grupo IV se distribuiu com valores positivos para a CP1 e negativos para a CP2.

Pode-se relacionar a CP1 aos fatores que favorecem em simultâneo o aumento da MOS e dos principais macronutrientes, tais como: o fornecimento destes pela carga contida na água de irrigação; a decomposição e disponibilização das reservas do solo em resposta ao aumento da umidade do solo promovida pela irrigação; e a própria incorporação/manutenção de MOS relativa ao desenvolvimento da forrageira. Os grupos III e IV, distribuídos ao longo do eixo positivo da CP1, reforçam este indicativo por terem proporcionado maior produtividade e maiores estoques individuais por camada, sobretudo de K e P.

A CP2 interfere positivamente sobre os estoques de P e K, ao mesmo tempo que se correlaciona positivamente com os tratamentos Ac+ARB-0, Ac+ARB-45 e ARB-0, todos os estes aplicaram alguma quantidade de ARB. De fato, a composição da ARB era rica em K e continha quantidade de P suficiente para a manutenção da pastagem. A quantidade de K e P fornecida pela ARB foi bem mais elevada que a de nitrogênio, o que explica a relação inversa do estoque de N.

O tratamento ARB-45 no 4º quadrante reforça uma relação negativa com a CP2, bem como os tratamentos do grupo I e os estoques de C e N. Com este resultado, nota-se a sensibilidade da manutenção dos estoques de C e N do solo na presença da adubação nitrogenada em dois cenários distintos: na irrigação com Ac, e sem o fornecimento de outros nutrientes; e na irrigação efetuando o reúso com ARB, sem a sua diluição.

Da resposta observada no grupo IV, a adubação nitrogenada promoveu um efeito deletério no que se refere ao estoque destes dois nutrientes, com o favorecimento da mineralização da base da MOS do solo (C) e a consequente disponibilização do N para que pudesse ser absorvido. No que se refere ao grupo I, este efeito deletério apresentou maior intensidade, evidenciando a importância da incorporação de matéria orgânica e de outros nutrientes ao solo, além do nitrogênio, para manter a MOS na zona radicular efetiva.

Assim, CP2 está relacionada com os fatores que interferem nos processos de mineralização e fixação da MOS, com destaque para as condições ambientais e a fertilidade do solo, nesta ordem. A sazonalidade climática interfere diretamente no desempenho para o acúmulo de biomassa do Tifton 85, de modo que, no inverno, este desempenho é reduzido para em torno de 78% da produtividade no verão (Menegassi *et al.*, 2020). Paralelo a isso, a atividade microbiológica do solo, responsável pela decomposição da MOS, é mais responsiva ao aumento da umidade do solo durante a estação seca (Nogueira *et al.*, 2011). Tendo o equilíbrio entre

estes processos em consideração, reforça-se a dispensa da adubação nitrogenada para o caso de se irrigar com ARB.

4.6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Numa análise generalizada, o Tifton 85 apresentou resultados satisfatórios em produtividade e qualidade bromatológica quando irrigado com água residuária de bovinocultura em relação à água do córrego, portanto, sob o ponto de vista zootécnico, o reúso é uma alternativa para reduzir os custos com fertilizantes na produção de alimento volumoso durante o inverno no Cerrado. Salienta-se que a adubação nitrogenada com ureia, na dose de 45 kg ha⁻¹, não causou efeitos sobre a produtividade e as variáveis bromatológicas mesmo na pastagem irrigada somente com Ac, o que permite dispensá-la nesta época do ano.

O reúso da água residuária de bovinocultura na irrigação é uma alternativa que proporciona a ciclagem adequada de nutrientes como nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e da matéria orgânica do solo no cultivo do Tifton 85, e apresenta efeitos globais claramente distintos sobre os parâmetros do solo em relação à irrigação com água do córrego. Entretanto, ressalta-se a necessidade de cautela no manejo da irrigação no que se refere à quantidade de água residuária de bovinocultura aplicada neste período do ano, no qual a forrageira manifesta menor capacidade extratora proporcional à sua atividade metabólica. Os teores elevados de potássio e sódio da água residuária de bovinocultura inviabilizam a sua utilização em quantidades maiores que 244 mm por ciclo de rebrota no inverno sob risco de acúmulo no perfil do solo até a profundidade de 0,60 m.

A disponibilização dos principais nutrientes (exceto N) e a manutenção da matéria orgânica do solo apresentaram melhores indicadores com o reúso, entretanto, o reúso da água residuária de bovinocultura não isenta da necessidade de correção da acidez ativa do solo, da

reposição de nitrogênio, fósforo e das bases. Portanto, pode-se recorrer ao reúso da água residuária de bovinocultura como substituição parcial das práticas de manejo da fertilidade do solo.

A seguir são pontuadas as principais conclusões para cada um dos aspectos avaliados neste experimento.

5. CONCLUSÕES

Desempenho da forragem de Tifton 85

i. O reúso de água residuária de bovinocultura na irrigação da pastagem de Tifton 85 no inverno proporcionou maior acúmulo de biomassa e de atributos nutricionais em comparação à irrigação com apenas água de córrego;

ii. A irrigação com água residuária de bovinocultura durante um ciclo de rebrota no inverno foi suficiente para que o Tifton 85 atingisse qualidade nutricional considerada regular para a espécie, diferentemente da irrigação com água de córrego;

iii. A adubação nitrogenada de 45 kg N ha⁻¹ não foi suficiente para incrementar produção de biomassa de forragem e qualidade nutricional ao Tifton 85;

iv. A aplicação de pelo menos 26 kg N ha⁻¹, 87,7 kg P ha⁻¹ e 399 kg K ha⁻¹ via água residuária de bovinocultura (que corresponde a água residuária de bovinocultura diluída 1:1) é o mínimo necessário para que o Tifton 85 se desenvolver sem déficit nutricional no inverno nas condições do Cerrado.

Atributos químicos do solo

i. O cultivo do Tifton 85 irrigado quer seja com água do córrego ou com água residuária de bovinocultura, deve ser associada ao fornecimento de micronutrientes, de fósforo, e à correção do pH do solo para garantir a sustentação das bases do solo, a disponibilidade de nutrientes e a redução do risco de lixiviação;

ii. O reúso da água residuária de bovinocultura proporcionou a manutenção da matéria orgânica no solo, sendo que a irrigação com água do córrego resultou em menor teor de matéria orgânica no solo em relação à irrigação com água residuária de bovinocultura (bruta ou diluída);

iii. O nitrogênio total do solo resultante do período de rebrota foi menor nas áreas que receberam água residuária de bovinocultura, indicando alterações na dinâmica de absorção do nutriente no sistema solo-planta;

iv. O solo manteve constante a sua relação C/N independentemente do tipo de água empregado na irrigação durante o inverno, sendo que os valores médios se mantiveram abaixo de 10:1;

v. A irrigação com água residuária de bovinocultura resultou em níveis de fósforo no solo abaixo do requerido para pastagens em sistema intensivo;

vi. A água residuária de bovinocultura apresentou elevados teores de potássio e sódio, o que refletiu aumento dos seus respectivos valores no solo para níveis considerados altos, sendo observadas alterações até a profundidade de 0,40 m para o sódio e até 0,60 m para o potássio;

vii. O reúso da água residuária de bovinocultura proporcionou o maior estoque de C, N, P e K no solo em relação ao uso da água do córrego no cultivo do Tifton 85.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDINSOFT. XLStat 2013: **Statistical software do MS Excel**. Addinsoft: New York, USA, 2013.
- AGYIN-BIRIKORANG, S.; NEWMAN, Y. C.; KASOZI, G. N. Environmentally Sustainable Nitrogen Fertilizer Management for “Tifton 85” Hay Production in Sandy Soils. **Crop Science**, v. 52, n. 1, 2012, p. 442-450. doi:10.2135/cropsci2011.03.01
- ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.4, p.369-376, 2005. Doi: 10.1590/s0100-204x2005000400008
- ALONSO, M. F.; KAFFKA, S. R. Bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) yield and quality under different levels of salinity, nitrogen and trace minerals: A container trial evaluation. **Agro Sur**, v. 44, p. 35-44, 2016. DOI: <https://10.4206/agrosur.2016.v44n2-05>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; VERNEQUE, R. S.; BOTREL, M. A. Resposta do Tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2345-2352, 1999.
- AMARAL, M. A. C. M. Desempenho produtivo de *Cynodon* spp. Cv. Tifton 85 sob diferentes condições de manejo da irrigação. **GEAMÃ: Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 30-37, 2019.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) (2017) **Standard method for examination of water and wastewater**, 23 ed. APHA, AWWA, WPCF, Washington.
- ANDRADE, W. R.; SALES, E. C. J.; MONÇÃO, F. P.; GOMES, V. M.; RUFINO, L. D. A.; PIRES, D. A. A. Hay Tifton 85 grass under nitrogen doses in different days os regrowth. **Acta Scientiarum, Animal Sciences**, v. 40, 2018. DOI: 10.4025/actascianimsci.v40i1.37692
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1994. Disponível em: <http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm> Acesso em: 05/03/2020.
- AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.609-617, 2004. Doi: 10.1590/S0103-84782004000200046
- BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. **O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura brasileira**. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. IPNI, p. 137-191, 2010.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C; SILVA, D. D.; SOARES, A.A. **Manual de irrigação**. 9.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2019. 545p.
- BORGES, L. D. A. B.; RAMOS, M. L. G.; FERNANDES, P. M.; CARNEIRO, M. A. C. & SILVA, A. M. M. Organic cultivation of sugarcane restores soil organic carbon and nitrogen. **Organic Agriculture**, v.9, n.4, p. 435-444, 2019.

- BOWMAN, D. C.; DEVITT, D. A.; MILLER, W. W. The effect of moderate salinity on nitrate leaching from Bermudagrass Turf: a lysimeter study. **Water, Air, and Soil pollution**, v. 175, p. 49-60, 2006.
- CAMERON, K. C.; DI, H. J. A new method to treat farm dairy effluent to produce clarified water for recycling and to reduce environmental risks from the land application of effluent. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 2290-2302, 2019.
- CARVALHO, A. M. X.; MENDES, F. Q.; MENDES, F. Q.; TAVARES, L. F. Speed Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n.3, 2020.
- CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma**, v. 267, n. 1, p. 156-168, 2016.
- COLLINS, M.; HANNAWAY, D. B. Forrage: related animal disorders. In: BARNES, R. F.; NELSON, C. J.; COLLINS, M.; MOORE, K. J. (Ed.). **Forages: an introduction to grassland agriculture**. 6th. ed. Iowa: Blackwell Publishing professional, 2003, v. 1. p. 415-441.
- COLUSSI, G.; SILVA, L. S.; MINATO, E. A. Escarificação e adubação orgânica: efeito na recuperação estrutural de solo produzindo Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p.1956-1961, 2014.
- COMASTRI FILHO, J. A.; POTT, A. **Metodologia para avaliação de forrageiras**. Corumbá: Embrapa, Documentos, n. 2, 27 p., 1982.
- COUTINHO, E. L. M.; FRANCO, H. C. J.; ORIOLI JUNIOR, V.; PASQUETTO, J. V. G.; PEREIRA, L. S. Calagem e adubação potássica para o capim-tifton 85. **Bioscience Journal**, v. 30, supplement 1, p. 101-111, 2014.
- CUNHA, F. F.; RAMOS, M. M.; ALENCAR, C. A. B.; OLIVEIRA, R. A.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; CECON, P. R.; ARAÚJO, R. A. S. Produtividade da Brachiaria brizantha cv. Xaraés em diferentes manejos e doses de adubação, períodos de descanso e épocas do ano. **IDESIA** (Chile), v. 30, n. 1, p. 75-82, 2012. DOI: 10.4067/S0718-34292012000100009
- DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. Suprema: Visconde do Rio Branco, 2012. 214p.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010a.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais, e rendimento de forrageiras fertigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.458-466, 2010 b.
- FAN, J.; XIAO, J.; LIU, D.; YE, G.; LUO, J.; HOULBROOKE, D.; LAURENSEN, S.; YAN, J.; CHEN, L.; TIAN, J.; DING, W. Effect of application of dairy manure, effluent and inorganic fertilizer on nitrogen leaching in clayey fluvo-aquic soil: a lysimeter study. **Science of the Total Environment**, v. 592, n.15, p. 206-214, 2017.
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186 p.: il. – Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente.

- FERNANDES, A. H. B. M.; CARDOSO, M. A.; SOUZA, R. A. C.; FERNANDES, F. A.; SOARES, M. T. S.; CRISPIM, S. M. A.; GALVANI, F.; LISITA, F. O. Nitrificação e mineralização de carbono em solos tratados com dejetos suínos biodigeridos. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 15 p., 2011.
- FRANCO, H. C. J.; BORGES, B. M. M. N.; CASTRO, S. A. Q.; MEGDA, M. X. V.; MEGDA, M. M.; GARSIDE, A. L.; COUTINHO, E. L. M. Phosphorus sources residual effects on Tifto 85 production and nutritive value cultivated in a tropical weathered soil. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 3., p. 968-975, 2020.
- GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília: IICA/EMBRAPA-CNPGL, 197 p., 1986.
- GLOAGUEN, T. V.; FORTI, M. C.; LUCAS, Y.; MONTES, C. R.; GONÇALVES, R. A. B.; HERPIN, U.; MELFI, A. J. Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Soil Management**, v. 88, p. 119-131, 2007. Doi: 10.1016/j.agwat.2006.10.018
- GOMES, E. R. S.; SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; VILAS BOAS, M. A.; ALVES, L. F. A.; SOBRINHO, T. A. Movimento de nitrato proveniente de água residuária em colunas de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 557-568, 2004.
- GONÇALVES, R. A. B.; FOLEGATTI, M. V.; GLOAGUEN, T. V.; LIBARDI, P. L.; MONTES, C. R.; LUCAS, Y.; DIAS, C. T. S.; MELFI, A. J. Hydraulic conductivity of a soil irrigated with treated sewage effluent. **Geoderma**, v. 139, p. 241-248, 2007.
- GONÇALVES, M. S.; RIBEIRO, W. R.; REIS, E. F.; CÓSER, A. C. Bromatologia de gramíneas tropicais sob diferentes tensões de água no solo em ambiente protegido. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 4, p. 415-421, 2018.
- HAWKE, R. M.; SUMMERS, S. A. Effects of land application of farm dairy effluent on soil properties: a literature review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 49, n. 3, p. 307-320, 2006.
- JUESCHKE, E.; MARSCHNER, B.; TARCHITZKY, J.; CHEN, Y. Effects of treated wastewater irrigation on the dissolved and soil organic carbon in israeli soils. **Water Science & Technology**, v. 57, n. 5, p. 727-733, 2008.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. International Plant Nutrition Institute, Encarte Técnico, Informações Agronômicas n. 118, 24 p., 2007.
- LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M- H.; GASTAL, F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 614-624, 2008.
- LEUTHER, F.; SCHLÜTER, S.; WALLACH, R.; VOGEL, H. J. Structure and hydraulic properties in soils under long-term irrigation with treated wastewater. **Geoderma**, v. 33, p. 90-98, 2019.
- LOSS, A.; COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, R. A. C.; TORRES, J. L. R.; RAVELLI NETO, A. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de Cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. **Ciência Rural**, v.43, p.426-432, 2013.
- MALCOLM, B. J.; CAMERON, K. C.; CURTIN, D.; DI, H. J.; BEARE, M. H.; JOHNSTONE, P. R.; EDWARDS, G. R. Organic matter amendments to soil can reduce nitrate leaching

- losses from livestock urine under simulated fodder beet grazing. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 272, p. 10-18, 2019. DOI: 10.1016/j.agee.2018.11.003
- MANONO, B.O.; MOLLER, H.; MORGAN, R. Effects of irrigation, dairy effluent dispersal and stocking on soil properties of the Waimate District, New Zealand. **Geoderma Regional**, v. 7, p. 59-66, 2016.
- MARCELINO, K. R. A.; VILELA, L.; LEITE, G. G.; GUERRA, A. F.; DIOGO, J. M. S. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p. 268-275, 2003.
- MARCHESAN, R.; PARIS, W.; ZIECH, M. F.; PROHMANN, P. E. F.; ZANOTTI, J.; HARTMANN, D. V. Produção e composição química-bromatológica de Tifton 85 (*Cynodon dactylon* L. Pers) sob pastejo contínuo no período hibernal. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1933-1942, 2013.
- MIOTO, L. S.; FREITAS, P. S. L.; VORONIAK, J.; BARBIERI, J. D. SOUZA, A. C. S. Atributos químicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico após a aplicação de efluente doméstico tratado. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 6, p. 518-528, 2019.
- MOK, H. F.; BARKER, S. F.; HAMILTON, A. J. A probabilistic quantitative microbial risk assessment modelo f norovirus disease burden from wastewater irrigation of vegetables in Shepparton, Australia. **Water Research**, v. 54, p. 347-362, 2014.
- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**, 12:513-522, 1976.
- NARAMABUYE F. X., HAYNES R. J. The liming effect of five organic manures when incubated with an acid soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 170, p. 615-622, 2007. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/jpln.200700056>
- NOGUEIRA, S. F.; PAULA, A. M.; PEREIRA, B. F.; SALEMI, L. F.; FONSECA, D. F.; MONTES, C.R.; VICTORIA, R.L. Water type and irrigation time effects on microbial metabolismo of a soil cultivated with Bermuda-grass Tifton 85. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 3, p. 477-486, 2011.
- OLIVEIRA, R. Z.; OLIVEIRA, L. F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; BONOMO, R. Comparação de metodologias de estimativa de evapotranspiração de referência para a região de Goiânia-GO. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.
- OLIVEIRA, J. F.; RODRIGUES, F.N.; FIA, R.; VILELA, H. S.; MAFRA, D. C. B. Performance of Tifton 85 grass under fertirrigation with slaughterhouse wastewater. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 37, n. 4, p. 790-800, 2017.
- OLIVEIRA, J. F.; FIA, R.; FIA, F. R. L.; RODRIGUES, F. N.; OLIVEIRA, L. F. C.; L FILHO, L. C. A. Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodon* sp.). **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n. 1, p. 155-165, 2019.
- OLIVEIRA, J. F.; FIA, R.; GOMES, A. C. C.; BIGOGNO, V. S.; ANTÔNIO, T. S.; ALVES, M. R. S.; CRUZ, T. C. Multivariate criteria Applied in the performance of Tifton 85 grass in a constructed wetland: effects of organic, nutritional, and sodium loads from swine wastewater. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 17, p. 21314-21325, 2021.

- PAGANINI, W. S. Reúso da água na agricultura. In: **Reúso de água**. MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F.; PHILIPPI JÚNIOR, A. (coord.). Barueri: Manole, 2003. 62p.
- PELTRE, C.; GREGORICH, E. G.; BRUUN, S.; JENSEN, L.S.; MAGID, J. Repeated application of organic waste affects soil organic matter composition: Evidence from thermal analysis, FTIR-PAS, amino sugars and lignin biomarkers. **Soil Biology and Chemistry**, v. 104, p. 117-127, 2017.
- PEQUENO, D. N. L.; PEDREIRA, C. G. S.; SOLLENBERGER, L. E.; FARIA, A. F. G.; SILVA, L. S. Forage accumulation and nutritive value of Brachiaria grasses and Tifton 85 Bermudagrass as affected by harvest frequency and irrigation. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1741-1749, 2015.
- PEREIRA, L. E. T.; NISHIDA, N. T.; CARVALHO, L. R.; HERLING, V. R. **Recomendações para correção e adubação de pastagens tropicais**. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, 2018, 56 p.
- POCZYNEK, M.; NEUMANN, M.; HORST, E. H.; LEÃO, G. F. M.; POCZYNEK, M.; UENO, R. K. Capacidade produtiva e qualidade nutricional de gramíneas perenes submetidas a sistema contínuo de cortes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 3, p. 785-794, 2016.
- QUARESMA, J. P. S.; ALMEIDA, R. G.; ABREU, J. G.; CABRAL, L. S.; OLIVEIRA, M. A.; CARVALHO, D. M. G. Produção e composição bromatológica do capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.) submetido a doses de nitrogênio. **Acta Scientiarum, Animal Sciences**, v. 33, n. 2, p. 145-150, 2011.
- QUEIROZ, D. S.; MENEZES, M. A. C.; OLIVEIRA, R. A.; VIANA, M. C. M.; SILVA, E. A.; RUAS, J. R. M. Nitrogen fertilization strategies for xaraes and tifton 85 grasses irrigated in the dry season. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.8, p.1832-1839, 2012. DOI: 10.1590/S1516-35982012000800005
- REZENDE, V. O.; DRUMOND, L. C. D.; CARVALHO, A. M. X.; LANA, R. M. Q.; FARIA, M. V. Grass production Tifton 85 and nutriente extraction with swine wastewater doses. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 52, p. 2919-2929, 2018.
- RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D.; REIS, R. A.; SOARES FILHO, C. V. Avaliação de características fisiológicas de cinco cultivares de *Cynodon*. **Acta Scientiarum – Animal Sciences**, v. 28, n.3, p. 245-250, 2006.
- SALMAN, A. K. D.; SOARES, J. P. G.; CANESIN, R. C. **Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens**. Porto Velho: Embrapa, Circular Técnica, n. 84, 7 p., 2006.
- SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FRISKE, E. Produtividade, composição botânica e valor nutricional do Tifton 85 nas diferentes estações do ano sob irrigação. **Irriga: Edição Especial – Grandes Culturas**, p. 221-232, 2016.
- SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FRISKE, E.; FASOLIN, J. P. Productivity and nutritive value of Tifton 85 in Summer, with and without irrigation under different doses. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 246-256, 2017.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; DE ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

- SANTOS, C.; LOSS, A.; PICCOLO, M. C.; GIROTTO, E.; LUDWIG, M. P.; DECARLI, J.; TORRES, J. L. R.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G. Changes in dry matter and carbon, nitrogen, and sulfur stocks after applications of increasing doses of pig slurry to soils with Tifton 85 for six years in Southern Brazil. **Agronomy**, v. 12, 16 p., p. 2058, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092058>
- SERAFIM, C. C.; GUERRA, G. L.; MIZUBUTI, I. Y.; CASTRO, F. A. B.; PRADO-CALIXTO, O. P.; GALBEIRO, S.; PARRA, A. R. P.; Bumbieris Junior, V. H.; Pértile, S. F. N.; Rego, F. C. A. Use of near-infrared spectroscopy for pretidion of chemical composition of Tifton 85 grass. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, p. 1287-1302, 2021. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3p1287>
- SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-Tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 39-45, 2010.
- SILVA, D. F.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; BATISTA, R. O.; MOREIRA, D. A. Alteração química de solo cultivado com capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*) e fertirrigado com percolado de resíduo sólido urbano. **Acta Scientiarum**, Technology, v. 33, n. 3, p. 243-251, 2011.
- SILVA, D. J.; DEON, M. D.; BASSOI, L. H.; SILVA, D. O. M.; SILVA, J. A. Alterações nas concentrações de cobre e manganês no solo em cultivo de videiras ‘Syrah’ submetidas à adubação orgânica e fertirrigação nitrogenada. Maceió: **FERTBIO (Anais...)**, Resumo expandido, 4 p., 2012.
- SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; PIRES, C. S.; SILVA, G. T. Mobilidade dos íons nitrato e amônio em área agrícola sob adubação com água residuária de bovinocultura de leite e torta de mamona. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 03, p. 200-211, 2017a.
- SILVA, B. E. C.; MEDINA, E. F.; JOLOMBA, M. R. Propriedades físicas do solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.7, n.3, 2017b.
- SOIL SURVEY STAFF. In: Burt, R., Soil Survey Staff (Eds.), Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. **Soil Survey Investigations Report No. 51**, Version 2.0. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2014.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2.ed., 418 p., 2004.
- SOUSA, C. C. M.; BEZERRA, F. M. L.; MOTA, S.; AQUINO, B. F. Avaliação química-bromatológica e produtiva do capim Tifton 85 (*Cynodon ssp.*) irrigado com esgoto doméstico tratado. **Revista DAE**, p. 26-32, 2009.
- SOUZA, M. A.; DETMANN, E.; BATISTA, E. D.; FRANCO, M. O.; VALADARES FILHO, S. C.; PINA, D. S.; ROCHA, G. C. Estudo colaborativo para avaliação dos teores de matéria mineral em alimentos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.18, n.1, p. 62-75, 2017. DOI: 10.1590/S1519-99402017000100007
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017a. 574p.

- TEIXEIRA, F. O. P.; BOTELHO, S. A.; MELO, L. A.; FIA, R.; TEIXEIRA, G. A. P. Efeito da disposição de efluentes da bovinocultura no solo e na biomassa vegetal. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n.4, p. 326-355, 2017b.
- TEIXEIRA, D. L.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; MIRANDA, S. T.; TEIXEIRA, D. V. Modeling of productivity and nutrient extraction by the Vertiver and Tifton 85 grasses grown in horizontal subsurface flow constructed wetlands. **Journal of Environmental Science and Health**, Part A, v. 56, n. 3, p. 248-256, 2021.
- TOKARNIA, C. H.; DÖBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. **Pesquisa Veterinária Brasileira: Tópico de Interesse Geral**, v. 20, n. 3, p. 127-138, 2000.
- TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E), 1999.
- ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 3, p. 207–228, 1952.
- VILELA, N. M. S.; THEBALDI, M. S.; LEAL, B. P.; SILVA, A. V.; MARTINS, I. P. Transport parameters of potassium from different sources in soil columns. **Engenharia Agrícola**, v.38, n.1, p.135-141, 2018. Doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n1p135-141/2018
- VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; LIUTI, R. F.; SCARAMUZZA, J. F. Alterações da relação c/n de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais em Brasnorte – MT. **Revista do Instituto Florestal**, v. 26, n. 2, p. 183-191, 2014. DOI: 10.4322/rif.2014.014
- Von SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – v. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. **Departamento de Eng. San. e Ambiental - UFMG**. Belo Horizonte, 240 p., 1995.
- WANG, Z.; SMYTH, T. J.; CROZIER, C. R.; GEHL, R. J.; HEITMAN, A. J. Yield and nutrient removal by bioenergy grasses on swine effluent spray fields in the coastal plain region of North Carolina. **Bioenergy Research**, v. 10, p. 979-991, 2017.
- ZHANG, J.; VARCO, J. J.; ADELI, A. Short-term and seasonal soil nitrogen dynamics and recovery by bermudagrass irrigated with ¹⁵N labelled swine lagoon effluent. **Plant Soil**, v. 410, p. 437-451, 2017. DOI 10.1007/s11104-016-3041-8

**CAPÍTULO II - REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA:
SOBREVIVÊNCIA DE COLIFORMES TOTAIS E *ESCHERICHIA COLI* NA
PARTE AÉREA DE *CYNODON* SPP. CV. TIFTON 85**

RESUMO

A viabilidade do reúso da água residuária da bovinocultura leiteira (ARB) é limitada pelo risco de disseminação de doenças como a mastite, especialmente nas vacas em lactação. Devido as despesas com o tratamento de animais infectados e perda da qualidade do leite, que podem facilmente superar a economia com fertilizantes, é difícil a implementação sustentável do reúso da ARB no Cerrado Brasileiro sem informações mais específicas sobre a sanidade ambiental. O objetivo deste trabalho foi avaliar o reúso da ARB submetida ao tratamento preliminar sobre a sobrevivência de microrganismos epífitos da pastagem de Tifton 85, no período de 27/08/21 a 12/09/21 (final do inverno) em Planaltina/DF. O estudo envolveu a aplicação de diferentes tipos de água por aspersão: água de poço (Ap), ARB + a última irrigação com Ap (ARB+Ap), ARB, e irrigação com déficit de 25% com ARB (ARB75). O delineamento experimental foi em faixas, com duas repetições, distribuído em parcelas com 9 vasos cada. As mudas de Tifton 85 foram transplantadas em vasos com volume de 10 L de solo e irrigadas com Ap até atingir o pleno desenvolvimento. Os vasos foram então irrigados por aspersão convencional com os diferentes tipos de água uma vez a cada três dias por 30 dias, totalizando 86,7 mm (65 mm para o tratamento ARB75). Nos dias 0, 2, 4, 6, 10 e 12 após a última irrigação foram amostradas aproximadamente 2,5 g de biomassa da parte aérea e os microrganismos foram lavados com solução PBS. A contagem de coliformes totais (CT) e *E. coli* foi feita pelo método do substrato cromogênico. Aos 12 DAI a fitomassa dos vasos foi inteiramente colhida e determinada a produtividade pelo método gravimétrico. O modelo de decaimento de primeira ordem foi utilizado para determinação dos coeficientes de decaimento e o tempo de mortalidade (T90). O Tifton 85 produziu 54% mais biomassa quando irrigado com ARB. Mesmo com lavagem da parte aérea do Tifton 85 promovida pela última irrigação com Ap (ARB+Ap) e a irrigação em déficit (ARB75), os microrganismos avaliados se mantiveram em alta quantidade na superfície das folhas, inicialmente. A contaminação com o reúso independe da forma como a irrigação foi conduzida, com 2,7 a 5,2 Log₁₀ MPN g⁻¹ de CT e, em média, 2,6 Log₁₀ MPN g⁻¹ de *E. coli* no dia 0. Os tipos de água contendo ARB proporcionaram taxas de decaimento dos CT entre 0,093 e 0,27 Log₁₀ NMP g⁻¹d⁻¹, da *E. coli* em média 0,21 Log₁₀ NMP g⁻¹d⁻¹. O modelo de decaimento foi ajustado aos valores de CT para os tratamentos ARB e ARB75, e aos valores de *E. coli* para ARB+Ap e ARB75, com as constantes de decaimento iguais a 2,519 d⁻¹, 0,980 d⁻¹, 1,007 d⁻¹ e 0,868 d⁻¹, respectivamente (p < 0,05). O T90 médio para *E. coli* com o reúso de ARB foi de 2,55 dias. O reúso da ARB no inverno pode ser praticado desde que pastejo seja evitado por pelo menos 3 dias após a irrigação com ARB.

Palavras-chave: *Cynodon dactylon*. Pastagem. Contaminação de pastagem. Bovinocultura leiteira.

ABSTRACT

The viability of the wastewater from livestock farming (WLF), in dairy farms, is limited by the risk of spreading diseases like mastitis, especially on lactating cows. Due to the expenses of treating infected animals and loss of milk quality, that may easily surpass the savings on fertilizers, it is difficult to implement sustainable reuse of WLF in Brazilian Cerrado without further information about environmental health. The objective of this study is to assess the reutilization of WLF subjected to preliminary treatment on the survival of epiphytic microorganisms in Tifton 85 pasture, from 08/27/21 to 09/12/21 (late winter) in Planaltina/DF. The study involved the application of different types of water via sprinkler (Well water – WW, WLF plus the last irrigation event with WW, WLF, and 25% deficit irrigation with WLF – WLF75). The experimental design adopted a split-block arrangement with two replications, distributed across plots of 9 pots each. The Tifton 85 seedlings were planted in pots with a capacity of 10 L of soil and cultivated under WW irrigation until full growth was reached. The pots were then irrigated by sprinkler with the different types of water once every three days for 30 days, totaling 86.7 mm (65 mm for ARB75 treatment). For the day 0, 2, 4, 6, 10 and 12 after the last irrigation, samples of approximately 2.5 g of shoot biomass were taken, the microorganisms were washed using PBS solution. The chromogenic substrate method was used to count Total Coliform (TC) and *E. coli*. At the 12 DAI the pots were harvested, and the forage production determined by the gravimetric method. The first-order decay approximation was used to determine die-off rate coefficients and “one Log₁₀ reduction” times (T90). The Tifton 85 produced 54% more biomass when irrigated with WLF. Despite the washing of the plant shoot promoted by the WW in the last irrigation (WLF+WW treatment) or the deficit irrigation (WLF75), the pathogenic microorganisms persisted on the leaves surface. Contamination with reuse is independent of irrigation alternatives employed for WLF, being 2.7 to 5.2 Log₁₀ MPN g⁻¹ of TC and average 2.6 Log₁₀ MPN g⁻¹ of *E. coli* on day 0. The types of water containing WLF provided rates of decay of TC from 0,093 to 0.27 Log₁₀ MPN g⁻¹d⁻¹ and of *E. coli* the mean rate 0.21 Log₁₀ MPN g⁻¹d⁻¹. The bacterial die-off expression was fitted only for TC on WLF and WLF75 treatments, and for *E. coli* on WLF+WW and WLF75 treatments, with the die-off constants being 2.519 d⁻¹, 0.980 d⁻¹, 1.007 d⁻¹ and 0.868 d⁻¹, respectively (p < 0.05). The average T90 for *E. coli* population with WLF reuse was 2.55 days. The reuse of WLF in winter is recommended on condition that the grazing is avoided for at least 3 days after irrigation with WLF.

Keywords: *Cynodon dactylon*. Pasture. Grazing contamination. Dairy cattle.

1. INTRODUÇÃO

O reúso agrícola de águas residuárias é uma técnica de disposição final que propõe o aproveitamento de água e nutrientes em cultivos, e é considerada uma estratégia de depuração em detrimento ao lançamento direto em corpos hídricos. A aplicação da água residuária da bovinocultura (ARB) em pastagens é uma prática comum ao redor do mundo e recentemente tem sido estudada mais especificamente sob a perspectiva do seu impacto ambiental (Cameron & Di, 2019). Este subproduto é gerado em grande quantidade nos sistemas de exploração intensiva, sendo muitas vezes lançado sobre as pastagens sem nenhum tratamento prévio, o que resulta numa grande possibilidade de contaminação das pastagens por microrganismos patogênicos, e implica no maior risco para o surgimento de doenças nos animais durante o pastejo.

Em uma pastagem, é natural a ocorrência de microrganismos provenientes das fezes dos animais, sendo habitat para bactérias de diversos gêneros, sendo comum a ocorrência de bactérias entéricas, em alta concentração, e por períodos de até 6 meses (Chen *et al.*, 2019; Muirhead *et al.*, 2009). A comunidade bacteriana epífita pode ser quantitativamente bem diferente da comunidade do solo (Stout, 1960) uma vez que a exposição às condições ambientais na parte aérea das plantas é distinta. Apesar dos benefícios sobre a espécie vegetal submetida ao reúso, a composição microbiológica da ARB pode desencadear diversos tipos de infecção aos animais durante o pastejo, como bacterianas, viróticas e parasitológicas.

A mastite é uma infecção bacteriológica muito relevante na bovinocultura leiteira e está relacionada com o manejo sanitário dos animais e da ordenha. A sua ocorrência impacta na qualidade do leite, os casos agudos apresentam sepse e toxemia e, em função do custo de tratamento, pode ser necessário fazer o descarte do animal. Dentre os tipos de mastite, a mastite ambiental prevalece, principalmente, em grandes rebanhos leiteiros, mantidos em sistema *free*

stall e submetidos a um controle da mastite clínica mais rigoroso, sendo a *Escherichia coli* um dos agentes causadores da mastite ambiental (Langoni *et al.*, 2017).

As espécies forrageiras usadas como alimento volumoso são exigentes em nutrientes, e, portanto, muitas destas são aptas para o reúso devido à sua capacidade de extração de nutrientes, de tolerância a elementos fitotóxicos, e do rápido crescimento (Bowman *et al.*, 2006). No entanto, em razão dos riscos sanitários e econômicos envolvidos, é importante o conhecimento da influência do reúso da ARB sobre a população de Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* na parte aérea do Tifton 85 (*Cynodon dactylon*), para que se auxilie tecnicamente o reúso com ARB pelos produtores locais. Salienta-se que a viabilidade do reúso depende do saldo entre a economia, com a aquisição de menos fertilizantes, e os eventuais custos adicionais, com o tratamento de doenças nas vacas leiteiras e com a redução da qualidade do leite.

O reúso em pastagens tem sido pouco estudado no que se refere às condições sanitárias e normalmente não abordam a contaminação de forragens para o pastejo, e, portanto, evidencia-se a importância da análise da persistência do microrganismo na forrageira para subsidiar intervenções e estratégias de controle sanitário (Weller *et al.*, 2017). A resistência microbiológica sofre influência de diversos fatores, cuja incorporação em um modelo matemático é dificultada em razão da sua alta variabilidade e da atuação combinada de dois ou mais fatores (Soupir *et al.*, 2008) como o tipo de superfície em contato com o microrganismo, condições climáticas, grau de exposição do microrganismo, carga microbiológica inicial, fatores genéticos, entre outros (Martin-Díaz *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2019). Neste sentido, no estudo dos efeitos ambientais sobre microrganismos preconiza-se o modelo de decaimento de primeira ordem (Lei de Chick), que expressa de forma simples e bastante representativa o decaimento da população microbiológica.

O sistema de exploração intensivo requer constância na oferta de alimento e, ao mesmo tempo, segurança. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a

persistência de CT e da *E. coli* na parte aérea do Tifton-85 submetido ao reúso com ARB, no intuito de garantir um pastejo seguro, sob o ponto de vista sanitário, para as vacas em lactação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RELEVÂNCIA DA CONTAMINAÇÃO DE PASTAGEM POR MICRORGANISMOS FECAIS PROVENIENTES DO REÚSO

Na pecuária intensiva é fundamental o controle de nematoides gastrointestinais, infecções bacterianas e virais. Stout (1964) relata que os estudos sobre a flora epífita foram iniciados devido à possível relação entre as doenças dos rebanhos e as populações de microrganismos de vida livre. A alta lotação das pastagens brasileiras dificulta o controle sanitário, e, por mais que o controle de infestação nos animais com uso de anti-helmínticos e antibióticos seja eficiente, a eliminação de patógenos pelas fezes e o contato com a pastagem são inevitáveis. Para Aguiar *et al.* (2017), é importante conhecer o ciclo de vida dos organismos parasitas e patogênicos de ocorrência na pastagem uma vez que estes organismos atuam como bloqueios à sanidade na produção animal.

Nas pastagens é natural a ocorrência de microrganismos provenientes das fezes dos animais, e tanto o solo quanto as folhas da forrageira são habitat para bactérias do filo Proteobacteria, Acidobacteria, Verrucomicrobia, Actinobacteria e Bacteroidetes (Chen *et al.*, 2019). Nas regiões imediatamente vizinhas às fezes dos animais ocorrem altas concentrações de bactérias entéricas, cujo tamanho da população pode aumentar momentaneamente e a atividade destes microrganismos permanece no ambiente (solo, por exemplo) por período de até 6 meses, maior que a permanência deste resíduo no campo (Muirhead *et al.*, 2009).

Em condições em que o rebanho não recebeu manejo de doenças adequado e que a entrada de material fecal no ambiente ocorreu somente pela excreção animal, foi observada dominância do *Bacillus cereus* (ocorrência natural nos solos) em 33% da área de pastagem e *Escherichia coli* (origem fecal) em 3,7% dela (Chitura *et al.*, 2019). Em solos de pastagem submetidos à aplicação de esterco bovino bruto e água residuária da suinocultura observou-se que

aproximadamente 30% da população de bactérias pertencem ao filo Proteobacteria, que incluem agentes patogênicos como a *Escherichia*, e 20% ao filo Acidobacteria, que atua na degradação do carbono do solo (Chen *et al.*, 2019).

No contexto da caracterização de microrganismos em pastagens submetidas à aplicação de resíduos (sólidos ou líquidos), os diversos trabalhos publicados focam principalmente na microbiota do solo. Entretanto, não é prudente assumir que os mesmos microrganismos existam nas mesmas premissas na parte aérea das plantas, uma vez que a comunidade bacteriana epífita pode ser quantitativamente bem diferente da comunidade do solo (Stout, 1960).

Para situações de reúso com águas residuárias de origem animal, a uniformidade de distribuição do sistema de irrigação, a carga microbiológica aplicada, a diluição e a lixiviação podem resultar no comportamento microbiológico diferente do que ocorre com o lançamento de esterco na forma sólida. A água se torna o principal veículo dos microrganismos no ambiente e interfere diretamente no microclima. Como as bactérias epífitas, dentre elas as do grupo coliformes, são mais sensíveis às flutuações da umidade (Stout, 1964), a sua ocorrência e permanência nas folhas da forrageira é dependente direta do método de irrigação adotado.

Na criação de gado de leite a pasto o problema mais importante é a ocorrência de infecções bacteriológicas causadoras de mastite nas vacas em lactação devido à exposição dos tetos às superfícies contaminadas. O contato com microrganismos como os do grupo coliformes desencadeia quadros superagudos de mastite clínica (Ramos *et al.*, 2017), sendo que a lotação animal afeta diretamente no risco sanitário, neste aspecto, devido a relação proporcional com a população de coliformes na pastagem (Stout, 1964).

2.2. ESTRATÉGIAS SANITÁRIAS GERAIS ADOTADAS PARA O REÚSO

A eliminação dos microrganismos aderidos à parte aérea é muito difícil e atualmente recorre-se ao tempo de retenção do pasto após a última irrigação como forma de garantir segurança sanitária no gerenciamento da pastagem submetida ao reúso (Mok *et al.*, 2014). Entretanto, não se sabe qual a taxa de redução da carga patogênica na parte aérea da pastagem e este tempo de retenção é definido empiricamente nas propriedades brasileiras de criação de gado leiteiro. O que se sabe é que quanto maior for o intervalo entre a irrigação com reúso e o contato para consumo da forrageira, menor o risco de infecções (redução de 1 ordem de magnitude para cada 5 dias extras de pousio) (van Ginneken & Oron, 2000).

O período de descanso da cultura após o reúso e a substituição do efluente doméstico por água potável na última irrigação podem permitir que a carga estimada de patógenos reduza a um valor pouco nocivo em hortaliças (Mok *et al.*, 2014). O período de descanso ideal varia conforme o sistema de irrigação empregado (van Ginneken & Oron, 2000), e precisa ser obedecido para se evitar os ciclos de reinfecção dos animais. Entretanto, o descanso sanitário mais prolongado em alguns casos não é viável em virtude da perda de qualidade da pastagem pelo seu envelhecimento (Catto & Bianchin, 2007).

Na modelagem do risco de infecção alimentar pelo consumo de produtos agrícolas in natura submetidos ao reúso, van Ginneken & Oron (2000), concluíram que para garantir os padrões sanitários no reúso de efluente doméstico em hortaliças e o menor risco de infecção *per capita*, devem ser aguardados 20 dias para irrigação por aspersão, 13 dias para irrigação por gotejamento e 11 dias para irrigação subsuperficial.

Para as pastagens, o reúso tem sido pouco estudado no que se refere às condições sanitárias e normalmente se limitam às contaminações de forragens para fins de fenação. As recomendações acerca da pastagem remetem ao uso de esterco e biossólidos, tendo sido recomendado o tempo de espera para o pastejo após uma aplicação de biossólidos igual a 20 dias na Inglaterra e 40 dias na Irlanda, mas ainda assim existem indagações sobre se o rigor

destas recomendações é de fato necessário (Ashekuzzaman *et al.*, 2018). Ainda assim, estas recomendações não podem ser assumidas para reúso com dejetos animais em pastagens tropicais, uma vez que foram elaboradas para outras condições climáticas.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, diversas práticas de proteção da saúde podem proporcionar a segurança sanitária na irrigação com águas residuárias, cuja implementação de uma ou mais práticas, combinadas, é encorajada, dentro da sua viabilidade. Dentre as práticas elencadas, tem-se o tratamento da água residuária, o respeito do intervalo de tempo desde a última irrigação até o consumo, a lavagem do produto previamente ao consumo, e o emprego de sistemas de irrigação localizada ou subsuperficial (WHO, 2006).

2.3. CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AO DESENVOLVIMENTO DE MICRORGANISMOS FECAIS EM PASTAGENS

A contaminação microbiológica com o reúso não tem origem exclusiva nos resíduos de origem animal e, segundo Al-Gheethi *et al.* (2016), os patógenos estão presentes em todas as formas de água residuária, inclusive nas águas cinza. Uma observação relevante sobre o assunto foi feita por van Ginneken & Oron (2000) de que a contaminação de produtos agrícolas pelo contato direto do produto pelo reúso é um processo físico e independe do tipo de microrganismo.

A persistência dos microrganismos patogênicos na fitomassa ainda não foi amplamente explorada no reúso com forrageiras, sendo dada maior importância no contexto da agricultura destinada à alimentação humana principalmente na forma *in natura*. De modo geral, também é dada importância em condição de solos muito permeáveis e/ou rasos e para estudos de impacto ambiental em bacias hidrográficas.

Em pastagens, o estudo da contaminação tem sido direcionado principalmente para a contaminação do solo e da forrageira devido à excreção pelos animais, ou da contaminação

somente do solo pela aplicação de esterco ou reuso. Os estudos relacionados aos microrganismos em pastagens foram desenvolvidos principalmente para pastagens cultivadas em sequeiro, com a contaminação proveniente da deposição de resíduos sólidos, e com foco principal na população microbiana do solo.

A ocorrência de microrganismos no ambiente sofre uma grande flutuação em resposta às condições ambientais e ao estágio de desenvolvimento da pastagem. Stout (1960) ressalta que o estágio de desenvolvimento da forrageira é o fator mais importante para a permanência dos microrganismos epífitos facultativos. O hábito de crescimento e o índice de área foliar são características que interferem diretamente na penetração da radiação solar e na estabilidade do microclima da forragem, e, segundo Mok *et al.* (2014), o contato da parte aérea da pastagem com o solo influencia a manutenção dos microrganismos na parte aérea. As características da vegetação, juntamente com as do solo, são as primeiras e variáveis a serem relacionadas com a persistência (Pachepsky *et al.*, 2006).

Os processos de morte e de transporte de alguns microrganismos, como os patógenos entéricos, são ativados primeiramente pela hidrologia (Pachepsky *et al.*, 2006), com destaque para a ocorrência de precipitação e a manutenção da umidade dos resíduos e do meio em que eles se encontram (Muirhead *et al.*, 2009). São ainda fatores relevantes nestes processos em solos e pastagens: temperatura do ar, umidade relativa, disponibilidade de nutrientes, radiação solar, a forma de aplicação do resíduo sólido ou líquido (Crane & Moore, 1986), salinidade da água residuária (Van Ginneken & Oron, 2000), existência de predadores (Pachepsky *et al.*, 2006), intensidade de evaporação (Sidhu *et al.*, 2008) e o tempo de rebrota da pastagem (Catto & Bianchin, 2007). Dentre estes, a umidade do meio e a pequena amplitude térmica são indicadas como os que mais contribuem para o crescimento populacional do microrganismo antes do seu declínio efetivo (Soupir *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2018).

Portanto, a arquitetura da forrageira e os fatores que a influenciam indiretamente na persistência dos microrganismos epífitos. Em pastagem de *Lolium perenne* e *Trifolium repens* cultivada em sequeiro as condições mais favoráveis para o crescimento bacteriano ocorrem no estágio inicial de crescimento da forrageira e na sua senescência (Stout, 1960). A porção inferior da forragem em uma pastagem de Tifton 85 abriga mais larvas de nematoides do que as pastagens de *Brachiaria* e *Panicum*, devido ao crescimento estolonífero (prostrado) das espécies do gênero *Cynodon* (Catto & Bianchin, 2007). Mas, em geral, o capim *Panicum maximum* acumula maior quantidade de larvas de nematoides ativas, seguido pelo Tifton 85 e pelas espécies do gênero *Brachiaria* (Aguiar *et al.*, 2017).

Para forrageiras constantemente ceifadas, a exposição à radiação solar contribui com a morte destes microrganismos (Soupir *et al.*, 2008) principalmente quando o ambiente se encontra sob temperatura do ar mais baixa (< 17 °C) e umidade relativa mais alta (> 57%) (Sidhu *et al.*, 2008). Entretanto, a radiação solar deixa de influenciar diretamente na mortalidade de microrganismos quando o ar está mais quente e seco, como 21 °C e 36% de umidade do ar (Sidhu *et al.*, 2008) e 19,1 °C (Soupir *et al.*, 2008), sendo a intensidade da evaporação a variável mais relevante (Crane & Moore, 1986).

2.4. ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO REÚSO EM PASTAGENS

No reúso assume-se que a ocorrência de patógenos seja dependente da carga de microrganismos da água de irrigação e da manutenção da umidade da forrageira, e não é possível assumir que a persistência microbiológica nas folhas seja influenciada com a mesma intensidade pelas variáveis que influenciam a persistência no solo ou nas fezes. Crane & Moore (1986) destacam a importância dos métodos de aplicação, nos quais a técnica (se o produto é

disposto na superfície ou incorporado), a frequência de aplicação, e a carga de microrganismos são determinantes para a ocorrência dos patógenos.

Van Ginneken & Oron (2000) afirmam que a aspersão apresenta maior risco de contaminação da forragem em relação à irrigação localizada, sendo que este segundo método oferece risco de 2 a 3 ordens de magnitude menor que o primeiro. E os resultados obtidos por Wang *et al.* (2018) para aplicação de esterco bovino sólido sugerem que a distribuição uniforme na superfície reduz a sobrevivência de patógenos em comparação à incorporação em camada subsuperficial.

A estabilidade da umidade da forragem pode ser um fator chave na diferenciação da persistência de patógenos em relação ao que se conhece para outras superfícies. Por um lado, a necessidade de irrigação coincide com os períodos de maior demanda evaporativa, cuja flutuação de umidade pode implicar em menor sobrevivência da *E. coli* (Wang *et al.*, 2018). Por outro lado, o microclima na superfície foliar resultante da intensidade das trocas gasosas parece exercer uma contribuição significativa para a sobrevivência do microrganismo (Sidhu *et al.*, 2008).

A exposição da superfície foliar à precipitação (seja esta pluviométrica ou artificial) auxilia na lixiviação de patógenos, como observado em pastagens submetidas à aplicação de esterco bovino (Van Kessel *et al.*, 2007). Todavia, ressalta-se que a lixiviação contribui apenas para o transporte dos patógenos do dossel para o solo.

Para Van Ginneken & Oron (2000) a eficiência de tratamento da água residuária é a base para a estimativa do risco de exposição à contaminação microbiológica. Portanto, as técnicas que afetam diretamente a população de microrganismos influenciarão diretamente na eficiência sanitária do reúso, pois, como observado por Muirhead *et al.* (2009), ao se aumentar a taxa de decomposição de um resíduo se reduz a contaminação microbiológica da pastagem.

A decomposição do resíduo fecal é um processo importante para a redução da carga de coliformes na pastagem (Muirhead *et al.*, 2009), pois o resíduo sólido atua como um ambiente protetor (Soupir *et al.*, 2008). Porém, mesmo que a carga de sólidos da água residuária seja removida, a fertirrigação com reúso ainda pode transferir altas cargas de microrganismos patogênicos para a pastagem, uma vez que nem todo tratamento é capaz de inativar estes microrganismos (Cameron & Di, 2019). Além disso, a *E. coli* é considerada uma espécie altamente versátil e diversificada, capaz de sobreviver em habitats potencialmente estressantes para outras espécies (Nandakafle *et al.*, 2017).

Para Mok *et al.* (2014), o tratamento do esgoto doméstico somente por lagoas de estabilização não é suficiente para a eliminação da sua carga microbiológica patogênica, mas quando se acrescenta um tratamento secundário, a concentração de patógenos na cultura irrigada sofre redução na magnitude de 10^3 a 10^4 . Os autores complementam que a eficiência das lagoas de estabilização depende da baixa carga de patógenos do afluente.

No caso da ARB, que pode conter mais de 247.000 NMP 100 mL^{-1} de *E. coli* (Cameron & Di, 2019) e 19.000 NMP 100 mL^{-1} de *E. coli* (Wang *et al.*, 2019) quando submetida à floculação, é pouco provável que a carga de patógenos seja reduzida para níveis mais seguros apenas com o tratamento com lagoas de estabilização. Isso porque o reúso muitas vezes é a própria forma de tratamento da ARB que melhor se ajusta à realidade da propriedade, e dificilmente será viável empregar algum método mais sofisticado para o seu tratamento.

Embora seja possível inativar os microrganismos com desinfetantes (produtos clorados, principalmente), o custo da desinfecção de águas residuárias muito concentradas em matéria orgânica e os subprodutos das reações inviabilizam o tratamento mais sofisticado. Estas águas com altas cargas de matéria orgânica, como as de origem animal, requerem doses muito elevadas de desinfetantes. Essa demanda encarece a desinfecção e eleva os riscos de formação de complexos clorados altamente nocivos ao ambiente.

2.5. MODELOS DE DECAIMENTO DE MICRORGANISMOS EM AMBIENTES

A *Escherichia coli* é a espécie de coliformes fecais predominante nas fezes de mamíferos e utilizada como indicadora em estudos de contaminação fecal. A *E. coli* ocorre junto a outros microrganismos patogênicos, sendo que estes apresentam comportamentos de persistência semelhantes sob condições climáticas de temperatura amena e maior intensidade de radiação solar (Soupir *et al.*, 2008). As representações da persistência da *E. coli* em derivados de biossólidos e águas residuárias são complexas e a sua inativação ocorre em diferentes taxas para as diferentes condições climáticas (Sidhu *et al.*, 2008). Portanto, é difícil obter modelos de ajuste padronizados.

O modelo de decaimento populacional de bactérias entéricas foi proposto por Chick (1908) é um modelo de reação simples de primeira ordem na cinética química (Equação II. 1). Segundo a Lei de Chick o decaimento populacional é imediato e constante até que toda a população se esgote.

$$\frac{N_i}{N_0} = 10^{-kt} \quad \text{Equação II. 1}$$

Sendo: N_i – número de bactérias no tempo t ; N_0 – número inicial de bactérias; t – tempo de observação (dias); k = constante de decaimento populacional.

De acordo com Ashekuzzaman *et al.* (2018), a integração da equação cinética de primeira ordem (Equação II. 1) resulta na equação linear (Equação II. 2), que pode ser convertida para base 10 e passível de se obter a declinação (m) (Equação II. 3) e, conseqüentemente, a taxa de decaimento (Equação II. 4).

$$\log N_i = \log N_0 - \log kt \quad \text{Equação II. 2}$$

$$N_i = N_0 - \frac{kt}{2,303} \quad \text{Equação II. 3}$$

$$m = -\frac{k}{2,303} \quad \text{Equação II. 4}$$

A Equação linear (Equação II. 2) pode ser transformada em um modelo exponencial (Equação II. 5) para avaliar o conteúdo de microrganismos na superfície da forrageira após a irrigação com água residuária de bovinocultura.

$$N_i = N_0 e^{-kt} \quad \text{Equação II. 5}$$

Os valores de k e N_0 são bastantes variáveis mesmo para um único material, e a variação ocorre dada a heterogeneidade deste em cada estudo realizado (grau de decomposição, umidade, características do meio) e o método de ajuste matemático utilizado. Apesar disso, Ashekuzzaman *et al.* (2018) demonstraram estatisticamente que os dados da literatura são particulares para cada resíduo, sendo k e N_0 médios para *E. coli* no esterco bovino, respectivamente iguais a $-0,055 \text{ dia}^{-1}$ e $6,1 \cdot \log_{10} \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$.

Finalmente, T_{90} ou o tempo requerido para reduzir a concentração microbiológica para a ordem de $1 \times \log_{10}$ é obtido pela Equação II. 6 (Martin-Díaz *et al.*, 2017):

$$T_{90} = -2,3/k \quad \text{Equação II. 6}$$

Sendo: T_{90} : tempo de mortalidade aparente (dias); k : constante de decaimento populacional.

A Lei de Chick é aplicável em condição em que o ambiente é totalmente inadequado para a bactéria usada como indicador e a morte é constante no tempo. Entretanto, é importante destacar a possibilidade de ocorrência de um período de crescimento populacional que antecede o decaimento linear (Crane & Moore, 1986). A *E. coli* possui a capacidade de se multiplicar nos primeiros dias, sobretudo sob temperatura média do ar entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $35 \text{ }^\circ\text{C}$ (van Kessel *et al.*, 2007). O crescimento inicial da população deve-se a fatores como a redução do estresse ambiental pela diluição da carga microbiológica, redução de compostos tóxicos no meio de

crescimento, disponibilidade de nutrientes, efeitos antagonistas a outros microrganismos e alteração do nível de oxigênio no novo ambiente.

Neste cenário, o modelo de decaimento de primeira ordem pode subestimar a concentração inicial do microrganismo (Soupir *et al.*, 2008) e o seu potencial de crescimento, e fornecer um indicador conservador sobre o acúmulo do microrganismo ao longo do tempo (Ashekuzzaman *et al.*, 2018). Ao desconsiderar este crescimento populacional após a aplicação do resíduo contaminante, o modelo gerado pela Lei de Chick subestimar o tempo necessário para o decaimento para uma dada concentração inicial (N_0) real inserida (Soupir *et al.*, 2008). A persistência da *E. coli* em esterco bovino ocorre em várias fases, com aumento ou reparação da população de acordo com algumas condições ambientais (Wang *et al.*, 2018).

Apesar de ser amplamente utilizado para estudos sobre qualidade das águas e do solo, o modelo de decaimento de primeira ordem não considera o crescimento prévio da população ao seu decaimento definitivo, ou ainda um possível decaimento inicial mais acelerado. Portanto, o decaimento de primeira ordem pode ser mais bem representado quando se considera da sua ocorrência em dois estágios (Crane & Moore, 1986). Este modelo depende da identificação o ponto em que a população microbiana deixa de crescer e passa a decair. Para suprimir esta deficiência, Soupir *et al.* (2008) testaram aproximações de maior ordem para o tempo (dias) incluindo as variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa, radiação solar e precipitação) e afirmam que estas adaptações foram fundamentais para melhorar as equações preditivas.

Modificações no coeficiente de decaimento populacional (1ª ordem) foram sugeridas para representar a dependência do fenômeno à variação de fatores ambientais como temperatura e radiação solar (Soupir *et al.*, 2008). Entretanto, existe a falta de correlação entre os fatores ambientais, pois estes podem interferir mais expressivamente quando em valores extremos (Crane & Moore, 1986; Soupir *et al.*, 2008).

Desta forma, a temperatura é a única variável ambiental utilizada para modificar a constante de decaimento em modelos existentes, com a ressalva de ser aplicável para as fontes de contaminação mais comumente estudadas. Para estes casos, a equação de Arrhenius tem sido sugerida como forma de relacionar o decaimento populacional microbiano de um modelo pré-existente para a temperatura do ambiente (Pachepsky *et al.*, 2006)

Crane & Moore (1986) afirmam que o uso de equações mais complexas para descrição deste comportamento populacional não é muito prático. Soupir *et al.* (2008) afirmam o modelo de decaimento de primeira ordem costuma obter altos coeficientes de determinação (entre 0,70 e 0,90) e, por ser considerado adequado, o modelo é utilizado apesar da ocorrência do crescimento inicial. A escolha pelo modelo ideal, portanto, depende da escala de tempo e da precisão de interesse.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCAL EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Toca da Raposa, na região administrativa de Planaltina – Distrito Federal, localizada nas coordenadas geográficas de Latitude 15° 36' 15,7"S e Longitude 47° 36' 34,6"W. A temperatura do ar na região varia entre 19 °C (julho) e 22,4 °C (outubro) com média de 20,8 °C. A precipitação anual é de 1.450 mm, distribuídos em maior volume entre os meses de outubro e abril. O clima da região é definido pela classificação de Köppen & Geiger como tropical chuvoso com inverno seco e frio (Aw) (Cardoso *et al.*, 2014).

O solo utilizado no experimento foi coletado na área experimental da Fazenda Água Limpa, da Universidade de Brasília (UnB) e transportado até o local do experimento, sendo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa. A caracterização do solo previamente ao experimento foi realizada de acordo com Teixeira *et al.* (2017) (Tabela II. 3.1).

Tabela II. 3.1 Valores dos atributos químicos do Latossolo Vermelho-amarelo eutrófico na camada de 0-0,20 m utilizado para o cultivo de Tifton 85 em vasos.

Al ³⁺ +H	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC _{ef.}	CTC _{tot.}	Na ⁺
(cmol _c dm ⁻³)							
8,5	0,2	3,7	1,4	< 0,10	5,3	13,6	< 1,0
S	Fe	Mn	Zn	V%	pH _{H2O}		
ppm				%			
< 0,10	235,2	24,4	18,5	37,0	5,5		

V: saturação por bases.

Na área experimental foi instalada uma estação meteorológica automática da marca WatchDog (PCE Instruments®) habilitada para medidas da temperatura do ar (mínima, média e máxima), umidade relativa do ar, radiação solar incidente, fotoperíodo, velocidade e direção do vento a 2 m.

Durante os 12 dias de avaliação da atividade microbiológica (27/08 a 08/09/2021) registraram-se a temperatura média diária que variou entre 21,3 e 28,7 °C, com máxima de 35,8 °C e mínima de 14,4 °C, umidade relativa média do ar de 35%, radiação solar global média de 10 495 W m⁻² dia⁻¹, o fotoperíodo foi de 12 h registrado na estação meteorológica e a velocidade do vento média foi de 1,99 m s⁻¹. No período do experimento houve precipitação apenas no dia 30/08/2021 (0,3 mm). O Anexo II.2 apresenta os registros meteorológicos completos do experimento e a Figura II. 3.1 apresenta a respectiva representação gráfica.

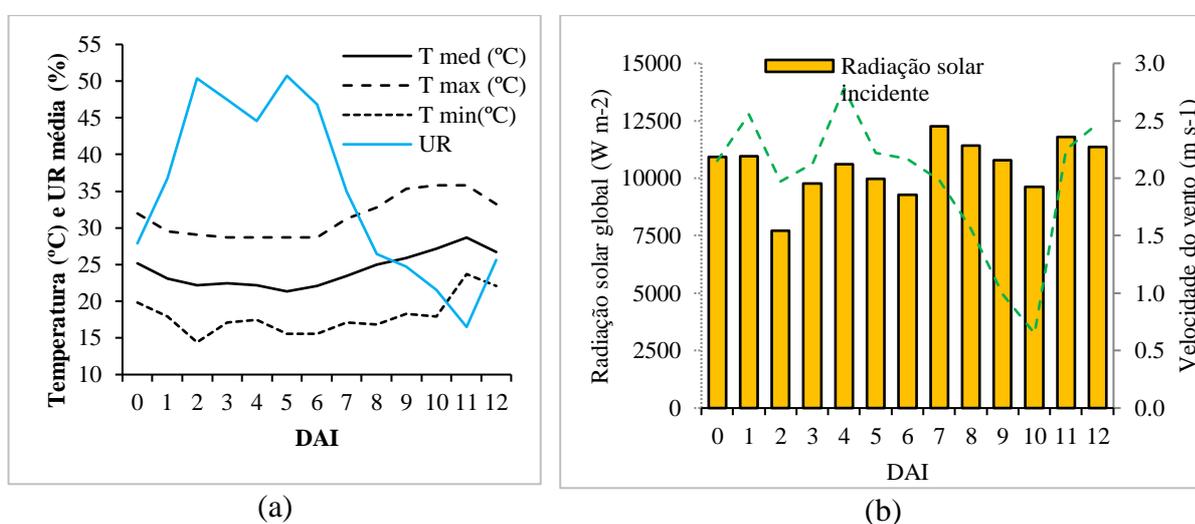


Figura II. 3.1. Condições meteorológicas diárias registradas entre 27 de agosto a 8 de setembro de 2021: (a) temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa do ar (URA); e (b) radiação solar global (Rs global) acumulada e velocidade do vento medida a 2 m de altura (U2), nos dias após a irrigação (DAI) da determinação da quantidade de coliforme total e *E. coli*.

3.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO

O propósito do experimento foi observar como a água residuária de bovinocultura (ARB) influencia a persistência de patógenos na forragem de Tifton 85, de modo a verificar o período a partir do qual é seguro sob o ponto de vista sanitário para a entrada das vacas para o pastoreio. Os tratamentos foram estabelecidos, considerando a complexidade e estrutura física, rotina de atividade da fazenda e tipo de tratamento da água residuária, mas principalmente a forma de gestão das ARB das propriedades produtoras de leite da região.

O experimento foi conduzido em delineamento em faixas, com duas repetições (Tabela II. 3.2). Na irrigação do Tifton 85, procurou-se simular a contaminação microbiológica à campo, sendo que cada tratamento foi composto por 9 vasos dispostos na superfície do solo cultivados com Tifton 85, dispostos no centro do quadrante de quatro aspersores setoriais, formando uma malha de 3 por 3 vasos, espaçados de 0,15 m entre si, irrigados pela sobreposição da lâmina dos 4 aspersores (Figura II. 3.2).

Tabela II. 3.2. Tratamentos em função do tipo de água de irrigação (água residuária da bovinocultura (ARB) e água de poço (AP)).

Tratamento	Descrição
Ap	Irrigação total (100% ETp) com água de poço artesiano
ARB	Irrigação total (100% ETp) com água residuária de bovinocultura
ARB+Ap	Irrigação total (100% ETp) com ARB em todos os eventos de irrigação exceto no último dia, sendo feita a última irrigação com Ap simulando a lavagem do capim
ARB75	Irrigação em déficit (75% ETp) com ARB

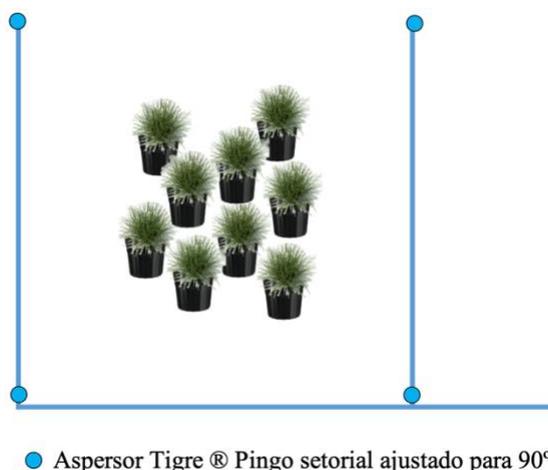


Figura II. 3.2. Esquema com a disposição dos vasos e aspersores dentro da área irrigada

O solo foi peneirado em peneira de 2,0 mm, submetido à prévia correção da acidez com calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 60%, e após 60 dias foi adicionado em vasos com capacidade para 11 L, diâmetro de abertura igual a 0,27 m, e 0,23 m de altura, preenchidos com 10 kg de solo.

Foram transplantados 5 estolhos de Tifton 85 em cada vaso. Para facilitar o pegamento e melhorar o estande do capim, os vasos foram dispostos à meia sombra por 30 dias, todos recebendo irrigação diária com Ap com auxílio de um regador manual. Posteriormente os vasos foram transferidos à sol pleno para rustificação das mudas, sendo ainda mantida a irrigação diariamente com Ap, por mais uma semana. Em seguida, o capim foi submetido ao corte de homogeneização na altura de 0,08 m.

O tempo de irrigação foi de 20 minutos, exceto para o tratamento ARB75 cujo tempo de irrigação correspondeu a 75% do tempo necessário nos demais tratamentos (15 minutos). As irrigações foram conduzidas até que o dossel cobrisse toda a superfície do vaso, o que ocorreu a aproximadamente um mês após a rustificação do Tifton 85, e totalizou a aplicação de 86,7 mm para os tratamentos ARB, ARB+Ap e Ap, e 65 mm para o tratamento ARB75.

Após a interrupção da irrigação por aspersão, as plantas foram mantidas nos vasos e irrigadas a cada dois dias (item 3.5) com Ap. Para esta etapa, a irrigação foi feita manualmente, dispondo a água em cada vaso com auxílio de um copo, fornecendo-a junto ao solo para evitar o contato da água com as folhas.

O Anexo II.1 apresenta o relatório fotográfico do experimento cultivo do Tifton 85 nos vasos.

3.3. ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA E ÁGUA DE POÇO UTILIZADAS PARA AS APLICAÇÕES

A ARB é proveniente da limpeza da casa de ordenha, curral de espera e pista de trato dos animais, composta por água de poço artesiano, fezes, urina, secreções e detergente. A rotina destas instalações incluía a inspeção veterinária e a ordenha de vacas em lactação por 2 vezes dia⁻¹.

Na época do experimento, o rebanho de bovinos da propriedade era composto por 1.944 animais, sendo 700 vacas em lactação. Estima-se que na propriedade eram produzidos 10 L de ARB para cada vez que uma vaca era ordenhada, totalizando o equivalente a 14.000 L dia⁻¹.

Após a limpeza dos ambientes que compõem a casa de ordenha, a ARB seguia por canaletas para um tanque circular de concreto armado dotado de um misturador submerso. Conforme o tanque era enchido ao longo do dia, uma motobomba submersa era acionada e encaminhava a ARB para um sistema com bomba pneumática para separação das frações líquida e sólida. A fração líquida, livre de sólidos grosseiros, era derivada para um tanque escavado e impermeabilizado com lona plástica, de onde foi captada para as aplicações na irrigação.

A AP era captada um poço artesiano e conduzida por uma tubulação de PVC até uma tomada de água localizada próximo a área experimental. O desnível entre as cotas do poço artesiano e da área experimental (70 m) permitiam a utilização da água sem o uso de bombeamento, conforme descrito no item 3.4.

A AP e a ARB foram coletadas e analisadas quanto suas características física e química, CT e *Escherichia coli*, às 08:00 h do dia da última irrigação. Os atributos avaliados *in loco* foram pH e condutividade elétrica, e os demais (Tabela II. 3.3) foram analisados em laboratório. As amostras de água foram armazenadas em frascos esterilizados com volume de 0,5 L, transportadas para o laboratório sob refrigeração e analisadas segundo metodologias de APHA (2017).

Tabela II. 3.3. Atributos analisados na ARB e Ap, símbolo, unidade e métodos de análise.

Atributo		Unidade	Método de análise
Potencial hidrogeniônico	pH	-	Eletroquímico
Condutividade elétrica	CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	Condutivímetro
Sólidos totais	ST	mg L^{-1}	Gravimétrico
Demanda química de oxigênio	DQO	mg L^{-1} de O_2	Colorimétrico de refluxo fechado
Demanda bioquímica de oxigênio	DBO	mg L^{-1} de O_2	Titulométrico
Alcalinidade total	A_{total}	mg L^{-1} de CaCO_3	Titulométrico
Sódio	Na^+	mg L^{-1}	Espectrofotometria de chama
Cálcio	Ca^{++}	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Magnésio	Mg^{++}	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
RAS	-	$(\text{mmol L}^{-1})^{-0,5}$	-
Potássio	K^+	mg L^{-1}	Espectrofotometria de chama
Nitrito	NO_2	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Nitrato	NO_3	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Fosfato total	PO_4^{-3}	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Turbidez	Turb	NTU	Fotocolorimétrico
<i>E. coli</i>	<i>E. Coli</i>	$\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$	Substrato cromogênico
Coliformes totais	CT	$\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$	Substrato cromogênico

A Tabela II. 3.4 apresenta a composição dos dois tipos de água empregados no experimento. Destaca-se a que carga microbológica da água residuária de bovinocultura verificada foi 100 vezes acima do limite de $4,0 \cdot 10^3 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ definido pela Resolução CONAMA n. 357/2005 (Brasil, 2005) para águas doces de Classe 3 (qualidade mínima permitida para uso na irrigação de forrageiras).

Tabela II. 3.4. Características químicas e microbiológicas médias da água de poço (Ap) e da água residuária de bovinocultura (ARB) utilizadas na irrigação do capim Tifton 85.

	pH	CE	ST	DQO	DBO	Turbidez	RAS
	Un	($\mu\text{S cm}^{-1}$)	(g L^{-1})	($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)		(UNT)	(mmol L^{-1}) ^{0,5}
ARB	5,0	1270,0	8,8	17298,6	1470,0	5340,0	0,8
Ap	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	P ₂ O ₅ total	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Ca	Mg	Na	K
	(mg L ⁻¹)			(ppm)			
ARB	72,40	15,80	233,90	84,00	45,60	0,0	0,0
Ap	0,09	0,06	0,12	0,00	2,00	0,0	0,0
	Dureza	Alcalinidade total	<i>E. coli</i>	Coliformes totais			
	(mg CaCO ₃ L ⁻¹)		(NMP 100 mL ⁻¹)				
ARB	400,0	25,0	6,24 · 10 ⁵	2,42 · 10 ⁷			
Ap	2,0	0,0	0,0	3,5 · 10 ¹			

3.4. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Para evitar a contaminação das parcelas, foram montados dois sistemas de irrigação por aspersão convencional, um para a aplicação da ARB e outro para a Ap (Figura II. 3.3).

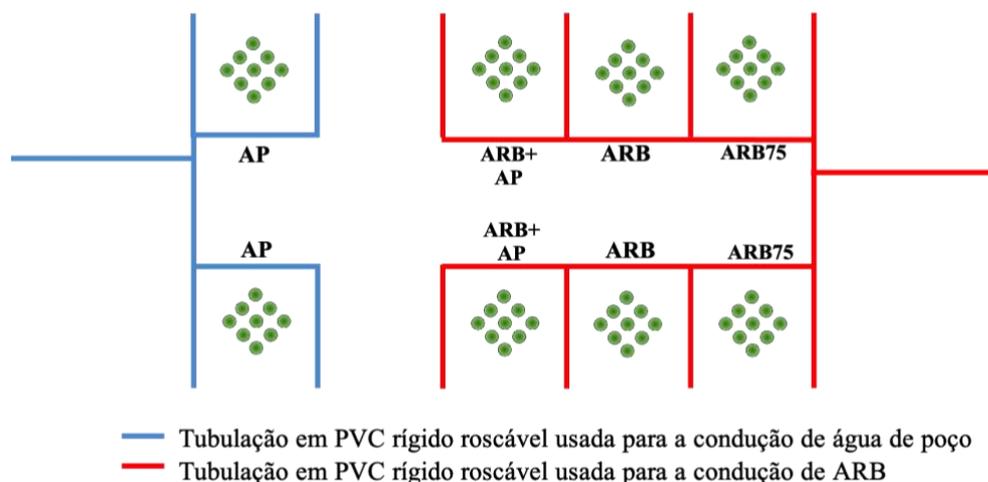


Figura II. 3.3. Croqui com a disposição dos tratamentos utilizando água do poço e água residuária de bovinocultura.

Os sistemas eram idênticos e compostos por aspersores setoriais (operação em 90°, bocal de 4,0 mm, pressão de serviço de 25 m.c.a. e vazão 0,99 m³ h⁻¹), sendo que a operação de cada

sistema ocorria de forma independente. A disposição dos emissores proporcionava a sobreposição da lâmina de quatro aspersores sobre cada parcela e a intensidade de precipitação resultante média foi de 26 mm h⁻¹ (medido em ensaio de uniformidade *in loco* – CUC = 80%). A lâmina por evento de irrigação aplicada nos tratamentos ARB, ARB+Ap e AP foi de 8,6 mm e no tratamento ARB75 foi de 6,45 mm.

Para aplicação da ARB foi utilizado bomba centrífuga de 3 CV e, para garantir a mesma pressão e mesma intensidade de precipitação em todos os aspersores, foi instalado um regulador de pressão na tubulação adutora.

No último evento de irrigação, os vasos do tratamento ARB+Ap foram deslocados para a área irrigada com Ap para, então, ser submetido à última irrigação com Ap para promoção da lavagem das folhas conforme descrito na Tabela II. 3.2. Os vasos do tratamento ARB+Ap foram posicionados a 1,0 m de distância dos vasos do tratamento Ap, de forma a evitar a contaminação durante a irrigação.

3.5. VARIÁVEIS AVALIADAS

3.5.1. Microrganismos na forragem

Em cada evento de amostragem, foram coletados aproximadamente 2,5 g de forragem fresca colhida da porção superior e média do dossel. A coleta realizou-se sempre no período da manhã, utilizando um estilete que foi esterilizado com álcool isopropílico 70% antes da coleta de cada tratamento.

A amostragem da forragem ocorreu aos 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias a partir da interrupção da irrigação. O intervalo de amostragem foi ajustado durante o experimento buscando acompanhar o ritmo do decaimento da concentração de microrganismos observada em cada análise.

Após a coleta cada amostra foi acondicionada em um béquer esterilizado contendo 100 mL de solução tampão fosfato-salino (PBS) e transportada sob refrigeração (< 5°C) (Sidhu *et al.*, 2017 – adaptado). As amostras em solução PBS foram colocadas em mesa agitadora à 150 rpm por 10 minutos para extração dos microrganismos da superfície da forrageira.

Da solução de PBS retirou-se a alíquota para a diluição em água destilada, de modo a compor 100 mL de solução diluída. As alíquotas e as proporções de diluição variaram de acordo com a carga microbológica de cada amostra, desde nenhuma diluição até diluição de 100 vezes, para viabilizar a contagem de microrganismos.

Em cada amostra de 100 mL foi acrescentado o substrato cromogênico indicador Colilert® e feita a completa dissolução e homogeneização com auxílio de agitador magnético. A mistura foi acondicionada em cartela Quanti-Tray 2000 que foi selada utilizando a seladora Quanti-Tray Sealer e colocada em estufa biológica para incubação a 35 °C pelo período mínimo de 24 horas.

Os CT foram indicados pela presença de células na cartela que adquiriram coloração amarelada, enquanto a contagem de *E. coli* pela leitura das células com coloração fluorescente azul na presença de luz ultravioleta 365 nm (APHA, 2017).

3.5.2. Produtividade

Ao mesmo tempo em que se coletou a forragem para análise microbológica, amostrou-se em triplicata aproximadamente 10 g de forragem fresca para determinação da umidade, pelo método gravimétrico. Cada amostra foi acondicionada individualmente em saco de papel tipo graft e transferida para secagem em estufa a 55 °C por 48 horas (Gardner, 1986).

No último dia de amostragem (dia 12 após a interrupção da irrigação) fez-se o corte a 5 cm da superfície do solo de toda a forragem, em 3 vasos de cada tratamento para a determinação da produtividade, determinada pelo método direto gravimétrico. A produtividade de matéria

fresca de forragem foi obtida pela Equação II. 7, cuja forragem correspondente a cada subamostra foi pesada *in loco* em balança digital com precisão de 0,0001 g:

$$P_{MF} = \frac{MF}{Aca} \quad \text{Equação II. 7}$$

Sendo: P_{MF} : produtividade de matéria fresca ($t\ ha^{-1}$); MF: massa de matéria fresca, em toneladas; Aca: área de coleta da amostra (seção do vaso utilizado no cultivo do Tifton 85) (ha).

Determinou-se a massa seca com balança com precisão de 0,0001 g, a partir da qual se estimou a umidade da amostra. A produtividade em matéria seca foi estimada pela Equação II. 8:

$$P_{MS} = P_{MF} \cdot (1 - U_{b.u.}) \quad \text{Equação II. 8}$$

Sendo: P_{MS} : produtividade de matéria seca ($t\ ha^{-1}$); $U_{b.u.}$: teor de umidade em base úmida (decimal).

3.6. DECAIMENTO DE MICRORGANISMOS

O decaimento dos CT e da *E. coli* foi definido pela aplicação da Lei de Chick (1908). A inativação bacteriana foi calculada assumindo o modelo exponencial de primeira ordem.

A mortalidade aparente (T_{90}), que representa o tempo necessário para a redução da população de microrganismos para a ordem de $1 \times \text{Log}_{10}$ foi determinada para os modelos de decaimento ajustados, conforme a Equação II. 6.

3.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise estatística foi realizada no software Microsoft Excel, sendo a análise da produção de fitomassa realizado com emprego do aplicativo suplementar para Excel SpeedStat 2.5 (Carvalho *et al.*, 2020). Em todos os casos foi adotada a significância de $p = 0,05$.

Os dados de produtividade foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, no caso de diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

O decaimento médio ($\Delta \text{Log}_{10} \text{ NPM g}^{-1} / \Delta \text{ tempo}$) no tempo foi determinado para o intervalo de dias entre cada data de coleta e para o período total do experimento (12 dias). O decaimento foi analisado por meio do ajuste ao modelo de regressão linear simples (NPM g^{-1} vs Tempo). O teste t de Student foi utilizado para verificar a significância do coeficiente angular e foi adotada a significância de $p = 0,05$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CONTAGEM DE COLIFORMES TOTAIS E DE *E. COLI* NO TIFTON 85

A fitomassa produzida durante o experimento nos vasos irrigados com ARB foi, em média, 46% maior em relação aos vasos irrigados com Ap (Tabela II. 4.1). A diferença na produtividade da pastagem quando submetida a aplicações de Ap e ARB é esperada em razão dos nutrientes presentes nas águas residuárias (Cameron & Di, 2019).

Tabela II. 4.1. Produção de fitomassa do Tifton 85 cultivado em vasos e irrigado com diferentes tipos de água.

Tipo de água	Fitomassa (g vaso ⁻¹)
Ap	26,34 ^B
ARB+Ap	38,16 ^A
ARB	43,28 ^A
ARB75	40,06 ^A
p-valor	< 0,001 ^{**}
C.V. (%)	12,28

Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A produtividade da forrageira é relevante para justificar o reúso, num primeiro momento, baseando-se na maior oferta de alimento. No entanto, os fatores ambientais que favorecem o crescimento da pastagem são, também, favoráveis para a proliferação da *E. coli* no ambiente, de modo que essas diferenças observadas na pastagem podem afetar o processo de transmissão da *E. coli* para os animais (Williams *et al.*, 2015).

Nota-se uma maior oferta de carga microbiológica na fitomassa, pela contagem de CT (Tabela II. 4.2). No dia inicial de monitoramento microbiológico (30º dia desde o início das irrigações), variou entre 15,3 NMP g⁻¹ (irrigação com Ap) a 168 269,7 NMP g⁻¹ (irrigação com ARB75). O reúso proporcionou uma contagem inicial de CT correspondente a 572 vezes (ARB), 29 vezes (ARB+AP) e 11.000 vezes (ARB75) ao observado na forrageira irrigada com

Ap. No último dia de monitoramento (12º dia após a última irrigação) a variação foi de 4 vezes (ARB), 2 vezes (ARB+AP) e 3 vezes (ARB75).

Tabela II. 4.2. Coliformes totais (NMP g⁻¹) no Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de poço ao 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias após a última irrigação.

T (dias)	Ap	ARB	ARB+Ap	ARB75	Média
Coliformes totais em (NMP g ⁻¹)					
0	15,3	8 755,6	442,7	168 269,7	44 370,8
2	166,6	13 407,3	4 069,7	9 533,1	6 794,2
4	2 556,5	1 806,1	293,7	113,6	1 192,5
6	24,6	564,3	50,7	177,6	204,3
10	0,5	1 624,8	148,7	1 491,1	816,3
12	261,1	1 066,4	649,4	750,2	681,8

É importante considerar que as irrigações ao longo dos 30 dias de condução da forrageira certamente causaram um efeito cumulativo para a contaminação microbiológica da fitomassa registrada no dia zero (dia de interrupção da irrigação). Dada as características dos tratamentos com alguma quantidade de água residuária na água de irrigação, pôde-se constatar que a redução da lâmina de irrigação para 75%, por si só, não é suficiente para limitar a ocorrência de microrganismos fecais, como observado nos maiores valores para a ARB75 em relação à ARB no dia zero. No dia zero notou-se que a forragem que recebeu ARB75 apresentou a maior quantidade de CT (168.270 NMP g⁻¹), embora a quantidade de água residuária e a carga microbiológica aplicada neste tratamento tenham sido inferior aos do tratamento com ARB.

A substituição da ARB por Ap no último evento de irrigação efetuou a lavagem das folhas e resultou em um ligeiro controle da contaminação microbiológica em relação aos outros tratamentos com água residuária, entretanto, não é suficiente para remover os CT das folhas do Tifton 85 (443 NMP g⁻¹ no dia zero). A exposição da superfície foliar à água não contaminada, a princípio, auxilia na lixiviação de patógenos, como observado em pastagens submetidas à aplicação de esterco bovino (van Kessel *et al.*, 2007).

Para as combinações de água de irrigação ARB+Ap e ARB75 notou-se que, no dia 12 após a última irrigação, os valores de CT foram relativamente próximos (entre 649 e 750 NMP

g⁻¹), e ligeiramente inferiores ao resultado do tratamento ARB, indicando que a diferença entre as duas aplicações com ARB é relevante logo após a última irrigação e indiferente ao longo do tempo.

As taxas de decaimento dos CT indicam períodos em que houve a recuperação dos coliformes (taxa < 0) e outros períodos em que houve o decaimento efetivo (taxa > 0) (Tabela II. 4.3). Não houve padrão de decaimento ou recuperação entre os tratamentos para os intervalos de observação das taxas e esse fato justifica-se pela dificuldade do controle ambiental na condução do experimento.

Tabela II. 4.3. Taxa de decaimento de coliformes totais (NMP g⁻¹ dia⁻¹) no Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de poço ao 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias após a última irrigação.

T (dias)	Ap	ARB	ARB+Ap	ARB75	Média
Taxa diária de decaimento em Log ₁₀ (NMP g ⁻¹ dia ⁻¹)					
0 ao 2	-75,7	-2 325,9	-1 813,5	79 368,3	18 788,3
2 ao 4	-1 194,9	5 800,6	1 888,0	4 709,8	2 800,9
4 ao 6	1 266,0	620,9	121,5	-32,0	494,1
6 ao 10	6,0	-265,1	-24,5	-328,4	-153,0
10 ao 12	-130,3	279,2	-250,4	370,5	67,2
0 ao 12	-20,5	640,8	-17,2	13 960,0	3 640,8

Dentre os fatores ambientais, a umidade do meio e a pequena amplitude térmica são indicadas como os que mais contribuem para o crescimento populacional do microrganismo antes do seu declínio efetivo (Soupir *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2018), principalmente se este microclima ocorre protegido dentro de uma vegetação (van Kessel *et al.*, 2007). Considerando a ausência de repetição nas análises em cada evento de coleta, é importante salientar que os resultados obtidos também estão sujeitos à influência relevante do erro experimental.

Em média, a taxa de decaimento geral da Ap mostra que o Tifton 85 adquiriu coliformes durante o período de monitoramento (partindo do inicial 15,3 NMP g⁻¹ para 2.557 NMP g⁻¹ no fim dos 12 dias). Como a análise microbiológica da água de poço não apresentou contagem significativa de CT, assume-se que a contaminação da forragem foi decorrente da proximidade

dos vasos deste tratamento com os do tratamento ARB+Ap no evento final de irrigação e durante os 12 dias de monitoramento. O decaimento médio geral do tratamento ARB+Ap também foi negativo e próximo de zero, sendo que neste caso é possível que tenha ocorrido, também, a recuperação/proliferação dos microrganismos.

Os tratamentos ARB e ARB75 apresentaram o decaimento geral da população de CT nas respectivas taxas iguais a 640,8 e 13 960 NMP g⁻¹ dia⁻¹, o que significa que o decaimento no tratamento ARB75 ao longo dos 12 dias de monitoramento foi mais acentuado do que no tratamento ARB. Salienta-se que o tratamento ARB75 apresentou um valor inicial de CT 19 vezes maior que o ARB e ao fim do período apresentou menor valor de CT (750 NMP g⁻¹).

A ARB mostrou qualidade microbiológica inferior e inadequada para irrigação irrestrita (< 1.000 UFC 100mL⁻¹), com valores médios de *E. coli* na ordem de 10⁵UFC 100 mL⁻¹, não se adequando aos padrões recomendados pela OMS. No entanto, para a irrigação de forrageiras, segundo a mesma organização, não existe valor de *E. coli* que seja restritivo (WHO, 2006). A *E. coli*, dentre os coliformes, é importante do ponto de vista sanitário devido ao seu potencial causador de infecções, tanto de caráter gastrointestinal quanto de tecidos como a mastite, portanto, sua apresentação se faz necessária para complementar a discussão.

Os teores de *E. coli* no dia zero do monitoramento variaram entre 4,1 NMP g⁻¹ (Ap) a 527 NMP g⁻¹ (ARB75). No dia zero, os tratamentos proporcionaram no mínimo 3,38 Log₁₀ NMP g⁻¹ a menos do que o registrado por Ashekuzzaman *et al.* (2018) e van Kessel (2007) para *E. coli* no esterco bovino (6 Log₁₀ a 7 Log₁₀ UFC.g⁻¹), sendo que neste aspecto foram atendidas as expectativas em função de como a ARB foi aplicada (Tabela II. 4.4). A partir do 10º dia da última irrigação, já não existia *E. coli* na parte aérea do Tifton 85, ao contrário do observado para CT, sendo justificado por van Kessel *et al.* (2007) pela maior sensibilidade da *E. coli* à exposição solar, à redução da umidade e ao aumento da temperatura, em relação aos CT, em condições de campo.

Tabela II. 4.4. Densidade de *Escherichia coli* (NMP g⁻¹) no Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de poço ao 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias após a última irrigação.

T (dias)	Ap	ARB	ARB+Ap	ARB75	Média
Coliformes termotolerantes (<i>E. coli</i>) (NMP g ⁻¹)					
0	4,1	226,0	376,0	527,5	283,4
2	153,3	107,6	72,9	46,8	95,2
4	4,3	13,7	261,7	83,1	90,7
6	12,5	374,9	27,0	69,5	121,0
10	-	-	1,9	4,9	1,7
12	-	-	-	1,2	0,3

A lixiviação promovida pela irrigação com a Ap no tratamento ARB+Ap não foi eficaz na redução da contaminação com *E. coli* em relação à irrigação com ARB no dia zero. Fatores como o microclima do dossel, o contato da parte aérea da planta com o solo contaminado (Mok *et al.*, 2014), a capacidade de aderência dos microrganismos com as folhas do Tifton 85 (Santos *et al.*, 2006) e a lâmina de lixiviação aplicada insuficientemente, podem ter promovido a manutenção deste grupo de bactérias na parte aérea.

Mesmo o capim irrigado com Ap apresentou alguma concentração de *E. coli*, sendo que o valor obtido para a irrigação com Ap justifica-se principalmente pela contaminação pela possível deriva nos eventos de irrigação que ocorreram nos dias que antecederam o monitoramento microbiológico e pela poeira do proveniente do trânsito de animais e máquinas na área adjacente ao experimento. Para Muirhead *et al.* (2009), a grande variabilidade microbiológica exibida na superfície de uma pastagem e do solo, muito provavelmente, é uma indicação de entradas continuadas de material de origem fecal. Nandakafle *et al.* (2017) salientam que existem estirpes de *E. coli*, de ocorrência em pastagens, que são filogeneticamente distintas das de origem fecal bovina e que são capazes de manter-se ativas fora do ambiente fecal.

Ao fim do período de monitoramento, a população de *E. coli* atingiu valores entre 0 e 12 NMP g⁻¹, sendo o tratamento ARB75 o único que apresentou alguma presença de *E. coli*. O

decaimento da *E. coli* geral (do dia 0 ao 12) foi positivo para todos os tipos de água empregados na irrigação, variando de 0,3 NMP g⁻¹dia⁻¹ (Ap) a 43,9 NMP g⁻¹dia⁻¹ (ARB75) (Tabela II. 4.5).

Tabela II. 4.5. Taxa de decaimento de *Escherichia coli* (Log₁₀ NMP g⁻¹d⁻¹) no Tifton 85 irrigado com água residuária de bovinocultura e água de poço ao 0, 2, 4, 6, 10 e 12 dias após a última irrigação.

T (dias)	Ap	ARB	ARB+Ap	ARB75	Média
Taxa diária de decaimento de <i>E. coli</i> (NMP g ⁻¹ dia ⁻¹)					
0 ao 2	-74,6	59,1	151,5	240,3	94,1
2 ao 4	74,5	47,0	-94,4	-18,1	2,2
4 ao 6	-4,1	-180,6	117,3	6,8	-15,1
6 ao 10	3,1	93,7	6,3	16,2	29,8
10 ao 12	0,0	0,0	0,9	1,8	0,7
0 ao 12	0,3	18,8	31,3	43,9	23,6

O decaimento da *E. coli* para o Tifton 85 irrigado nas condições do presente estudo foi mais rápido do que o observado para o esterco bovino fresco, cuja redução para valores menores que os iniciais, ocorreu aos 20 dias (Van Kessel *et al.*, 2007). Este fato decorre da diluição da população microbiológica na água de irrigação e da maior superfície de exposição proporcionada pela arquitetura da planta em relação à massa de esterco. A *E. coli* foi detectada no capim para todos os tipos de água até o 6º dia do monitoramento e seguiu presente nas plantas dos tratamentos ARB+Ap e ARB75 no dia 10. Aos 12 dias do monitoramento, a *E. coli* foi detectada apenas nas plantas do tratamento ARB75.

Weller *et al.* (2017) notaram a presença de *E. coli* (de 7,0Log₁₀ inicialmente para 3,64 Log₁₀ NPM planta⁻¹) em alface inoculada com um extrato fecal mesmo após 10 dias desde a exposição. A partir do 6º dia da última irrigação ocorreu o aumento de 3,6 °C da temperatura média do ar e redução da umidade relativa de 42% para 24%, e, portanto, a consequente interferência no microclima foi importante para a redução da população epífita, sobretudo nos tratamentos com menor carga microbiológica (Xu *et al.*, 2016).

No que se refere à interferência do microclima na sobrevivência microbiológica, é importante salientar que a inativação da *E. coli* para os tratamentos Ap e ARB, observada a

partir do 6º dia, foi semelhante. Isso evidencia que um dossel com menor quantidade de fitomassa, como foi o caso do Tifton 85 irrigado com a Ap (cerca de metade da produção do tratamento com ARB), ainda configurou um ambiente suficientemente protegido para a ocorrência de um período de inativação igual ao observado para o capim irrigado com ARB.

Estes resultados permitem demonstrar, inclusive, que a arquitetura da planta tem um papel muito importante na sobrevivência microbiológica, capaz de compensar a própria carga microbiológica aplicada. Aguiar et al. (2017), num experimento de monitoramento de larvas de nematoides, perceberam que a população de larvas ativas varia conforme o hábito de crescimento da forrageira, tendo sido observado maiores quantidades na pastagem do capim *Panicum maximum*, seguido pelo Tifton 85, e, pelas espécies do gênero *Brachiaria*. Salienta-se que, a exposição à radiação solar deixa de influenciar diretamente na mortalidade de microrganismos epífitos quando sob as condições climáticas deste experimento (ar mais quente e seco) (Sidhu et al., 2008), sendo a intensidade da evaporação a variável mais relevante (Crane & Moore, 1986).

4.2. AJUSTE DO MODELO DE DECAIMENTO POPULACIONAL

A partir dos valores de CT e *E. coli* foi realizado o ajuste ao modelo linear aplicado à Lei de Chick para determinar as constantes de decaimento. Apenas os dados dos tratamentos ARB e ARB75, para CT, e dos tratamentos ARB+Ap e ARB75, para *E. coli*, permitiram o ajuste significativo ao modelo de regressão linear e, portanto, apresenta-se na Tabela II. 4.6 os parâmetros de regressão linear e da Lei de Chick ajustadas para os respectivos tratamentos, e na Figura II. 4.1 apresentam-se os gráficos do decaimento para a transformação das concentrações em base de Log₁₀.

Tabela II. 4.6. Parâmetros para a regressão linear, em escala de $\text{Log}_{10} N_i/N_0$, e modelo de decaimento populacional dos Coliformes totais e da *Escherichia coli*, em NMP g^{-1} , no Tifton 85 irrigado com reúso de água residuária de bovinocultura.

Tratamento	Parâmetros da regressão linear			
	Coefficiente angular (Estatística T)	R ²	p-valor	K
ARB (CT)	-0,093 (-4,241)	0,782	0,013*	2,519
ARB75(CT)	-0,273 (-3,751)	0,738	0,02*	0,980
ARB+AP (<i>E. coli</i>)	-0,204 (-6,605)	0,916	0,0071**	1,007
ARB75 (<i>E. coli</i>)	-0,209 (-10,766)	0,959	0,0004***	0,868
	Modelo de decaimento populacional			T90
ARB (CT)	$C = 8\,755,6 \cdot e^{(-2,519t)}$			0,91
ARB75(CT)	$C = 168\,269,7 \cdot e^{(-0,980t)}$			2,35
ARB+AP (<i>E. coli</i>)	$C = 375,9 \cdot e^{(-1,007t)}$			2,29
ARB75 (<i>E. coli</i>)	$C = 527,50 \cdot e^{(-0,868t)}$			2,65

C: concentração de CT ou de *Escherichia coli* no tempo t; k: constante de decaimento cinético; t: tempo decorrido após a irrigação (dias). * significativo a 5%. ** significativo a 1%. *** significativo a 0,1%.

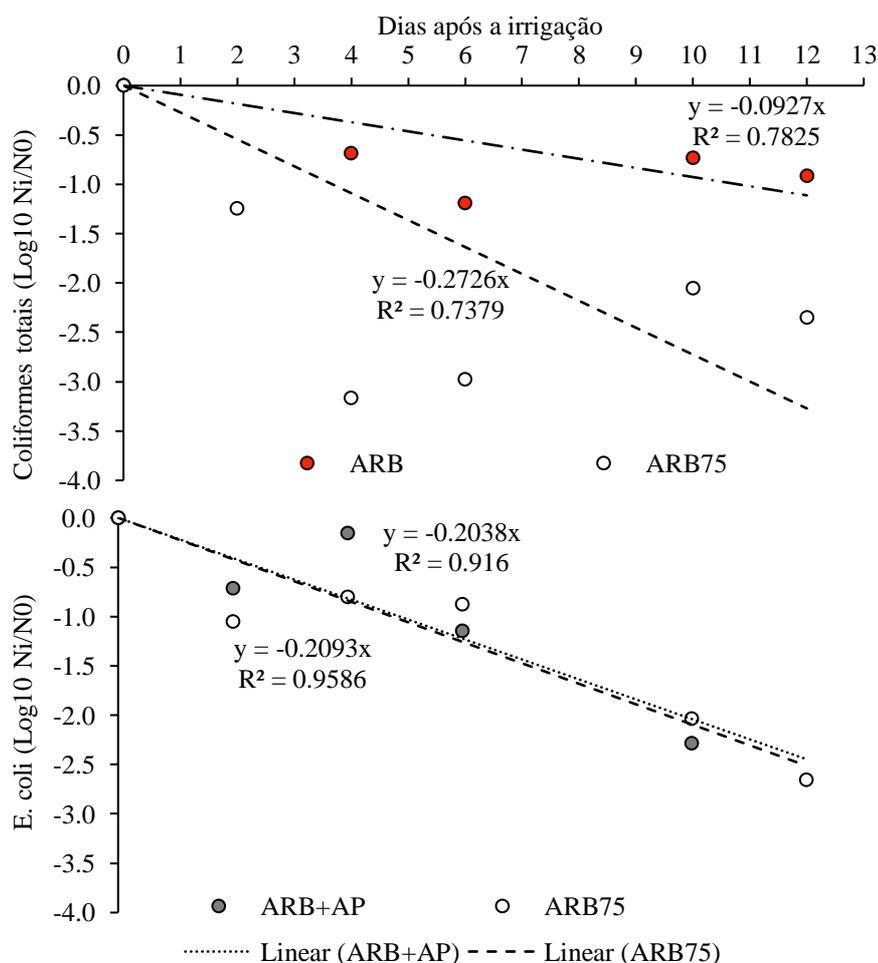


Figura II. 4.1. Regressão linear do decaimento dos Coliformes totais (a) e da *Escherichia coli* (b), em escala $\text{Log}_{10} (N_i/N_0)$, para i dias após a irrigação com água residuária de bovinocultura (ARB), com lâmina de 75% da ETp (ARB75), ou combinada com água de poço (ARB+AP).

As constantes de decaimento cinético (k) dos CT foram de 2,519 para ARB e 0,980 para ARB75. Enquanto para a *E. coli*, foram de 1,007 para ARB+Ap e de 0,868 para ARB75. Nota-se que os valores de k observado para os CT na forrageira com ARB75 esteve próximo ao observado para *E. coli*, também com ARB75, sendo provável que, numa situação do reúso com irrigação em déficit, a taxa de decaimento obtida para os CT possa ser atribuída para estimar o decaimento da *E. coli*. No entanto, deve-se ter em atenção a proporção de *E. coli* para a correspondente população de CT, para a correta estimativa do seu decaimento. Novas avaliações precisam ser realizadas para confirmar esta hipótese e, caso esta seja confirmada, a metodologia de monitoramento microbiológico, no que se refere às análises laboratoriais, pode ser simplificada. Infelizmente, devido à falta de ajuste dos valores de *E. coli* para ARB e dos valores de CT para ARB+Ap, não foi possível verificar alguma relação semelhante para estes dois tratamentos.

Os valores de k dos CT foram de 4,9 a 12,8 vezes superiores ao valor médio de 0,197 observado por van Kessel et al. (2007) para esterco bovino, enquanto os valores de *E. coli* foram, em média, 4,3 vezes superiores ao k médio de 0,218 observado pelos mesmos autores. A variação das constantes de decaimento permite constatar diferentes magnitudes de decaimento entre os tipos de microrganismos (CT e *E. coli*), e entre as formas de exposição do material contaminante (em solução e com algum avanço na decomposição – no caso da ARB, ou sólido – no caso do esterco).

Com base no valor de k , pode-se inferir que o decaimento populacional dos CT no Tifton 85, quando submetido à irrigação com ARB, é cerca de 2,5 vezes mais acentuado do que quando submetido à uma irrigação em déficit e com ARB (ARB75). Para o caso da *E. coli*, quando o Tifton 85 é submetido à irrigação no último evento com Ap (ARB+Ap), o decaimento populacional é ligeiramente mais acentuado do que com a irrigação efetuada no tratamento ARB75.

Considerando as condições de exposição do Tifton 85, os tratamentos ARB e ARB75 proporcionaram tempos de mortalidade aparente (T90) dos CT iguais a 0,91 e 2,35 dias. Enquanto os tratamentos ARB+Ap e ARB75 proporcionaram T90 da *E. coli* iguais a 2,3 e 2,7 dias, respectivamente. Em um ambiente de cultura isolado, a *E. coli* mantém a sua população por até 30 dias, e atinge o T90 apenas após 179 dias (Nandakafle *et al.*, 2017). O T90 representa a resistência do microrganismo à inativação e varia em função de fatores como material, condições climáticas, grau de exposição do microrganismo, carga microbiológica inicial e estirpe (Martin-Díaz *et al.*, 2017).

A persistência, tanto dos CT quanto da *E. coli*, na parte aérea do Tifton 85, quando irrigado com ARB, foi maior do que num gramado irrigado com efluente de esgoto doméstico (*E. coli* inicial de 10^4 NMP g^{-1} – no inverno – a 10^8 NMP g^{-1} – no verão) ao longo de diferentes estações do ano, e diferentes níveis de sombreamento, na Austrália (T90 = 3,4 h a 1,45 dias) (Sidhu *et al.*, 2008). Em contrapartida, as condições ambientais do presente estudo foram mais adversas à sobrevivência da *E. coli* do que em sedimentos fluviais, coletados num rio que atravessa uma zona urbana, na Espanha (T90 = 11 dias) (Martin-Díaz *et al.*, 2017).

A persistência dos microrganismos epífitos na parte aérea de uma planta parece ser menos influenciada pelo tipo de cobertura do solo (Xu *et al.*, 2016) e mais associada principalmente à sua exposição (Sidhu *et al.*, 2008). Tendo por base o comparativo acima, evidencia-se a importância da arquitetura da planta e da carga microbiológica da água de irrigação na persistência de microrganismos. Salienta-se que o experimento foi conduzido no fim da estação seca do Cerrado brasileiro, que corresponde ao inverno, e o clima, monitorado durante o período do experimento, foi caracterizado pela baixa umidade relativa do ar (45-24%) e maior amplitude térmica.

4.3. RECOMENDAÇÃO DE PRAZO ENTRE A ÚLTIMA IRRIGAÇÃO COM REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA E O ACESSO DOS ANIMAIS NO PASTO

A partir dos resultados obtidos são feitas algumas observações acerca do reúso de ARB tendo como condicionante a manutenção da sanidade animal.

De acordo com o tempo de mortalidade aparente (T90) obtido da regressão linear é necessário que seja respeitado o vazio de pelo menos 3 dias aproximadamente para que a carga microbiológica de *E. coli* atinja a ordem de 10% da carga inicial, considerando as condições em que o experimento foi desenvolvido, especialmente no que se refere as condições climáticas e desenvolvimento vegetativo do capim. Para os tratamentos ARB+Ap e ARB75 esta carga corresponde a 37,6 e 52,8 NMP g⁻¹. Van Ginneken & Oron (2000) reforçam que a extensão do tempo entre a irrigação e o contato com o produto é a alternativa operacional mais eficiente para redução do risco de contaminação.

A resolução RDC nº 12 da Anvisa (Brasil, 2001) trata dos padrões de qualidade de produtos para a alimentação humana e determina que os alimentos de origem vegetal com destinação para o consumo *in natura* tenham no máximo entre 10² e 10³ NMP g⁻¹. Portanto, analogamente, os valores obtidos para a forragem de Tifton 85 são adequados para o consumo animal.

A combinação de uma água residuária com menor carga bacteriana e de um sistema de irrigação que provoque menos molhamento da área foliar traria menores riscos sanitários ao reúso sob o ponto de vista microbiológico. Pereira *et al.* (2014) avaliaram a contaminação microbiológica do Tifton submetido ao reúso de esgoto doméstico tratado, cuja aplicação foi por sistema de sulcos, e observaram presença insignificante de coliformes termotolerantes (< 3,0 NMP g⁻¹) na coleta da forragem já ao 3º dia após a interrupção da irrigação. No entanto, em termos práticos, a possibilidade de irrigar por aspersão é mais interessante, uma vez que este

tipo de sistema permite uma maior eficiência de aplicação, comparada a irrigação por sulco, além da possibilidade de aproveitamento da infraestrutura de irrigação existente na propriedade.

O presente estudo foi motivado pela necessidade de se determinar o intervalo de tempo após a última irrigação com reúso de ARB para o pastejo seguro de vacas leiteiras, considerando o risco de desenvolvimento de mastite ambiental usando a persistência dos CT e da *E. coli* como indicadores. Entretanto, o tempo de desinfecção acima citado é o mínimo a ser utilizado para se tomar uma decisão do manejo do reúso em pastagens, tendo-se em consideração, ainda, que este estudo não abrange a problemática sanitária na sua totalidade.

Este estudo aborda uma fração daquilo que determina a ocorrência microbiológica responsável pelo estabelecimento da infecção de vacas em pastagens irrigadas com ARB. Para melhorar a discussão e sustentar a prática do reúso utilizada, são recomendados pelo menos três estudos complementares para consolidar as conclusões obtidas:

- i) Condução da irrigação com mais eventos de lavagem com água isenta de contaminação (água de poço ou superficial) para identificar a influência da lixiviação no controle microbiológico da pastagem, procedendo uma análise de viabilidade técnico-econômica da origem da água para o sistema de irrigação;
- ii) Estudo do reúso sobre as ocorrências de mastite sob a perspectiva da microbiologia veterinária, avaliando se a carga de contaminação indicada no tempo de mortalidade aparente (T90) é suficientemente baixa para reduzir o risco de desenvolvimento de casos de mastite ambiental. Deve-se ainda avaliar a necessidade de ajuste do programa de controle de mastite face ao emprego do reúso, visto que a infecção do animal se faz diretamente do ambiente para o interior da glândula mamária e o controle da mastite ambiental é feito fundamentalmente pela redução da exposição dos tetos ao ambiente contaminado e pela manutenção da imunidade das vacas (Cosser *et al.*, 2012);

iii) Estudo comportamental com os animais incluindo uma análise sensorial da forrageira no contexto do reúso, com a finalidade de ajustar o tempo após a irrigação com ARB para que a forrageira se apresente atrativa visualmente para o consumo. Esta recomendação parte do relato de criadores que fazem o reúso em áreas de pastagem e das observações feitas a campo no decorrer do desenvolvimento deste estudo, em que se notou a recusa dos animais pelo pastejo em áreas recentemente irrigadas com ARB. Dada a alta concentração de sólidos totais, a ARB altera consideravelmente o aspecto visual e olfativo da forrageira, interferindo no interesse das vacas pelo alimento volumoso.

5. CONCLUSÕES

O reúso da água residuária da bovinocultura (ARB) contribui para a ocorrência de bactérias do tipo coliformes, dentre elas a *Escherichia coli*, em níveis acima do valor de referência consultado para este estudo (RDC n.12 da Anvisa), que diz respeito à ingestão por humanos. Entretanto, aproximadamente 3 dias depois da última irrigação, esta carga microbiológica atinge valores possíveis para o consumo animal, considerando as condições em que o experimento foi desenvolvido.

A lavagem da forrageira com água de poço (Ap) após uma sequência de eventos de irrigação com ARB não tem efeito prático para a redução da carga de CT e *E. coli* na pastagem de Tifton 85 nas condições em que o experimento foi desenvolvido.

O reúso da ARB utilizando uma lâmina de irrigação reduzida (75% da ETp) também não proporciona redução relevante da carga de CT e *E. coli* na pastagem de Tifton 85. Entretanto, é uma estratégia de manejo da irrigação recomendada, visto que proporciona produção de fitomassa semelhante a aplicação de toda a lâmina de irrigação com ARB.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A.R.; FERRAZ, C.M.; HIURA, C.M.; GOMES, L.C.; SOUZA, L.M.; RIBEIRO, V.O.; FRÓES, F.V.; LOPES, A.D.C.G.; L. NETO, T.P.; TOBIAS, F.L.; ARAÚJO, J.V.; BRAGA, F.R. Gastrointestinal nematode larvae in dairy cattle bred on *Panicum maximum* cv. Mombaça, *Cynodon*, *Brachiaria mutica* and *Brachiaria decumbens* pastures. **Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 31, n. 3, p. 5074-5078, 2017.
- AL-GHEETHI, A.A.; RADIN MOHAMED, R.M.S.; EFAQ, A.N.; AMIR HASHIM, M.K. Reduction of microbial risk associated with greywater by disinfection processes for irrigation. **Journal of Water and Health**, v.14, n.3, p. 379-398, 2016.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) (2017) Standard method for examination of water and wastewater, 23 ed. APHA, AWWA, WPCF, Washington.
- ASHEKUZZAMAN, S.M.; RICHARDS, K.; ELLIS, S.; TYRREL, S.; O'LEARY, E.; BRIFFITHS, B.; RITZ, K.; FENTON, O. Risk assessment of E. coli survival up to the grazing exclusion period after dairy slurry, cattle dung, and biosolids application to grassland. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, article 34, 2018.
- BOWMAN, D.C.; DEVITT, D.A.; MILLER, W.W. The effect of moderate salinity on nitrate leaching from Bermudagrass Turf: a lysimeter study. **Water, air and soil pollution**, v. 175, p. 49-60, 2006.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-RDC n. 12 de 2 de janeiro de 2001. Brasília. **Anexo: Regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos.** Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/anexos/anexos_res0012_02_01_2001.pdf Acesso em: 11/11/2023.
- _____. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 357 de 17 de março de 2005.** Diário Oficial da União, n. 53, p.58-63, Brasília. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acesso em: 02/01/2020.
- CAMERON, K.C.; DI, H.J. A new method to treat farm dairy effluent to produce clarified water for recycling and to reduce environmental risks from the land application of effluent. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 2290-2302, 2019.
- CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F.F.N.; BARROS, J.R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.
- CARVALHO, A.M.X.; MENDES, F.Q.; MENDES, F.Q.; TAVARES, L.F. Speed Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n.3, p. 1-6, 2020.
- CASTAGNARA, D.D.; AMES, J.P.; NERES, M.A.; OLIVEIRA, P.S.O.; SILVA, F.B.; MESQUITA, E.E.; STANGARLIN, J.R; FRANZENER, G. Use of conditioners on the production of Tifton 85 grass hay. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 10, p. 2083-2090, 2011.
- CATTO, J.B.; BIANCHIN, I. Efeito de sistema de pastejo e de espécies forrageiras na contaminação da pastagem e no parasitismo por nematóides em bovinos de corte. **Revista Brasileira Saúde e Produção Animal**, v. 8, n. 4, p. 343-353, 2007.

- CHEN, Z.; ZHANG, W.; YANG, L.; STEDTFELD, R.D.; PEND, A.; GU, C.; BOYD, S.A.; LI, H. Antibiotic resistance genes and bacterial communities in cornfield and pasture soils receiving swine and dairy manures. **Environmental Pollution**, v. 248, p. 947-957, 2019.
- CHICK, H. An investigation of the laws of disinfection. **Journal of Hygiene**, v. 8, n. 1, p. 92-158, 1908.
- CHITURA, T.; SHAI, K.; NCUBE, I.; VAN HEERDEN, H. Contamination of the environment by pathogenic bacteria in a livestock farm in Limpopo Province, South Africa. **Applied Ecology and Environmental Research**, n. 17, v. 2, p. 2943-2963, 2019.
- COSER, S.M.; LOPES, M.A.; COSTA, G.M. **Mastite bovina: controle e prevenção**. Universidade Federal de Lavras: Boletim Técnico n. 93, p 1-30, 2012.
- CRANE, S.R.; MOORE, J.A. Modeling enteric bacterial die-off: a review. **Water, Air and Soil Pollution**, n. 270, p. 411-439, 1986.
- GARDNER, A.L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília: IICA/EMBRAPA-CNPGL, 197 p., 1986.
- LANGONI, H.; SALINA, A.; OLIVEIRA, G.C.; JUNQUEIRA, B.B.; MENOZZI, B.D.; JOAQUIM, S. F. Considerações sobre o tratamento das mastites. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, p. 1261-1269, 2017. Doi: 10.1590/S0100-736X2017001100011.
- MARTÍN-DÍAZ, J.; GARCÍA-ALJARO, C.; PASCUAL-BENITO, M.; GALOFRÉ, B.; BLANCH, A. R.; LUCENA, F. Microcosms for evaluation microbial indicator persistence and mobilization in fluvial sediments during rainfall events. **Water Research**, v. 123, p. 623-631, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.017>
- MOK, H.F.; BARKER, S.F.; HAMILTON, A.J. A probabilistic quantitative microbial risk assessment modelo f norovirus disease burden from wastewater irrigation of vegetables in Shepparton, Australia. **Water Research**, v. 54, p. 347-362, 2014.
- MUIRHEAD, R.W. Soil and faecal material reservoirs of *Escherichia coli* in a grazed pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 52, p. 1-8, 2009.
- NANDAKAFLE, G.; SEALE, T.; FLINT, T.; NEPAL, M.; VENTER, S. N.; BRÖZEL, V.S. Distribution of diverse *Escherichia coli* between cattle and pasture. *Microbes Environment*, v. 32, n. 3, p. 226-233, 2017. Doi: 10.1264/jsme2.ME17030
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II: Wastewater use in agriculture, 2006.
- PACHEPSKY, Y.A.; SADEGHI, A.M.; BRADFORD, S.A.; SHELTON, R.; GUBER, A.K.; DAO, T. Transport and fate of manure-borne pathogens: Modeling perspective. **Agricultural Water Management**, v. 86, p. 81-92, 2006.
- PEREIRA, C.C.M.S.; PEREIRA FILHO, J.V.; LIMA, F.M. B.; SILVA, A.R.A. Avaliação microbiológica do capim Tifton 85, irrigado com esgoto doméstico tratado. **Agropecuária Técnica**, v. 35, p. 161-170, 2014.
- RAMOS, F.S.; GRANDE, A.; OLIVEIRA, B.S.A.; POLL, P.S.E.M. **Importância do diagnóstico da mastite subclínica e seus impactos econômicos em propriedades leiteiras** – Revisão. Faculdade de Ciências da Saúde de Unai, 44, 2017.
- SANTOS, S.S.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T.; MANTOVANI, E.C.; BATISTA, R.O.; MELO, J. C. Contaminação microbiológica do solo e dos frutos de cafeeiros fertirrigados com esgoto sanitário. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 14, p. 16-22, 2006.

- SIDHU, J.P.S.; HANNA, J.; TOZE, S. G. Survival of enteric microorganisms on grass surfaces irrigated with treated effluent. **Journal of Water and Health**, v. 6, n. 2, p. 257-262, 2008.
- SILVA, J.B.G.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T.; PIRES, C.S.; SILVA, G.T. Mobilidade dos íons nitrato e amônio em área agrícola sob adubação com água residuária de bovinocultura de leite e torta de mamona. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 03, p. 200-211, 2017.
- SOUPIR, M.L.; MOSTAGHIMI, S.; LOU, J. Die-off of *E. coli* and *Enterococci* in dairy cowpats. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 51, n. 6, p. 1987-1996, 2008.
- STOUT, J.D. **Bacteria of soil and pasture leaves at claudelands showgrounds**. Industrial Research, v. 3, n. 3, p. 413-430, 1960.
- STOUT, J.D. Bacterial populations of some grazed pastures in Hawke's Bay. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 7, n.2, p. 92-117, 1964.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574p.
- VAN GINNEKEN, M.; ORON, G. Risk assessment of consuming agricultural products irrigated with reclaimed wastewater: An exposure model. **Water Resources Research**, v. 6, n. 9, p. 2691-2699, 2000.
- VAN KESSEL, J.S.; PACHEPSKY, Y.A.; SHELTON, D.R.; KARNS, J.S. Survival of *Escherichia coli* in cowpats in pasture and in laboratory conditions. **Journal of Applied Microbiology**, v. 103, p. 1122-1127, 2007.
- WANG, D.; HUBER, A.; DUNFIELD, K; WU, F.; WARRINER, K. Comparative persistence of Salmonella and Escherichia coli O157:H7 in loam or sandy-loam soil amended with bovine or swine manure. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 60, n. 12, p. 979-991, 2018.
- WANG, X.M.; DI, H.J.; CAMERON, K.; LI, B. Effect of treated farm dairy effluent on *E. coli*, phosphorous and nitrogen leaching and greenhouse gas emissions: a field lysimeter study. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 2303-2312, 2019.
- WELLER, D.L.; KOVAC, J.; ROOF, S.; KENT, D.J.; TOKMAN, J.I.; KOWALCYK, B.; ORYANG, D.; IVANEK, R.; ACEITUNO, A.; SROKA, C.; WIEDMANN, M. Survival of *Escherichia coli* on lettuce under field conditions encountered in the Northeastern United States. **Journal of Food Protection**, v. 80, p. 1214-1221, 2017. Doi: 10.4315/0362-028X.JFP-16-419.
- WILLIAMS, K. J.; WARD, M. P.; DHUNGYEL, O. P.; HALL, E. J. S. Risk factors for *Escherichia coli* O157 shedding and super-shedding by dairy heifers at pasture. *Epidemiology and Infection*, v. 143, p. 1004–1015, 2015. Doi: 10.1017/S0950268814001630
- XU, A.; BUCHANAN, R.L.; MICALLEF, S.A. Impact of mulches and growing season on indicator bacteria survival during lettuce cultivation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 224, p. 28-39, 2016.

ANEXOS

ANEXO I.1 – Relatório fotográfico do experimento realizado para aplicação de água residuária de bovinocultura e água de córrego (Ac) em pastagem Tifton 85 (Fazenda Capoeira, em Gameleira de Goiás/GO).

Visita de reconhecimento e avaliações preliminares



Pista de trato



Pista de trato



Casa de ordenha



Casa de ordenha



Casa de ordenha



Sala de Leite



Tanque separador de sólidos grosseiros



Tanque separador de sólidos grosseiros



(a) lagoa anaeróbica e (b) lagoa facultativa



Lagoa facultativa



Lagoa facultativa



Lagoa facultativa



Pasto da área experimental



Animais nas proximidades da área experimental



Amostragem de solo para curva de retenção



Amostragem de solo para curva de retenção



Amostras indeformadas de solo em Extrator de Richards

Instalação do experimento



Limpeza do canal de derivação de Ac



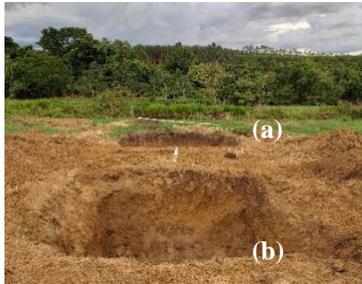
Limpeza do canal de derivação de Ac



Escavação dos tanques



Acabamento dos tanques escavados



Tanques escavados: (a) Ac e (b) ARB



Perfil do Latossolo Vermelho-Amarelo (tanque de Ac)



Instalação do tubo de captação da Ac



Lona para silagem utilizada no revestimento do tanque de ARB



Revestimento do tanque de ARB e montagem da bomba



Revestimento do tanque de ARB



Bomba centrífuga de 3 cv Schneider



Bomba centrífuga de 3 cv Schneider



Montagem do sistema de irrigação



Montagem do sistema de irrigação



Montagem do sistema de irrigação



Montagem do sistema de irrigação e coleta de amostras de solo



Montagem do sistema de irrigação



Montagem do sistema de irrigação



Detalhe das conexões hidráulicas



Montagem do sistema de irrigação



Coleta das amostras indeformadas de solo



Coleta de amostras indeformadas de solo



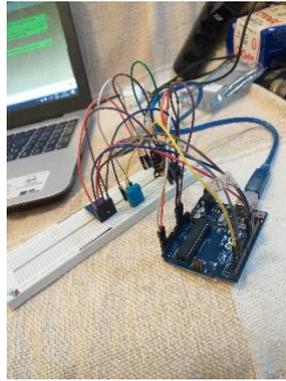
Remoção de plantas daninhas (algodão, milho e caruru-de-espinho)



Tensiômetro



Tensiômetros



Arduino utilizado para o registro da temperatura do ar na área experimental



Roçagem da área experimental



Irrigação em funcionamento



Ensaio de uniformidade do sistema de irrigação



Pastagem no início do período de aplicações



Área do experimento (vegetação fresca) e zona adjacente (vegetação seca)

Amostragem de forragem e solo



Pastagem no momento da coleta para análise de forragem



Pastagem no momento da coleta para análise de forragem



Quadrado de amostragem colocado sobre a pastagem



Pastagem com emissão de panículas



Forragem recém cortada



Disposição das amostras de forragem para a secagem em estufa



Secagem final das amostras de forragem



Separação de folhas, colmos e panículas



Moagem da forragem seca



Moagem da forragem seca



Forragem moída



Sacos de TNT com amostras para análise de FDN e FDA



Amostras dispostas em autoclave para análise de FDN/FDA



Titulação em análise de Proteína Bruta (Kjeldahl)



Amostras deformadas de solo embaladas



Análise de nitrogênio total (Kjeldahl)



Análise de fósforo total



Análise de fósforo total



Amostras após análise de Carbono Total (Walkley-Black)

Análises de qualidade da água



Amostra ao final da digestão (DQO)



Amostra antes da digestão (DQO)



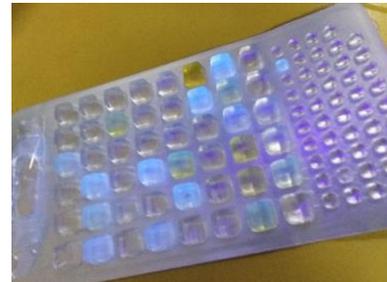
Bloco digestor (DQO)



Oxímetro (DBO)



Cartela Collilert® (coliformes totais e termotolerantes)



Cartela Collilert® sob luz UV (coliformes totais e termotolerantes)

ANEXO I.2 – Análises físico-química e bacteriológica da água residuária de bovinocultura (ARB) e da água de córrego (Ac) utilizadas no primeiro experimento.

Atributo	02/jun		25/jun		08/jul		04/ago		27/ago	
	Ac	ARB	Ac	ARB	Ac	ARB	Ac	ARB	Ac	ARB
pH	-	6,38	7,30	7,80	6,05	7,70	7,40	7,60	6,50	7,63
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	-	-	23	3 770	13	5 410	11	5 600	29	6 720
Sólidos totais (g L^{-1})	0,10	8,50	0,00	2,20	0,08	2,89	0,25	3,90	0,11	3,41
Demanda química de oxigênio (mg L^{-1})	-	-	0,0	2 605,0	30,90	1 247,23	14,55	2 114,03	30,81	1 512,72
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L^{-1})	0,0	643,0	0,0	-	-	-	0,0	155,0	0,0	170,0
Alcalinidade total (mg L^{-1})	-	-	-	-	5,0	5 490,0	2,2	2 870,0	5,0	3 540,0
Sódio (mg L^{-1})	0,0	30,92	0,0	31,89	0,0	68,81	0,0	46,15	0,0	12,30
Cálcio (mg L^{-1})	0,0	26,7	0,0	24,0	0,0	180,0	0,0	104,0	0,0	50,7
Magnésio (mg L^{-1})	1,0	214,4	1,2	129,6	0,5	93,6	1,9	129,6	1,0	152,0
Dureza total ($\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$)	4,0	960,0	5,0	600,0	2,0	840,0	8,0	800,0	4,0	760,0
RAS -	0,00	1,99	0,00	2,57	0,00	4,16	0,00	3,02	0,00	0,86
Potássio – K^+ (ppm)	1,79	396,84	0,39	100,46	0,00	84,80	0,12	374,88	0,00	497,36
Nitrito (mg L^{-1})	0,00	4,26	0,03	1,15	0,00	1,07	0,01	2,54	0,01	2,95
Nitrato (mg L^{-1})	0,00	219,85	0,43	34,10	0,89	62,21	0,78	93,54	0,00	107,71
Fosfato total (mg L^{-1})	0,00	79,87	0,00	12,31	0,00	108,96	0,11	80,00	0,02	73,38
Turbidez (UNT)	15	1403	0	406	6	595	5	784	4	668
Ferro total (mg L^{-1})	0,10	-	0,09	13,72	0,09	20,09	0,17	28,55	0,20	23,50
<i>E. coli</i>	-	-	9,20	-	13,00	4,41E+05	-	-	8,00	8,40E+04
Coliformes totais – CT	-	-	307,60	-	> 2 419,6	6,10E+04	-	-	> 2 419,6	1,58E+05

ANEXO II.1 – Relatório fotográfico do experimento realizado para aplicação de água residuária de bovinocultura e água de poço artesiano (Ap) em pastagem Tifton 85 cultivado em vasos (Fazenda Toca da Raposa, em Planaltina/DF).

Instalação do experimento e condução das aplicações



Animais na pista de espera para inspeção veterinária



Animais na pista de espera para inspeção veterinária



ARB bruta no tanque de recepção



Sistema de separação de sólidos grosseiros da ARB: (a) tanque de recepção e (b) torre de separação



Bomba de esgoto trituradora



Bomba de esgoto trituradora



Bomba pneumática de separação de sólidos da ARB



Bomba pneumática de separação de sólidos da ARB



Despejo da ARB após a remoção de sólidos (tratamento preliminar)



Pátio de resíduos sólidos da ARB



Resíduos sólidos retirados da ARB bruta



Escavação do reservatório de ARB do experimento



Reservatório de ARB pós tratamento preliminar



Reservatório de ARB pós tratamento preliminar



Bomba centrífuga 3,0 cv



Mudas de Tifton 85 nos vasos (fase de transplântio)



Pátio do experimento



Pátio do experimento



Pátio do experimento – irrigação em andamento



Tifton 85 estabelecido nos vasos



Irrigação do tratamento ARB+AP



Ap – início das aplicações



Ap – início das aplicações



ARB+Ap – início das aplicações



ABR+Ap – início das aplicações



ARB – início das aplicações



ARB – início das aplicações



ARB 75 – início das aplicações



ARB 75 – início das aplicações



Ap – Fim das aplicações



Ap – Fim das aplicações



ARB+Ap – Fim das aplicações



ARB75– Fim das aplicações



ARB75 – Fim das aplicações



ARB – Fim das aplicações



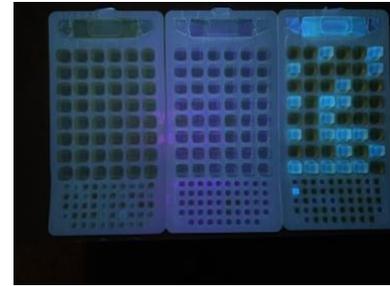
Amostra de forragem em solução PBS



Amostra de forragem em solução PBS



Amostra de forragem em solução PBS



Contagem de *E. coli* sob luz ultravioleta

ANEXO II.2 – Variáveis meteorológicas da área experimental do experimento de aplicação de água residuária de bovinocultura e água de poço artesiano (Ap) em pastagem Tifton 85 cultivado em vasos (Fazenda Toca da Raposa, em Planaltina/DF).

Quadro II.2.1 – Valores diários para Temperatura média, máxima e mínima do ar, umidade relativa e precipitação pluviométrica.

	Data	T média (°C)	T máxima (°C)	T mínima (°C)	UR (%)	P (mm)
Prévia às determinações microbiológicas	22/08/2021	22,3	29,1	16,4	35,8	0,0
	23/08/2021	23,7	31,2	18,3	30,4	0,0
	24/08/2021	24,1	30,8	18,7	28,9	0,0
	25/08/2021	24,1	31,6	17,1	28,2	0,0
	26/08/2021	25,2	33,2	18,3	23,8	0,0
Período das determinações microbiológicas	27/08/2021	25,2	32,0	19,8	27,9	0,0
	28/08/2021	23,1	29,5	17,9	36,8	0,0
	29/08/2021	22,2	29,1	14,4	50,4	0,0
	30/08/2021	22,4	28,7	17,1	47,5	0,3
	31/08/2021	22,2	28,7	17,5	44,6	0,0
	01/09/2021	21,3	28,7	15,6	50,7	0,0
	02/09/2021	22,1	28,7	15,6	46,9	0,0
	03/09/2021	23,5	31,2	17,1	35,0	0,0
	04/09/2021	25,0	32,8	16,8	26,4	0,0
	05/09/2021	25,9	35,3	18,3	24,7	0,0
	06/09/2021	27,2	35,8	17,9	21,5	0,0
	07/09/2021	28,7	35,8	23,7	16,5	0,0
	08/09/2021	26,7	33,2	22,1	25,6	0,0

Quadro II.2.2 – Valores horários da Radiação solar global ($W m^{-2}$).

Hora	27/ago	28/ago	29/ago	30/ago	31/ago	01/set	02/set	03/set	04/set	05/set	06/set	07/set	08/set
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	59	77	77	71	77	82	59	88	88	129	82	82	100
7	424	459	453	441	459	477	394	488	488	235	441	477	488
8	847	788	900	882	906	924	641	935	941	1.041	871	929	935
9	1.188	1.265	1.265	1.241	1.265	1.282	1.365	1.288	1.312	1.324	1.247	1.300	1.294
10	1.482	1.494	1.506	1.482	1.500	1.524	1.524	1.530	1.547	1.535	1.471	1.535	1.512
11	1.588	1.606	947	1.224	1.612	1.041	1.635	1.677	1.288	1.124	953	1.641	1.612
12	1.553	1.594	1.259	1.465	1.618	1.759	1.735	2.029	1.671	1.859	1.082	1.694	1.594
13	1.406	1.447	459	1.659	1.635	1.129	377	1.800	1.559	1.000	1.218	1.535	1.453
14	1.188	1.200	277	812	918	1.024	353	924	1.259	1.465	1.400	1.265	1.188
15	788	635	271	394	300	200	747	994	847	629	453	853	800
16	359	359	253	82	259	477	365	465	371	394	347	394	353
17	47	47	41	18	41	47	77	47	35	53	53	82	41
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acumulado	10.929	10.971	7.706	9.770	10.588	9.965	9.271	12265	11.406	10.789	9.618	11.789	11.371